

TESIS DOCTORAL

**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**

Santiago Delgado Rodríguez

Dirigida por:

Dra. Silvia Carrascal Domínguez

Codirigida por:

Dra. Rebeca García Fandiño

Memoria presentada para aspirar al grado de DOCTOR en Educación

Facultad de Educación
Universidad Camilo José Cela
Madrid, 2021

TESIS DOCTORAL

**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**

Santiago Delgado Rodríguez

Dirigida por:

Dra. Silvia Carrascal Domínguez

Codirigida por:

Dra. Rebeca García Fandiño

Memoria presentada para aspirar al grado de DOCTOR en Educación

Facultad de Educación
Universidad Camilo José Cela
Madrid, 2021

Dedicatoria

*A mis padres, María Concepción y José Luis, por su
cariño y por todo lo que me han dado en la vida...*

*A mi esposa Marta, por compartir su vida
conmigo, por su paciencia, dedicación y apoyo.*

Agradecimientos

Las personas que de una u otra manera desarrollamos nuestra vida profesional en el ámbito de la educación como docentes, podemos experimentar continuamente la inmensa satisfacción que aporta la transmisión del conocimiento a los demás.

Sin embargo, tener la oportunidad de ahondar en el propio conocimiento a través de la investigación, es un proceso fascinante a la vez que gratificante, no solamente en el ámbito profesional sino también en el personal, ya que ofrece la posibilidad de transferir el conocimiento adquirido en interés de la sociedad en general y de la educación en particular. Cuando ese proceso es tutelado y dirigido por personas honestas, honradas y cuya capacidad de trabajo y profesionalidad son extraordinarias, se convierte además en una experiencia única y enriquecedora en todos los aspectos.

Considero una gran suerte para mí haber estado acompañado y tutelado en este camino por dos profesionales excepcionales, como son la Doctora Doña Silvia Carrascal Domínguez de la Universidad Complutense de Madrid y la Doctora Doña Rebeca García Fandiño de la Universidad de Santiago de Compostela, a las cuales estaré eternamente agradecido por sus enseñanzas, su profesionalidad y por su paciencia.

En este sentido, siento la necesidad de hacer partícipes de esta investigación y de expresar mi más sincera gratitud al Doctor D. Eduardo Estrada Alonso y al Doctor D. Jesús Miguel Rodríguez Mantilla, ambos de la Universidad Camilo José Cela de Madrid, por sus enseñanzas, su asesoramiento y sus consejos. Así como a la propia Universidad Camilo José Cela de Madrid por hacerme sentir como un miembro más de esta casa.

Deseo agradecer también al Doctor D. Claudio López Castillo de la Universidad de Cantabria, su ayuda para poder emprender este camino.

Esta investigación tampoco hubiera sido posible sin la inestimable colaboración de todos los docentes y expertos educativos, que de una u otra manera, han participado en alguna de las diferentes etapas de la misma.

Es muy importante para mí terminar estas líneas agradeciendo de manera particular el apoyo incondicional de toda mi familia, especialmente el de mis padres y el de mi esposa, a quienes les he privado de mi tiempo para poder realizar esta tesis doctoral.

Ellos son mi principal y verdadera fuente de inspiración y de motivación, y han compartido conmigo el esfuerzo en todos los sentidos que todo este camino conlleva, compensándolo siempre con su apoyo, comprensión y cariño.

Índice

Resumen.....	21
Abstract.....	27
Introducción	33
Parte I. Marco teórico y estado de la cuestión	49
Capítulo I. Tecnología y educación	51
1.1.- Procesos para la integración tecnológica en contextos educativos.....	51
1.2.- La formación del profesorado en Tecnología educativa	52
1.2.1.- Trascendencia de la formación tecnológica en los docentes del siglo XXI ...	52
1.2.2.- Marco teórico en la formación en tecnología del profesorado	54
1.3.- El rol de la Tecnología Educativa en periodos de crisis.....	58
1.4.- Tecnologías (XR) inmersivas	62
1.5.- Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA)	64
Capítulo II. Antecedentes teóricos. La RA como recurso metodológico de aprendizaje.....	69
2.1.- Definición	69
2.2.- Principios y fundamentos de la RA	70
2.3.- Taxonomías de RA.	74
2.4.- Integración de la RA en contextos educativos.....	76
2.4.1.- Desarrollo, evolución, estado actual y perspectivas futuras	76
2.4.2.- Aspectos psicológicos que favorecen la efectividad de la RA en entornos educativos	80
2.4.3.- Beneficios de la incorporación de la RA en procesos de enseñanza y aprendizaje.....	81
2.4.4.- Factores que dificultan la incorporación de la RA en procesos de enseñanza y aprendizaje	83
Capítulo III. Antecedentes empíricos. Integración curricular de la RA en materias educativas y en etapas formativas	85
3.1.- Análisis de investigaciones efectuadas relativas a la incorporación de la RA en contextos educativos.....	85
3.2.- Análisis de investigaciones efectuadas relativas a la incorporación de la RA en el marco de la Educación Secundaria Obligatoria	86
3.3.- Análisis de tendencias y principales líneas de investigación planteadas actualmente para la integración curricular de la RA.....	90
Parte II. Marco empírico y metodológico	93
Capítulo IV. Planteamiento del problema.....	95
4.1.- Definición del Problema de estudio	95
4.2.- Planteamiento de la pregunta de investigación	97
Capítulo V. Objetivos e Hipótesis de la investigación.....	99
5.1.- Objetivos de la Investigación.....	99
5.1.1.- Objetivo general	99
5.1.2.- Objetivos específicos	99

5.2.- Formulación de Hipótesis	101
5.3.- Definición operacional de las variables	102
Capítulo VI. Diseño y metodología de la investigación.....	107
6.1.- Perspectiva metodológica general y diseño	107
6.1.1.- Metodología y procedimiento	107
6.1.1.1.- Paradigma positivista. Estudios cuantitativos.....	110
6.1.1.2.- Paradigma interpretativo. Estudio cualitativo	116
6.1.2.- Diseño de la investigación	117
6.1.2.1.- Estudio Exploratorio. Estudio Piloto	118
6.1.2.2.- Estudio de Rendimiento	118
6.1.2.3.- Estudio Actitudinal	119
6.1.2.4.- Estudio relativo al Nivel de Formación del Profesorado	120
6.2.- Selección de la muestra y participantes	121
6.2.1.- Descripción general de la muestra	121
6.2.2.- Características de la muestra y participantes en los Estudios Cuantitativos	123
6.2.2.1.- Participantes en el Estudio Piloto	125
6.2.2.2.- Participantes en el Estudio de Rendimiento	126
6.2.2.3.- Participantes en el Estudio Actitudinal	127
6.2.3.- Características de la muestra y participantes en el Estudio Cualitativo	127
6.2.3.1.- Participantes en el Estudio relativo a la Formación del Profesorado	128
Capítulo VII. Diseño y validación de instrumentos.....	131
7.1.- Selección de conceptos clave	131
7.2.- Diseño, desarrollo, selección y evaluación de recursos educativos y aplicaciones basados en RA	133
7.2.1.- Diseño y desarrollo de aplicaciones de RA para la investigación	134
7.2.1.1.- Consideraciones generales	134
7.2.1.2.- Desarrollo y producción de las dos aplicaciones basadas en RA.....	136
7.2.1.3.- <i>Cellular</i> ®	142
7.2.1.4.- <i>SeismicAR</i> ®	152
7.2.2.- Selección de aplicaciones de RA	161
7.2.2.1.- <i>LandscapAR</i>	161
7.2.2.2.- <i>División Mitótica 3D</i>	162
7.2.3.- Evaluación Técnica	163
7.2.4.- Evaluación Didáctica. Estudio Piloto	164
7.2.4.1.- Diseño del Instrumento	165
7.2.4.2.- Validación del instrumento.....	166
7.3.- Estudio de Rendimiento	166
7.3.1.- Diseño del Instrumento	166
7.3.2.- Validación del Instrumento	168
7.4.- Estudio Actitudinal	172
7.4.1.- Diseño del Instrumento	173
7.4.2.- Validación del Instrumento	179
7.5.- Estudio para la determinación del nivel de formación del profesorado en tecnología educativa y en sistemas de evaluación adaptados.....	188
7.5.1.- Diseño del instrumento	189
7.5.2.- Validación del Instrumento	190

Parte III. Resultados.....	193
Capítulo VIII. Análisis de datos e interpretación de resultados cuantitativos ...	195
8.1.- Estudio Piloto	196
8.1.1.- Fiabilidad y validez.....	196
8.1.2.- Estudio descriptivo	198
8.1.3.- Estudio inferencial. Prueba <i>H</i> de Kruskal-Wallis	204
8.2.- Estudio de Rendimiento	210
8.2.1.- Fiabilidad y validez.....	212
8.2.2.- Estudio descriptivo	214
8.2.3.- Estudio inferencial	215
8.2.3.1.- Primer caso de estudio. Prueba <i>T</i> de Student para muestras independientes.....	216
8.2.3.2.- Segundo caso de estudio. Prueba <i>T</i> de Student para muestras independientes.....	219
8.2.3.3.- Tercer caso de estudio. Prueba <i>T</i> de Student para muestras independientes.....	222
8.2.3.4.- Cuarto caso de estudio. Prueba <i>T</i> de Student para muestras relacionadas	225
8.3.- Estudio Actitudinal	228
8.3.1.- Fiabilidad y validez.....	228
8.3.1.1.- Fiabilidad	228
8.3.1.2.- Validez. Análisis Factorial Exploratorio	230
8.3.2.- Estudio descriptivo	234
8.3.3.- Estudio inferencial. ANOVA de un factor	243
Capítulo IX. Análisis de datos e interpretación de resultados cualitativos.....	259
9.1.- Estudio cualitativo relativo al nivel de formación del profesorado en tecnología educativa	259
9.1.1.- Fiabilidad y validez. Triangulación	259
9.1.2.- Estudio descriptivo	260
9.1.3.- Interpretación de resultados cualitativos	263
Parte IV. Discusión.....	265
Parte V. Conclusiones	277
Parte VI. Limitaciones y Prospectiva.....	283
Anexos.....	287
Referencias.....	373

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema del modelo TPACK.....	56
Figura 2. Conceptualización gráfica del Continuo Realidad-Virtualidad.....	65
Figura 3. Proceso evolutivo de la RA en el <i>Gartner Hype Cycle</i> durante el periodo 2005-2020.	77
Figura 4. Evolución de las búsquedas del término <i>Augmented Reality</i> . Periodo 1960-2010.	78
Figura 5. Tendencia en la evolución de la aparición del término <i>Augmented Reality</i> en publicaciones educativas de todo el mundo durante el período 2010-2020.	79
Figura 6. Esquema del proceso seguido para la creación y el desarrollo de las dos aplicaciones educativas: <i>CellularAR</i> [®] y <i>SeismicAR</i> [®]	140
Figura 7. <i>Track</i> (o marcador) correspondiente a la aplicación educativa <i>CellularAR</i> [®]	144
Figura 8. Instrucciones de Inicio de la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	145
Figura 9. Imagen tridimensional proyectada, en Realidad Aumentada, sobre el marcador de la célula eucariota animal activada con el dispositivo móvil y la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	145
Figura 10. Información ofrecida sobre los Centriolos y el Centrosoma en la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	146
Figura 11. Información ofrecida sobre los Cilios o Flagelos en la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	146
Figura 12. Información ofrecida sobre las Mitocondrias en la aplicación <i>CellularAR</i> [®] ...	147
Figura 13. Información ofrecida sobre el Aparato de Golgi en la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	147
Figura 14. Información ofrecida sobre el Retículo endoplasmático rugoso en la aplicación <i>CellularAR</i> [®] . Fuente: Elaboración propia.	148
Figura 15. Información ofrecida sobre el Retículo endoplasmático liso en la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	148
Figura 16. Información ofrecida sobre los Ribosomas en la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	149
Figura 17. Información ofrecida sobre el núcleo celular en la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	149
Figura 18. Información ofrecida sobre la Membrana plasmática en la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	150
Figura 19. Imagen tridimensional proyectada, en Realidad Aumentada, sobre el marcador de la célula eucariota vegetal, activada con el dispositivo móvil y la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	150
Figura 20. Información ofrecida sobre los Cloroplastos en la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	151
Figura 21. Información ofrecida sobre la Vacuola en la aplicación <i>CellularAR</i> [®]	151

Figura 22. Información ofrecida sobre la Pared celular en la aplicación <i>CellularAR</i> ®	152
Figura 23. <i>Track</i> (o marcador) correspondiente a la aplicación educativa <i>SeismicAR</i> ®.	154
Figura 24. Instrucciones de Inicio de la aplicación <i>SeismicAR</i> ®.	155
Figura 25. Imagen tridimensional proyectada, en Realidad Aumentada, sobre el marcador de La Tierra, activada con el dispositivo móvil y la aplicación <i>SeismicAR</i> ®.	156
Figura 26. Información ofrecida sobre las trayectorias y velocidades de propagación de las Ondas Sísmicas P en la aplicación <i>SeismicAR</i> ®. Fuente: Elaboración propia.	157
Figura 27. Información ofrecida sobre las trayectorias y velocidades de propagación de las Ondas Sísmicas S, en la aplicación <i>SeismicAR</i> ®. Fuente: Elaboración propia.	158
Figura 28. Información ofrecida para comparar las trayectorias y velocidades de propagación de las Ondas Sísmicas P y S, en la aplicación <i>SeismicAR</i> ®.	159
Figura 29. Información ofrecida sobre las zonas de sombra en la Corteza terrestre de las Ondas Sísmicas S, en la aplicación <i>SeismicAR</i> ®.Fuente: Elaboración propia.	160
Figura 30. Histograma de distribución de la muestra de las calificaciones obtenidas por los estudiantes participantes en el estudio de rendimiento.....	211
Figura 31. Diagrama de caja de distribución de la muestra de calificaciones obtenidas por los estudiantes participantes en el estudio de rendimiento.	211
Figura 32. Gráfico de líneas: Comparación de calificaciones medias obtenidas por los Grupos de Control que utilizaron métodos tradicionales y los Experimentales que utilizaron Tecnología básica.	216
Figura 33. Gráfico de líneas: Comparación de calificaciones medias obtenidas por los Grupos de Control que utilizaron métodos tradicionales y los Experimentales que utilizaron Tecnología inmersiva (RA). Fuente: Elaboración propia.	219
Figura 34. Gráfico de líneas: Comparación de calificaciones medias pre-post, obtenidas por los Grupos Experimentales antes y después del tratamiento con Tecnología inmersiva (RA).....	226
Figura 35. Gráfico de sedimentación (<i>Scree Test</i>) obtenido a partir del análisis factorial efectuado sobre las respuestas ofrecidas por los estudiantes.	231
Figura 36. Medias obtenidas en las respuestas ofrecidas por los estudiantes a cada uno de los ítems del cuestionario.....	239
Figura 37. Porcentaje de respuestas correspondiente a la Pregunta 1.	261
Figura 38. Porcentaje de respuestas correspondiente a la Pregunta 2.	262
Figura 39. Porcentaje de respuestas correspondiente a la Pregunta 3.	263

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Relación de Informes Horizon que incluyen en sus previsiones tecnologías de RV y de RA.....	63
Tabla 2 Centros educativos y estudiantes participantes en las diferentes etapas de la investigación.....	124
Tabla 3 Orgánulos de la célula eucariota, representados en la aplicación educativa <i>Cellular</i> ®.....	143
Tabla 4. Elementos sísmicos representados en la aplicación educativa <i>SeismicAR</i> ®. .	153
Tabla 5 Características Técnicas de las cuatro aplicaciones utilizadas en la investigación.....	163
Tabla 6 Pruebas objetivas de rendimiento en función del concepto clave impartido en clase.....	168
Tabla 7 Coeficientes de argumentación (K_a), otorgados en función de las respuestas de los expertos.....	170
Tabla 8 Valores del Coeficiente de competencia (K), obtenidos para cada uno de los expertos. Rendimiento.....	172
Tabla 9 Dimensiones, indicadores e ítems del instrumento enviado al grupo de expertos.....	180
Tabla 10. Valores del Coeficiente de competencia (K), obtenidos para cada uno de los expertos. Actitudinal.....	183
Tabla 11. Coeficientes V de Aiken obtenidos para cada uno de los 26 ítems del cuestionario inicial.....	186
Tabla 12. Dimensiones, indicadores e ítems del instrumento final.....	188
Tabla 13. Alfa de Cronbach obtenido para la dimensión: Aspectos Técnicos.....	197
Tabla 14. Alfa de Cronbach obtenido para la dimensión: Facilidad de Uso.....	197
Tabla 15. Alfa de Cronbach obtenido para el conjunto del cuestionario.....	197
Tabla 16. Sexo de los estudiantes.....	198
Tabla 17. Edad de los estudiantes.....	199
Tabla 18. Estudiantes repetidores.....	199
Tabla 19. Estudiantes que poseen conocimientos previos de RA.....	199
Tabla 20. Estudiantes con experiencia previa en aplicaciones basadas en la RA.....	200
Tabla 21. Medias y Desviaciones Típicas obtenidas en el análisis de las respuestas de los estudiantes.....	201
Tabla 22. Medias y Desviaciones Típicas obtenidas para cada aplicación.....	203
Tabla 23. Rangos correspondientes a la dimensión Aspectos Técnicos y Estéticos....	205

Tabla 24. Estadísticos de prueba de Kruskal-Wallis. Dimensión: Aspectos Técnicos y Estéticos.....	205
Tabla 25. Rangos correspondientes a la dimensión a la dimensión Facilidad Utilización	206
Tabla 26. Estadísticos de prueba de Kruskal-Wallis. Dimensión: Facilidad de Utilización	206
Tabla 27. Rangos correspondientes al conjunto de dimensiones del cuestionario.....	207
Tabla 28. Estadísticos de prueba de Kruskal-Wallis, para el conjunto de dimensiones	207
Tabla 29. Prueba de Jonckheere-Terpstra. Dimensión: Aspectos Técnicos y Estéticos	208
Tabla 30. Prueba de Jonckheere-Terpstra. Dimensión: Facilidad de Utilización	209
Tabla 31. Prueba de Jonckheere-Terpstra para el conjunto de dimensiones.....	209
Tabla 32. Calificaciones obtenidas por cada grupo de estudiantes en el estudio de rendimiento	212
Tabla 33. Valor del Alfa de Crombach obtenido para la primera prueba de rendimiento	213
Tabla 34. Valor del Alfa de Crombach obtenido para la segunda prueba de rendimiento	213
Tabla 35. Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Sexo del alumno.....	214
Tabla 36. Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Edad del alumno	214
Tabla 37. Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Alumno repetidor	215
Tabla 38. Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Alumno Necesidades Educativas Especiales	215
Tabla 39. Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Tipo de Centro Educativo	215
Tabla 40. Estadísticas de grupo. Primer caso de estudio de rendimiento	217
Tabla 41. Prueba de muestras independientes. Estadístico de Levene para el primer caso de estudio	218
Tabla 42. Estadísticas de grupo. Segundo caso de estudio de rendimiento.....	220
Tabla 43. Prueba de muestras independientes. Estadístico de Levene para el segundo caso de estudio	221
Tabla 44. Estadísticas de grupo. Tercer caso de estudio de rendimiento	222
Tabla 45. Prueba de muestras independientes. Estadístico de Levene para el tercer caso de estudio	223
Tabla 46. Valores del tamaño del efecto obtenidos según Cohen	224
Tabla 47. Valores del tamaño del efecto obtenidos según Ferguson	225
Tabla 48. Estadísticas de muestras emparejadas. Grupo experimental del segundo caso de estudio	226
Tabla 49. Correlaciones de muestras emparejadas del grupo experimental del segundo caso de estudio	227

Tabla 50. Prueba de muestras emparejadas para las calificaciones del grupo experimental.....	227
Tabla 51. Estadísticas de fiabilidad. Valores de Alfa de Cronbach del conjunto del cuestionario actitudinal.....	229
Tabla 52. Valores de Alfa de Cronbach correspondientes a la dimensión Nivel de Motivación.....	229
Tabla 53. Valores de Alfa de Cronbach correspondientes a la dimensión Grado de Aceptación de la RA.....	229
Tabla 54. Valores de Alfa de Cronbach correspondientes a la dimensión Grado de Comprensión	229
Tabla 55. Prueba de KMO y prueba de esfericidad de Bartlett	230
Tabla 56. Factores principales y varianza total explicada	233
Tabla 57. Estadísticos descriptivos. Sexo del alumno	234
Tabla 58. Estadísticos descriptivos. Edad del Alumno	234
Tabla 59. Estadísticos descriptivos. Alumno con Necesidades Educativas Especiales	235
Tabla 60. Estadísticos descriptivos. Tipo de Centro Educativo: Público o Concertado	235
Tabla 61. Estadísticos descriptivos. Localidad de ubicación del Centro Educativo	235
Tabla 62. Estadísticos descriptivos. Utilización habitual de recursos de RA en el aula	236
Tabla 63. Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase de Ordenador o Tableta ...	236
Tabla 64. Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase del Proyector.....	236
Tabla 65. Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase de Pizarra Digital	236
Tabla 66. Estadísticos descriptivos. Uso habitual de Presentaciones Multimedia (PowerPoint, etc...).....	237
Tabla 67. Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase de Vídeos.....	237
Tabla 68. Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase de Transparencias	237
Tabla 69. Estadísticos descriptivos. Conocimiento previo mediante el uso en clase de recursos de RA.....	237
Tabla 70. Estadísticos descriptivos. Conocimiento previo mediante uso externo de aplicaciones de RA	238
Tabla 71. Estadísticos descriptivos. Conocimiento previo mediante uso en clase de recursos de RV	238
Tabla 72. Estadísticos descriptivos. Uso habitual de un Sistema de Evaluación Digital Adaptado	238
Tabla 73. Medias y desviaciones típicas obtenidas para cada uno de los ítems del cuestionario actitudinal.....	242
Tabla 74. Resumen del ANOVA un factor (procedimiento: ANOVA de un factor). Variable: Edad Alumno	245
Tabla 75. Factores inter-sujetos. Variable Edad del alumno	246
Tabla 76. Obtención del valor de eta-cuadrado. ANOVA de un factor (procedimiento: MLG > Univariante).....	246

Tabla 77. Comparaciones múltiples post-hoc: Prueba de Tukey. (ANOVA). Variable: Edad del alumno	247
Tabla 78. Subconjuntos homogéneos. (ANOVA de un factor). HSD Tukey. Variable: Edad del alumno	248
Tabla 79. Resumen del ANOVA de un factor (procedimiento: ANOVA de un factor). Variable: ANEE	248
Tabla 80. Factores inter-sujetos. Variable: Condición de Alumno ANEE	249
Tabla 81. Obtención del valor de eta-cuadrado. ANOVA de un factor (procedimiento: MLG > Univariante).....	249
Tabla 82. Resumen del ANOVA de un factor (procedimiento: ANOVA de un factor). Variable: Sit. Centro.....	250
Tabla 83. Factores inter-sujetos. Variable: Situación Geográfica del Centro Educativo	251
Tabla 84. Obtención del valor de eta-cuadrado. ANOVA de un factor (procedimiento: MLG > Univariante).....	251
Tabla 85. Comparaciones múltiples post-hoc: Prueba de Tukey. (ANOVA). Variable: Sit. Centro Educativo	252
Tabla 86. Subconjuntos homogéneos. (ANOVA de un factor). HSD Tukey. Variable: Sit. Centro Educativo	254
Tabla 87. Resumen del ANOVA un factor (procedimiento: ANOVA de un factor). Variable: Uso clase RA	255
Tabla 88. Factores inter-sujetos. Variable: Utilización en clase de herramientas de RA	255
Tabla 89. Obtención del valor de eta-cuadrado. ANOVA de un factor (procedimiento: MLG > Univariante).....	256
Tabla 90. Estadísticos de la muestra del profesorado	260
Tabla 91. Respuestas ofrecidas por los docentes a la Pregunta 1	261
Tabla 92. Respuestas ofrecidas por los docentes a la Pregunta 2	262
Tabla 93. Respuestas ofrecidas por los docentes a la Pregunta 3	263

Índice de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Consulta a docentes sobre la programación de las Unidades Didácticas.....	287
Anexo 2. Cuestionario y Encuesta del Estudio Piloto.....	288
Anexo 3. Formulario para la determinación del Coeficiente de Competencia Experta de los expertos participantes en la evaluación de las pruebas de rendimiento.....	293
Anexo 4. Resumen del procedimiento de la investigación enviado a los docentes de los centros educativos participantes	296
Anexo 5. Plantilla enviada a los docentes para la toma de datos de las pruebas objetivas de rendimiento	298
Anexo 6. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes I (Biología). Versión papel	300
Anexo 7. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes I (Biología). Versión online	303
Anexo 8. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes II (Biología). Versión papel	309
Anexo 9. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes II (Biología). Versión online	312
Anexo 10. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes III (Geología). Versión papel	319
Anexo 11. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes III (Geología). Versión online	322
Anexo 12. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes IV (Geología). Versión papel	329
Anexo 13. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes IV (Geología). Versión online	332
Anexo 14. Cuestionario Actitudinal. Versión inicial propuesta al grupo de expertos .	339
Anexo 15. Formulario para la valoración de los expertos de los ítems iniciales del cuestionario actitudinal y la determinación del Coeficiente de Competencia Experta	340
Anexo 16. Cuestionario Actitudinal. Versión final revisada por los expertos.....	355
Anexo 17. Cuestionario Actitudinal. Versión online enviada a los centros educativos	356
Anexo 18. Anotaciones realizadas en la entrevista estructurada sobre las respuestas de los expertos a las cuestiones planteadas relativas a los ítems del cuestionario para la determinación del nivel de formación del profesorado.....	370
Anexo 19. Cuestionario para la determinación del nivel de formación del profesorado participante en la investigación, en tecnología educativa y en sistemas de evaluación digitales.....	371

Resumen

El uso de elementos tecnológicos como recursos educativos, ha supuesto un asunto de sumo interés para la comunidad educativa a nivel internacional durante los últimos años, y hoy en día continúa siéndolo. Este interés, se ha incrementado durante el periodo de crisis derivado de la situación de pandemia mundial desde principios de 2020, que ha obligado a los estudiantes de todo el mundo a tener que utilizar los recursos tecnológicos disponibles en cada caso para poder continuar con la formación a distancia desde sus casas durante semanas o incluso durante meses. Esta situación, ha puesto de manifiesto las ventajas incuestionables que aporta el uso de la tecnología en estos casos, para continuar avanzando con los procesos educativos, aunque sea de manera no presencial para los estudiantes y los docentes. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta situación de crisis, también ha puesto de manifiesto muchas de sus debilidades, carencias y dificultades que, por otra parte, aún es necesario analizar y estudiar para poder buscar soluciones viables y efectivas. Antes de originarse esta situación de crisis global, algunos informes elaborados por organismos internacionales, ya sugerían que el simple hecho de utilizar elementos tecnológicos con fines educativos no es suficiente para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. También sugerían que los recursos tecnológicos utilizados con fines educativos, deben integrarse en metodologías innovadoras apropiadas en cada caso concreto, de manera que maximicen sus efectos sobre los aprendizajes y sean eficaces desde un punto de vista didáctico.

Esta investigación, tiene como objetivo principal, el diseño y la validación de un modelo metodológico educativo innovador, basado en la utilización de recursos tecnológicos para la mejora de los procesos de aprendizaje. Este objetivo, se complementa con el estudio y el análisis de los principales factores intervinientes, así como con el estudio relativo al tipo de recursos tecnológicos disponibles y a la manera de incorporarlos y utilizarlos de manera efectiva y eficaz en el desarrollo de los propios

TESIS DOCTORAL: 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.

procesos educativos. De esta manera, se puede determinar qué tipo de tecnología es la más adecuada para su utilización en función de cada caso concreto para mejorar el proceso de aprendizaje.

En concreto, se ha diseñado una metodología educativa innovadora, basada en la utilización de un recurso didáctico desarrollado con tecnología inmersiva, combinado con un sistema de evaluación adaptado. El citado recurso tecnológico inmersivo, consiste en un software de Realidad Aumentada (RA), utilizado como recurso complementario para la explicación de conceptos clave de asignaturas de ciencias. Mientras que, el sistema de evaluación adaptado, se basa en la utilización de software específico para la realización de pruebas de nivel objetivas y la determinación de los conocimientos adquiridos por los estudiantes.

La metodología utilizada en esta investigación, es básicamente de carácter cuantitativo, aunque también se han utilizado métodos cualitativos para la obtención de datos complementarios. El proceso, se ha desarrollado a través de tres estudios cualitativos principales y diferenciados: un estudio exploratorio o estudio piloto previo, un estudio de rendimiento dividido en tres casos de estudio y un estudio actitudinal. Con el objetivo de completar la información obtenida a través del análisis de los datos en estos tres tipos de estudios, se ha efectuado también un cuarto estudio de corte cualitativo, relativo a la formación profesional en tecnología educativa, por parte del profesorado participante en la investigación.

Los diseños establecidos para cada uno de los estudios, también han sido diferentes en función del tipo de estudio efectuado. En el caso del estudio exploratorio, se trata de un diseño cuasi experimental, enmarcado en los estudios *ex post facto* de tipo prospectivo. En el caso del estudio de rendimiento, se trata de un diseño cuasi experimental, de tipo *pre-post* con grupo de control en el primer, segundo y tercer casos de estudio y de tipo *pre-post* con un solo grupo en el cuarto caso de estudio. En el caso del estudio actitudinal, se ha optado por un tipo de diseño *ex post facto*, de tipo prospectivo. En este sentido, los instrumentos utilizados también han sido diferentes y se han seleccionado en función de cada uno de los estudios efectuados. Todos los instrumentos utilizados, han sido cuestionarios creados *ad hoc* y han sido administrados

online, salvo en el caso del estudio de rendimiento en el que se ha utilizado el soporte clásico en formato papel para los grupos de control.

En la investigación, han participado estudiantes ($n = 500$) y docentes ($n = 16$) de la asignatura de ciencias de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria. Todos ellos, pertenecientes a centros educativos tanto públicos ($n = 10$), como concertados ($n = 6$) de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

Los resultados obtenidos en el estudio piloto, relativos a las aplicaciones educativas creadas y seleccionadas con software inmersivo basado en RA, ofrecen valoraciones muy positivas por parte de los estudiantes, relacionadas tanto con los aspectos técnicos y estéticos, como con la facilidad de uso de las mismas. En este sentido, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre las valoraciones efectuadas por los estudiantes sobre cada una de ellas. Todo ello, supone un indicador de la fiabilidad y de la validez de las citadas aplicaciones, tanto como instrumentos apropiados para efectuar la investigación, y como recursos educativos adecuados.

En el primer caso del estudio de rendimiento, los resultados demuestran que el uso de una metodología didáctica basada en tecnología educativa no inmersiva, puede generar una mejora positiva en las calificaciones y en los resultados académicos de los estudiantes, comparada con el uso de tecnología no inmersiva como recurso didáctico para la explicación de conceptos clave de la asignatura. Sin embargo, los datos analizados en el estudio, no permiten concluir que se genere un impacto significativo sobre el rendimiento de los estudiantes. Los datos obtenidos en el segundo caso del estudio de rendimiento, indican que el uso de una metodología didáctica basada en la utilización de un recurso tecnológico inmersivo creado con *software* de RA y un sistema de evaluación adaptado digitalmente, tampoco generan una mejora en el rendimiento de los estudiantes. Sin embargo, aunque si se ha encontrado una mejora en la media de las calificaciones *pre-post* del grupo experimental, ésta no es estadísticamente significativa.

El análisis de los resultados obtenidos en el estudio actitudinal, revelan que el uso de una metodología educativa, fundamentada en un recurso tecnológico de RA y en un

sistema de evaluación adaptado, influyen positivamente sobre el nivel de motivación de los estudiantes. Pero también impacta positivamente sobre su grado de aceptación de la tecnología de RA en general. Siendo este impacto particularmente significativo en el caso de los estudiantes con necesidades educativas especiales (ANEE), con tamaños del efecto medios.

Los datos analizados sobre la estructura factorial del cuestionario actitudinal, revelan también la importancia de integrar un sistema de evaluación digital, adaptado específicamente al uso del recurso tecnológico inmersivo desarrollado con software de RA.

Por otra parte, los resultados obtenidos a través del estudio cualitativo, efectuado para poder determinar el nivel de formación en tecnología y en sistemas de evaluación adaptados de los docentes que han participado en la investigación, revelan carencias importantes en su nivel formativo. Estas carencias, son significativas en el caso de la formación recibida y relacionada específicamente con el uso de recursos educativos inmersivos y con sistemas de evaluación adaptados.

Los datos analizados en el estudio realizado sobre la formación del profesorado en tecnología educativa, revelan que la mayoría de los docentes, cuentan con formación en tecnología educativa no inmersiva. Sin embargo, no han recibido nunca formación alguna relacionada con tecnología educativa inmersiva, ni con sistemas digitales de evaluación adaptados. Este hecho, puede suponer una explicación lógica y coherente con los resultados obtenidos en la investigación. Por lo tanto, se puede concluir que la investigación efectuada, aporta evidencia empírica que valida el modelo metodológico educativo propuesto para la explicación de conceptos clave y para la mejora del nivel de motivación y de la aceptación de la tecnología de RA por parte de los estudiantes de asignaturas de ciencias en la educación secundaria obligatoria. En definitiva, este modelo metodológico puede ser válido para la mejora de los procesos educativos y del rendimiento de los estudiantes, siempre que se utilicen de manera conjunta un recurso tecnológico inmersivo de RA con un sistema de evaluación digital adaptado. Pero, además, es fundamental que los docentes cuenten con formación específica relacionada tanto con la creación y el uso adecuado de los recursos educativos de RA, como de los

sistemas de evaluación digitales, para utilizarlos de manera conjunta y eficaz en cada caso concreto.

Estos hallazgos, suponen una nueva hipótesis de trabajo para futuras investigaciones que se realicen con muestras de estudiantes y profesores diferentes. También, pueden ser útiles para la planificación y el desarrollo de nuevas políticas educativas que impliquen el diseño de acciones correctoras, sobre todo en aspectos relacionados con la formación del profesorado en tecnología educativa. De esta manera, los docentes estarán capacitados no sólo para poder seleccionar el recurso tecnológico educativo más apropiado en cada caso, sino también para poder integrarlo y utilizarlo en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la manera más eficaz para mejorar el rendimiento y los resultados académicos de los estudiantes.

Palabras clave: Metodología innovadora; Realidad Aumentada; Sistema de evaluación adaptado; Tecnología educativa; Formación del profesorado; Educación Secundaria; Asignaturas de ciencias; Necesidades Educativas Especiales.

Abstract

The use of technological elements as educational resources has become an extremely interesting topic for the educational community at an international level over the last few years, and this continues today. This interest has increased during the period of crisis derived from the situation of the global pandemic, since the beginning of 2020, which has forced students all over the world to use the technological resources available to them to be able to continue with their education online from their homes for weeks or even months. This situation has shown the unquestionable advantages of using technology to continue to progress in educational processes, although students and teachers are not face to face.

However, this context of crisis has also shown up a lot of the weaknesses, deficiencies and difficulties that still need to be analysed and studied in the search for viable and effective solutions. Before this situation of global crisis emerged, some reports drawn up by international organisms had already suggested that the simple fact of using technological elements with educational aims was not sufficient to improve teaching and learning processes. They also suggested that the technological resources used with educational aims should be integrated into appropriate innovative methodologies for each specific case to maximise their effects on learning and be effective from a didactic viewpoint.

The main aim of this study was to design an innovative educational methodological model based on the use of technological resources to improve learning processes. This objective was complemented with the study and analysis of the principle intervening factors, as well as the type of available technological resources and the way to incorporate and use them effectively and efficiently in the development of the educational processes themselves. Thus, it will be possible to determine the type of technology that is most suited to each concrete case to improve the learning process.

TESIS DOCTORAL: 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.

To be specific, an innovative educational methodology has been designed based on the use of a didactic resource developed with immersive technology, combined with an adapted evaluation system. This immersive technological resource consists in the use of Augmented Reality (AR) software as a complementary element to explain key concepts in science subjects; while the adapted evaluation system is based on the use of specific software for performing objective assessment tests and determining the knowledge acquired by the students.

The methodology used in this investigation is basically quantitative, although qualitative methods have also been used to obtain complementary data. The process has been developed using three main differentiated qualitative studies: an exploratory study or prior pilot study, a performance study divided into four case studies and an attitudinal study. In order to complete the information obtained from the analysis of the data from these studies, a fourth study of a qualitative nature was carried out, related to the professional training in educational technology received by the teachers participating in the investigation.

The designs established for each of the studies were also different depending on the type of study performed. In the case of the exploratory study, it was a quasi-experimental design, within the framework of prospective ex post facto research. Regarding the performance study, it was a quasi-experimental design of a pre-post type with a control group in the first, second and third case studies and pre-post with a single group in the fourth. With respect to the attitudinal study, a prospective ex post facto design was chosen. The instruments used, which were also different and chosen according to the function of each of the studies performed, were questionnaires created ad hoc which were administered online, except in the case of the performance study which used the classic paper support for the control groups.

Students ($n = 500$) and teachers ($n = 16$) of the subjects of Biological and Geological Sciences from the 4th year of compulsory secondary education formed the sample. All belonged to either state ($n = 10$) or subsidised ($n = 6$) schools in the Region of Cantabria in Spain.

The results obtained in the pilot study related to the educational applications created and chosen with immersive software based on AR, offer very positive evaluations on the part of the students regarding both the technical and aesthetic aspects, as well as their ease of use. In this respect, no statistically significant differences were found among the evaluations of the students on each one. All of which provides an indicator of the reliability and validity of the applications, both as suitable instruments for carrying out the investigation and as appropriate educational resources.

In the first case in the performance study, the results show that the use of a didactic methodology based on non-immersive educational technology, can generate a positive improvement in the students' marks and academic results, compared with the use of non-immersive technology as a didactic resource for explaining key concepts of the subject. However, the data analysed in the study do not permit drawing the conclusion there is a significant impact on the students' performance. The data obtained in the second case study in the performance study, indicate that the use of a didactic methodology based on an immersive technological resource created with AR software and a system of digitally adapted evaluation did not improve the students' performance either. Although an improvement was found in the pre-post average marks of the experimental group, it was not statistically significant.

The analysis of the results obtained in the attitudinal study reveal that the use of an educational methodology, based on an AR technological resource and an adapted evaluation system, positively influenced the students' level of motivation, and also positively impacted their degree of acceptance of AR technology in general. An impact that was especially significant in the case of students with special educational needs (SEN) with a medium effect size.

The data analysed on the factorial structure of the attitudinal questionnaire, reveal the importance of integrating a digital evaluation system specifically adapted to the use of the immersive technological resource developed with AR software.

On another note, the results obtained from the qualitative study, carried out to determine the level of training in technology and adapted evaluation systems received

by the teachers who participated in the study, reveal important shortcomings in their academic training. These shortcomings are significant in the case of the training received specifically related to the use of immersive educational resources and adapted evaluation systems.

The data analysed in the study carried out on the training of the teachers in educational technology reveal that the majority of the teachers have had training in non-immersive educational technology. However, they have never received training in immersive educational technology, nor adapted digital evaluation systems. This may provide a logical and coherent explanation of the results obtained in this research. Thus, it can be concluded that this study provides empiric evidence that validates the proposed educational methodological model for the explanation of key concepts and for the improvement of the level of motivation and acceptance of AR technology by the students in science subjects in compulsory secondary education. In short, this methodological model may be valid for improving educational processes and students' performance provided that an immersive technological AR resource is used in combination with an adapted evaluation system. However, it is also fundamental for the teachers to be able to count on specific training related both to the creation and adequate use of AR educational resources, and digital evaluation systems, for a combined and effective use in each specific case.

These findings suggest a new working hypothesis for future research on different samples of students and teachers. They can also be useful for the planning and development of new educational policies which involve the design of corrective measures, especially in aspects related to the training of teachers in educational technology. In this way, the teachers will be capacitated not only to choose the most suitable educational technological resource for each case, but also to effectively integrate and use it in the teaching and learning processes to improve students' performance and academic results.

Keywords: Innovative methodology; Augmented Reality; Adapted evaluation system; Educative technology; Teacher training; Secondary education; Science subjects; Special educational needs (SEN).

Introducción

Actualmente, el grado de desarrollo tecnológico está propiciando que la tecnología esté presente en mayor o menor medida en todos los ámbitos de la sociedad, especialmente en sectores como la ingeniería, la medicina, el transporte, el arte, el ocio o la educación. En este último sector es donde el impacto de las nuevas tecnologías parece más evidente. Desde hace ya varios años, algunos expertos e informes internacionales señalan que la presencia de elementos tecnológicos propicia cambios sociales y favorece el impulso y el desarrollo de las sociedades modernas y de la economía global a través del acceso al conocimiento y a la información (Castells *et al.*, 1994; Colás y De Pablos, 2012; Jorgenson y Stiroh, 2000; Kozma, 2005).

Algunos autores como Haag, Cummings, y McCubbrey (2004), definieron las Tecnologías de la Información como aquellas “herramientas” basadas en computadoras, utilizadas para efectuar trabajos, labores de apoyo y para el procesamiento de la información en general. En el año 2009, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en colaboración con la Oficina Europea de Estadística (EUROSTAT), establecieron una definición para el sector TIC en la que engloban dos grupos de actividad principales: En primer lugar, la fabricación de productos de procesamiento y comunicación de información y, en segundo lugar, los servicios que permiten el procesamiento y la comunicación de información a través de medios electrónicos. Este conjunto de elementos tecnológicos es lo que actualmente se denominan Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), también conocidas por sus siglas en inglés como ICT. Cabero (1998), ya definía a las TIC como aquellas tecnologías basadas en la informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones relacionadas a través de la interactividad y la interconexión. Por lo tanto, este concepto, actualmente engloba un amplio abanico de herramientas tecnológicas.

Los ordenadores, las tabletas, los teléfonos móviles de última generación y los relojes inteligentes son parte de los dispositivos portátiles o *hardware* que, junto con las

tecnologías inalámbricas o *wireless*, actualmente favorecen y permiten que los usuarios puedan interconectarse a nivel global por medio de Internet. Permite el acceso a las redes sociales y a diversos servicios tecnológicos como el 5G, el Internet de las Cosas (*IoT*), la computación en la nube, el *Big Data*, el *Blokchain*, la web semántica, las analíticas de aprendizaje, la Realidad Virtual (RV), la Realidad Aumentada (RA) también conocida como *Augmented Reality* o (*AR*) por sus siglas en inglés, la web 2.0 o la inteligencia artificial, entre otros servicios que hoy en día están disponibles para la mayoría de los usuarios.

A nivel mundial, la tasa de crecimiento del sector TIC ha sido creciente, con una tendencia a la estabilización a corto plazo durante los próximos años (Muñoz, Antón, y San Agustín, 2017). El sector educativo, no ha sido ajeno a esta adaptación tecnológica impulsada desde las diferentes organizaciones internacionales. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2019), las TIC pueden ser útiles para ayudar al complemento, el enriquecimiento y la transformación del sector educativo. Ya en el año 2010, la UNESCO elaboró un informe que tituló: “*ICT Transforming Education*”, en el que definía las TIC como un concepto genérico y global que abarca aquellas herramientas tecnológicas que permiten recopilar, registrar, almacenar, intercambiar y difundir información. Dicho informe vinculaba la mejora en la calidad de la educación y el desarrollo social en general, con el incremento en el acceso y la utilización de las TIC en todos los países (Anderson, 2010).

No obstante, el ritmo de penetración de la tecnología en los diferentes países, incluso en los diferentes ámbitos y sectores sociales es variable y depende de numerosos factores que lo condicionan en cada caso, manteniendo durante los últimos años un ritmo de implantación alto en sectores como el comercio o el sector servicios, pero más reducido en otros sectores como la educación. Sin embargo, esta tendencia está cambiando en el sector educativo, debido principalmente al desarrollo y acceso generalizado de la población tanto a las redes y sistemas de comunicación, como de los equipos. Además, el abaratamiento y accesibilidad de los mismos permite el acceso y el intercambio de información de manera prácticamente ilimitada, así como el desarrollo de nuevas habilidades (Prieto, 2016). En este sentido, Nieto (2016), constata que las

políticas llevadas a cabo durante los últimos años en los países desarrollados, tanto por Gobiernos como por Instituciones, han propiciado un aumento de la inversión para el establecimiento de modelos educativos basados en elementos tecnológicos.

En el informe titulado “Tendencias que Transforman la Educación 2019”, publicado por la entidad internacional OCDE (2019), se analizan los principales factores políticos, sociales, económicos y tecnológicos que previsiblemente influirán en el futuro de la educación. El informe sugiere que, dado el nivel tecnológico alcanzado, el sector educativo se debe de transformar y adaptar para poder aprovechar las ventajas que ofrecen las nuevas herramientas tecnológicas (OCDE, 2019).

Numerosos educadores e investigadores como Hargreaves, (2003); Savage *et al.* (2013); Waldegg, (2002), defienden el impacto positivo que genera el aplicar las nuevas tecnologías y las TIC en el ámbito educativo con el objetivo de mejorar los aprendizajes. Incluso, hay autores como Area (2008), que proponen a las competencias digitales como catalizadores básicos de procesos innovadores, orientados a la formación transversal del alumnado, como herramientas fundamentales y necesarias para poder hacer frente a los retos y cambios de una sociedad cada vez más digitalizada.

Durante los últimos años, se están desarrollando un conjunto de tecnologías que junto con sus programas y aplicaciones son útiles para la inclusión social y educativa de aquellos alumnos que presentan algún tipo de apoyo a la diversidad. Son las denominadas tecnologías de apoyo a la diversidad o tecnologías de ayuda, también conocidas por sus siglas como TAD (Hurtado y Soto, 2005; Martínez-Figueira, 2016).

Según algunos expertos como Deterding, Sicart, Nacke, O’Hara, y Dixon (2011), otro de los campos más estudiados durante los últimos años a nivel internacional relacionados con la aplicación de tecnología en diversos contextos, es la denominada “gamificación”. En este término se incluyen aquellas dinámicas y procesos efectuados por especialistas y que implican la utilización de tecnologías basadas en videojuegos y en técnicas especiales de neuropsicología, en otros campos diferentes al entretenimiento, de manera que generan experiencias amenas y motivadoras en los usuarios (Parente, 2016; Korn, Funk, y Schmidt, 2015). La gamificación se está

incorporado satisfactoriamente en entornos productivos y en múltiples campos como la medicina, la ingeniería o la educación. Según algunos expertos como Arnold (2014), la gamificación potencia la atención, la motivación y el interés en las asignaturas por parte del usuario, lo que a su vez redundará en una mejora del aprendizaje. Aunque actualmente no hay demasiadas dificultades para encontrar en el mercado programas que pueden permitir integrar la gamificación en diferentes aspectos, sí que hay más dificultades a la hora de seleccionar cuáles pueden ser los más adecuados y cómo adaptarlos en cada caso concreto según las necesidades (Pascual *et al.*, 2015).

En el Informe Horizon publicado en 2019, se constata también la aceptación del denominado aprendizaje móvil, conocido por sus siglas en inglés como *m-learning*. Favorecido por un aumento en la utilización de recursos basados en la Realidad Mixta (RM), la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV), así como por el desarrollo de los teléfonos móviles inteligentes y las tabletas. La aceptación del aprendizaje móvil se debe a una mejora en el acceso a Internet por parte de la población en general, aunque esta tecnología aún se encuentra en las primeras fases de implantación. No obstante, según los expertos, las previsiones actuales indican que el aprendizaje móvil se extenderá también a otros dispositivos móviles como los relojes inteligentes, capaces de soportar recursos y aplicaciones relacionados con la RM, RV, RA y el Internet de las Cosas, debido a la combinación de dos factores determinantes: el rápido crecimiento de la RM y el abaratamiento del coste del hardware relacionado con la RA y con la RV principalmente (Alexander *et al.*, 2019).

Para algunos autores como Khan (2012), la tecnología aporta dos ventajas potenciales muy claras cuando se utiliza de manera adecuada en un contexto educativo. La primera es que Internet está facilitando el acceso a la educación y la transferencia de conocimiento de una manera nunca vista anteriormente a nivel global. La segunda es que permite que la educación pueda utilizar métodos móviles, mucho más personalizados y flexibles que los métodos tradicionales de enseñanza y aprendizaje impartidos en aulas con recursos convencionales. Para este autor, el objetivo es conseguir la globalización de la educación, de manera que pueda llegar a ser universal y gratuita para todo el mundo. En este sentido, el uso de tecnologías para la formación a

través de Internet con los denominados recursos educativos abiertos (REA), también está demostrando ser muy útil en el sector educativo, al igual que las denominadas plataformas para el aprendizaje como: *Personal Learning Environments* (PLE) y *Massive Open Online Courses* (MOOC) (Cebrián, 2016; Gutiérrez, 2016).

Sin embargo, algunos expertos afirman que el uso extendido de las nuevas tecnologías también tiene efectos no deseados sobre la sociedad, ya que la tecnología digital está favoreciendo la aparición de una brecha digital entre los países más desarrollados y los países menos desarrollados, lo que propicia el aumento de las desigualdades sociales (Gallego y De La Cruz, 2016; O'Neill, 2018). Además, los resultados obtenidos por recientes investigaciones también alertan sobre los posibles efectos nocivos que tiene sobre la salud de las personas un uso inadecuado o abusivo tanto de la tecnología en general, como de los dispositivos tecnológicos en particular. Sobre todo, los dispositivos relacionados con el sedentarismo y la sobreexposición a los elementos tecnológicos. En este sentido, cabe destacar los resultados obtenidos por una reciente investigación dirigida por el Instituto de la Salud Global de Barcelona (ISGlobal). Los resultados de este estudio sugieren una asociación entre niveles elevados de exposición durante la noche a luz artificial de espectro azul, emitida por la mayoría de bombillas LED de tipo blanco y por las pantallas de ordenadores, tabletas y teléfonos y dispositivos móviles, y un mayor riesgo de sufrir determinados tipos de cáncer (García-Saenz *et al.*, 2018).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), teniendo en cuenta las evidencias sobre los trastornos que produce en la salud el uso inadecuado o abusivo de la tecnología en general, ha establecido una serie de directrices de carácter preventivo dirigidas principalmente a niños menores de cinco años. Recomienda, entre otras cosas, que los niños no estén expuestos a las pantallas durante el periodo de lactancia o el primer año de vida. Advierte también que los niños entre los dos y los cuatro años no deberían estar expuestos frente a las pantallas más de una hora al día como máximo, aunque la recomendación general es que el periodo de exposición sea el menor posible (OMS, 2019).

La hiperconexión, el uso inadecuado y el abuso de las nuevas tecnologías, en concreto de Internet y de las redes sociales, también entrañan otro tipo de riesgos, además de la desigualdad social y los riesgos físicos sobre la salud, como son: *spam* (correo no deseado), *phishing* (suplantación de identidad), *hackeros* (pirateos informáticos), *fake news* (noticias falsas) o secuestros virtuales, etc. Así mismo, existen otros tipos de riesgos más graves que pueden afectar con mayor intensidad a los usuarios más jóvenes y vulnerables de las redes: adicciones, *ciberbullying* (acosos a terceros), *grooming* (contactos con extraños), *sexting* y *sexcasting* (envío de contenidos de carácter sexual), son sólo algunos ejemplos (Davara, 2019).

Acotar todos estos problemas que están surgiendo al mismo ritmo que evoluciona y se adopta la tecnología por parte de la sociedad, no es en absoluto una labor sencilla desde el punto de vista del derecho internacional. Aunque durante los últimos años se han regulado algunos aspectos generales en relación con el uso de Internet, cabe destacar que la normativa jurídica internacional de aplicación en contextos tecnológicos y digitales es todavía anticuada y obsoleta en muchos aspectos, como por ejemplo la que se refiere a las tecnologías de reconocimiento facial. Todo ello es debido, principalmente, tanto a la propia esencia de la tecnología y de la red, caracterizada principalmente por su dinamismo y su carácter descentralizado y global, como a los diferentes intereses particulares de los diversos países. Estos factores impiden en gran medida que actualmente exista una regulación jurídica completa y eficaz consensuada en el marco del derecho internacional (Álvarez, 2019; Puerto, 2015).

Es más, destacados analistas digitales como Zuboff (2019), cuestionan el desarrollo de los modelos económicos basados en las nuevas tecnologías. En la misma línea, incluso algunos expertos en tecnología como Lanier (2018), que han trabajado en grandes compañías tecnológicas de *Silicon Valley*, aconsejan hacer el menor uso posible de las redes sociales o incluso no utilizarlas. Muchos de estos expertos envían a sus hijos a colegios donde no utilizan ningún dispositivo tecnológico provisto de pantallas digitales hasta la etapa educativa de secundaria, con el objetivo de evitar que interfieran en su desarrollo emocional y físico. En Europa también existen centros educativos e institutos de educación secundaria que están declarando sus aulas e instalaciones libres de

teléfonos y dispositivos electrónicos móviles durante las horas lectivas. El ritmo de penetración de las nuevas tecnologías en todos los ámbitos sociales en los países desarrollados está provocando que se produzca lo que algunos expertos denominan “agotamiento digital” en la sociedad. Éste es producido principalmente por una sobreexposición de los usuarios a los elementos tecnológicos, una hiperconexión que en muchos casos está generando consecuencias no deseadas sobre la economía, la seguridad e incluso la salud de las personas entre otros muchos problemas (Puig, 2016; Ubieto, Almirall, Borrás, Ramírez, y Vilá, 2019).

En resumen, según la bibliografía actual, parece evidente que las nuevas tecnologías y las TIC, con sus luces y sus sombras, están penetrando en todos los sectores productivos y económicos, aunque con diferentes ritmos de adaptación en cada caso, impulsando y favoreciendo su desarrollo en general y originando importantes cambios sociales. Esta implantación tecnológica no está exenta de diversos problemas para los que necesariamente habrá que buscar soluciones, de manera que el desarrollo tecnológico y su aprovechamiento sean efectivos y sostenibles. La educación en nuevas tecnologías será determinante para que los jóvenes alumnos de hoy, y futuros profesionales del mañana, puedan desenvolverse en el marco de un mercado laboral continuamente cambiante y caracterizado por un alto dinamismo. Las nuevas habilidades tecnológicas que adquieran podrán contribuir al desarrollo de una sociedad tecnológica cada vez más digitalizada. Aunque en el sector educativo hay expertos e investigaciones concretas que defienden los efectos positivos de adoptar y aplicar las nuevas tecnologías y las TIC en determinados casos concretos, inevitablemente cabe preguntarse hasta qué punto y de qué manera se está produciendo este impacto en general y de qué manera se están implantando los avances tecnológicos en el sector educativo.

Algunos expertos en investigación internacional relacionada con las tecnologías educativas como Kozma (2005), subrayan desde hace ya varios años que la conexión entre los objetivos que establecen las políticas nacionales de los estados para su desarrollo y las reformas educativas basadas en las TIC está siendo, en muchos aspectos,

poco efectiva. Es necesario destacar que, durante los últimos años, han sido muy pocos los estudios que aportan información concreta sobre la manera más adecuada de integrar las tecnologías en el ámbito educativo y sobre los posibles efectos y cambios que éstas puedan producir a lo largo del tiempo, ya que sería necesario efectuar más estudios longitudinales con muestras grandes (Cox y Marshall, 2007). En este sentido, en la bibliografía actual, existe una carencia de estudios que traten sobre el modo más adecuado de utilización de la tecnología en el ámbito educativo para la producción de una verdadera mejora de los aprendizajes (Colás, de Pablos y Ballesta, 2018; Gallego y de La Cruz, 2016).

En cuanto a los efectos que pueden producir las TIC sobre los aprendizajes, hay algunos autores que defienden que la tecnología es una herramienta con suficiente potencial para producir un impacto positivo si se utiliza de manera adecuada (Archer *et al.*, 2014). Se puede encontrar en la bibliografía autores como Jewitt, Hadjithoma-Garstka, Clark, Banaji, y Selwyn (2010); Passey, Rogers, Machell, y McHug (2004); Trucano (2005), que evidencian que su correcta aplicación puede impactar de manera positiva en la motivación de los estudiantes aunque ésta, correlaciona de manera desigual con diferentes factores. Incluso, algunos autores como Machin, McNally y Silva (2007), han establecido en sus estudios, un impacto positivo entre mayores niveles de inversión en equipamiento TIC en la escuelas de primaria de Reino Unido y el rendimiento educativo de los alumnos.

Sin embargo, estas conclusiones no parecen generalizables. Una revisión profunda de la bibliografía publicada a nivel internacional por diversos educadores e investigadores como Angrist y Lavy (2002); Berlinski y Busso (2017); Cristia, Czerwonko, y Garofalo (2014); Fuchs y Wössmann (2004); Goolsbee y Guryan (2006); Leuven, Lindahl, Oosterbeek, y Webbink (2007); McEwan (2015); Rouse, Krueger y Markman (2004) entre otros, revela que a pesar de las fuertes inversiones efectuadas durante los últimos años por parte de la mayoría de los gobiernos en países desarrollados, los efectos de las intervenciones basadas en el uso generalizado de la tecnología en las aulas, por sí solo no produce mejoras significativas sobre el rendimiento académico de

los alumnos. Las inversiones eran dirigidas principalmente a la mejora en dotación y equipamientos de elementos tecnológicos en centros educativos.

Algunos de estos estudios, efectuados con diseños metodológicos robustos y con muestras relativamente grandes, no han encontrado efecto alguno de las diferentes TIC utilizadas en las investigaciones, sobre los aprendizajes del alumnado en las escuelas. Resultados similares se han obtenido en investigaciones relacionadas con los efectos de intervenciones basadas en incentivos económicos a los docentes para tratar de mejorar el rendimiento académico de los alumnos, sin haber podido encontrar tampoco ninguna evidencia significativa de mejora en los mismos (Fryer, 2013).

Las habilidades desarrolladas en ámbitos de enseñanza tradicionales, basadas principalmente en la utilización del papel como soporte físico, son esenciales para la adquisición de habilidades en entornos digitales, especialmente para la lectura digital de textos. La habilidad de la lectura es fundamental en la navegación “on line”, ya que precisa potenciar capacidades cognitivas para poder interpretar e interactuar de manera ágil con información y textos digitales. Las habilidades necesarias para poder desarrollar soluciones digitales a través de la programación informática, se obtienen de los contenidos curriculares de las asignaturas de matemáticas, principalmente. Estos son los principales motivos por los que, según la OCDE (2015), estas asignaturas se consideran claves y fundamentales para el desarrollo digital. Es por ello también por lo que la mayoría de los estudios publicados durante los últimos años analizan de manera particular los resultados académicos de los alumnos obtenidos en las asignaturas de lengua, matemáticas y ciencias.

Es fundamental analizar los resultados obtenidos por algunas de las principales investigaciones efectuadas durante los últimos años en diferentes países, para poder comprender cuáles han sido los procesos que han intentado integrar la tecnología en los contextos educativos. Esto permitirá determinar cuál es la situación real en cuanto al grado de integración de las mismas, el tipo de impacto y los efectos reales producidos sobre los procesos de aprendizaje a nivel internacional.

El estudio publicado por Angrist y Lavy (2002) y realizado en escuelas de Israel, evaluaba a corto plazo las posibles consecuencias derivadas del aumento de elementos tecnológicos informáticos en los centros educativos. En el citado estudio, realizado en escuelas de primaria y secundaria, ya se encontraron evidencias de que no existe una relación clara entre el uso educativo de los ordenadores y el rendimiento académico de los alumnos reflejado en las notas de los exámenes correspondientes a las asignaturas de matemáticas y lengua. Es más, incluso se obtuvieron resultados negativos en las notas de algunos grupos de alumnos que utilizaron ordenadores, sobre todo en las asignaturas de matemáticas pero también en las de lengua, aunque en la mayoría de los casos no fueron significativos. Por todo ello, estos autores concluyen: primero, que los métodos de enseñanza basados únicamente en el uso de elementos tecnológicos en el aula por sí solos, no ofrecen mejores resultados que otros métodos, y segundo, que el aumento del gasto en elementos tecnológicos no implica un aumento en el rendimiento de los alumnos. Por lo que proponen focalizar el esfuerzo organizativo e inversor tanto en la reducción del tamaño de las clases, como en la formación del profesorado (Angrist y Lavy, 1999; 2001).

Similares resultados obtienen Rouse *et al.* (2004), en su estudio efectuado en varias escuelas de los Estados Unidos, en el cual sugieren que, aunque la utilización de ordenadores en el aula puede ayudar a mejorar aspectos puntuales en las habilidades de los estudiantes en asignaturas de lengua, sin embargo, en general no mejoran los rendimientos académicos de los alumnos. Concluyen que aunque realmente puede haber otras variables que influyen y que pueden dificultar la efectividad de la tecnología en los contextos educativos en general, las herramientas tecnológicas no parecen ser un sustituto de otros métodos de enseñanza considerados tradicionales. Más bien pueden ser un complemento de estos métodos y para utilizarlas de manera eficaz, será fundamental formar previamente al profesorado en estos aspectos.

Otros estudios, como el efectuado por Fuchs y Wössmann (2004), sobre bases de datos obtenidas de informes PISA, ya obtuvieron resultados similares a los descritos anteriormente. Además, esta investigación también encontró evidencias negativas entre los alumnos que disponían de ordenadores en sus casas y su rendimiento

académico, es decir, los resultados obtenidos del estudio ya relacionaban de manera negativa el rendimiento de los alumnos tanto en lectura como en matemáticas, con el hecho de disponer y de utilizar el ordenador en sus casas. Pero no sólo eso, sino que por el contrario, también se obtuvieron evidencias positivas entre los alumnos que disponen de programas de ordenador educativos y el uso de ordenadores en sus casas, con el rendimiento académico. Además, este estudio revelaba un dato significativo y es que el uso en los centros educativos tanto de Internet como de los ordenadores, provoca que la evolución temporal del rendimiento de los alumnos mejora relativamente con un uso discreto de los mismos, pero que empeora cuando la frecuencia de uso aumenta. Es lo que los autores de esta investigación denominan una relación en forma de “U invertida”, que varía en función de la frecuencia de uso tanto de los ordenadores, como de Internet, por parte de los alumnos en los centros educativos.

En la investigación efectuada por Goolsbee y Guryan (2006), en escuelas públicas del estado de California en los Estados Unidos, se encontraron evidencias de que las inversiones efectuadas en equipamientos TIC sirvieron para disminuir la brecha digital entre los centros educativos. Pero en general, no se encontraron datos que avalasen la hipótesis de que estas inversiones mejorasen el rendimiento académico de los estudiantes.

Algunos autores como Cox y Marshall (2007), argumentan en su estudio que, para que las TIC produzcan un impacto real positivo sobre los aprendizajes, es necesario seleccionar tanto el tipo de herramienta tecnológica más adecuada en cada caso concreto, como la asignatura en la que se va a utilizar cada tipo de herramienta. De manera que será fundamental formar previamente al profesorado en estos aspectos.

Por su parte Fryer (2013), en su estudio, analizó los datos recogidos en varias escuelas públicas de Nueva York en los Estados Unidos, sin encontrar ninguna evidencia de que las inversiones económicas efectuadas para aumentar los incentivos económicos a los docentes causen impacto alguno positivo en el rendimiento de los estudiantes. Es más, este estudio evidencia que en los centros educativos más grandes, los incentivos a docentes pueden incluso disminuir el rendimiento de los alumnos. Estas conclusiones

coinciden con las obtenidas unos años antes por Leuven *et al.* (2007), en su estudio efectuado en varias escuelas de los Países Bajos, en las que tampoco encontraron evidencias de que los incentivos económicos a los maestros mejoren el rendimiento de sus estudiantes. Este estudio evidenció también que las inversiones económicas en equipos informáticos habían impactado negativamente en el rendimiento de los estudiantes en asignaturas de lengua y matemáticas principalmente.

En la bibliografía, también se encuentran ejemplos de estudios efectuados en países con economías en vías de desarrollo, como el efectuado en Perú por Cristia *et al.* (2014), en el que los autores concluyen que las inversiones económicas efectuadas en la mejora de equipamiento TIC en las escuelas, no produce mejoras significativas sobre los aprendizajes. Aunque se encontraron evidencias de que el uso de los ordenadores en el aula puede generar un aumento potencial de la motivación de los estudiantes, en cualquier caso es limitado.

También se pueden encontrar otros ejemplos de metaanálisis efectuados en varios países con economías en vías de desarrollo, relacionados con intervenciones educativas en el aprendizaje de los estudiantes. En ellos se han encontrado tamaños de efectos moderados en los tratamientos efectuados en grupos de estudiantes, generados por la utilización de ordenadores y elementos tecnológicos educativos, sensiblemente superiores a los obtenidos en otros tipos de intervenciones en este sector, como por ejemplo las que están basadas en incentivos económicos a los docentes (McEwan, 2015).

En el informe publicado por la OCDE (2015), titulado *“Students, Computers and Learning. Making the Connection”*, se ofrecen los resultados de un análisis comparativo entre las habilidades adquiridas por los alumnos en entornos digitales y los métodos de aprendizaje desarrollados para implementarlas. Dichos resultados se obtienen a partir de la interpretación de los datos PISA, obtenidos en los países miembros de la OCDE. El análisis de los datos ofrecido por este informe, indica que los resultados obtenidos por el uso de tecnología en el ámbito educativo, en general no está produciendo los efectos deseados sobre los aprendizajes. En concreto, en el análisis comentado anteriormente, efectuado por la OCDE, se comparó el uso de los ordenadores por parte de los

estudiantes con los rendimientos obtenidos en las asignaturas que teóricamente se consideraban claves para el desarrollo digital, como son la lectura, las matemáticas y las ciencias. Los resultados obtenidos desvelan que el rendimiento de los estudiantes en lectura digital aumenta en aquellos grupos que utilizan el ordenador en la escuela con una frecuencia menor a la de la media de los grupos estudiados. El mismo efecto sobre el rendimiento en lectura se produce en los grupos de estudiantes que utilizan el ordenador fuera del aula para realizar sus tareas, mejorando en aquellos grupos de alumnos que lo utilizan con una frecuencia por debajo de la media del resto de los países de la OCDE. Es más, similares resultados se han obtenido del análisis del rendimiento en lectura en grupos de estudiantes que habían utilizado de manera moderada el ordenador fuera de las aulas para realizar actividades de ocio personal. Los resultados obtenidos sobre el rendimiento de los estudiantes en asignaturas de matemáticas, en general, es superior en los grupos de estudiantes que no utilizan ordenadores en el aula, aunque existen algunas excepciones en los datos analizados en algunos países del norte de Europa. Los datos analizados evidencian que en general, la utilización de ordenadores en el aula, tampoco produce ningún impacto sobre el rendimiento de los alumnos en asignaturas de ciencias. Por lo tanto, los resultados obtenidos del análisis de los datos, muestran un patrón similar entre el rendimiento académico de los estudiantes principalmente en lectura y en matemáticas así como en la frecuencia de uso de los ordenadores tanto en la escuela como fuera de ella. En general, los datos indican que el rendimiento en lectura es menor en aquellos grupos de alumnos que utilizan el ordenador a diario, que los que lo utilizan con una frecuencia mucho menor, de una o dos veces por semana y que para mejorar los resultados académicos de los estudiantes, no es necesario realizar un uso frecuente de los ordenadores. Según los datos aportados por este informe, no parece que exista una relación significativa entre el grado de inversión en tecnología y los resultados en rendimiento de los estudiantes en lectura, matemáticas, o ciencias. Tampoco parece que el uso de la tecnología sea suficiente para equilibrar habilidades y reducir la brecha en los resultados académicos de los estudiantes con diferentes rendimientos escolares. En general, los datos indican que el

rendimiento de los estudiantes mejora con la utilización limitada o moderada de los ordenadores, pero los resultados académicos de los alumnos son significativamente más bajos en función del aumento de la frecuencia de uso. Por lo tanto, para mejorar los resultados académicos de los estudiantes, no es necesario mantener un uso frecuente de los ordenadores. Aunque los datos indican que inicialmente el uso moderado del ordenador parece tener claros efectos beneficiosos sobre el rendimiento académico de los alumnos, existe un punto de inflexión, un umbral en el tiempo de utilización de los mismos a partir del cual, estos efectos incluso se vuelven negativos.

Este patrón que revelan los resultados obtenidos del análisis de los datos estudiados por el informe de la OCDE, muestra que la relación entre el rendimiento de los estudiantes y la frecuencia de uso temporal de los ordenadores, en general, se puede representar gráficamente mediante una función convexa. Dicha función convexa, con forma de “colina”, cuya pendiente varía en función de si el uso del ordenador se efectúa en la escuela o fuera de ella, o de si se efectúa en lectura o en matemáticas, pero manteniendo en todo caso un perfil gráfico similar al descrito anteriormente. En general, la pendiente de esa curva es creciente y positiva hasta el valor máximo donde se produce un punto de inflexión de la misma, determinado por el umbral en el tiempo de uso del ordenador. Generalmente el uso del ordenador es de una o dos veces por semana, frecuencia de uso a partir de la cual, la pendiente se vuelve decreciente y negativa. Este perfil gráfico en forma de curva convexa o “colina” es similar a la descripción gráfica de la relación en forma de “U invertida”, establecida años antes en su investigación por Fuchs y Wössmann, (2004) entre el rendimiento de los estudiantes y la frecuencia de uso de los ordenadores e Internet.

Otros estudios, como los efectuados por Falck, Mang y Woessmann (2015), basados en datos obtenidos en varios países, han centrado sus análisis en el impacto producido por el uso del ordenador y el rendimiento obtenido por cada estudiante tanto en las asignaturas de matemáticas como de ciencias. Pero no se han encontrado evidencias del efecto producido por el uso del ordenador en el rendimiento en matemáticas. Por el contrario, sí se han observado relaciones mixtas con determinados usos del ordenador en ciencias, positivas en unos casos pero negativas en otros según los usos concretos.

Según el análisis efectuado por Bulman y Fairlie (2016), de la revisión de los resultados de varios estudios publicados en este campo durante varios años, incluidos en su estudio y efectuados en un principio en países desarrollados y más recientemente también en países en fase de desarrollo, se sugiere que las inversiones en TIC, tanto en las escuelas como en los hogares, no producirán impactos significativos en los aprendizajes, salvo en asignaturas de matemáticas en centros de países con economías en vías de desarrollo.

Estudios más recientes, efectuados en países con economías en vías de desarrollo, tampoco han encontrado efectos significativos sobre los aprendizajes de los alumnos en asignaturas de matemáticas, producidos por intervenciones efectuadas con elementos tecnológicos en el aula. El estudio efectuado por Berlinski y Busso (2017), en varias escuelas públicas de Costa Rica, desveló que la intervención efectuada con TIC en su investigación incluso redujo el interés de los grupos de estudiantes con mejores notas que participaron en la misma, lo que supuso un claro perjuicio para esos estudiantes.

Aunque, en general, el uso de la tecnología no produce mejoras significativas sobre el rendimiento de los alumnos, las conclusiones de los estudios analizados indican una mayor influencia en los efectos producidos en las asignaturas de lengua que en las de matemáticas, mientras que los datos obtenidos son ambiguos en cuanto a las asignaturas de ciencias (Nieto, 2016).

Ante estos indicios, algunos expertos como (Livingstone, 2012), sugieren que, aunque durante los últimos años el “foco” de atención ha estado situado casi exclusivamente sobre la tecnología como elemento clave para mejorar los resultados académicos de los alumnos, este planteamiento inicial puede ser erróneo. Los datos obtenidos de los estudios mencionados anteriormente parecen demostrar que el simple uso de elementos tecnológicos en el aula no es suficiente para mejorar los aprendizajes, si estas herramientas no van acompañadas de una metodología apropiada y adaptada que las complemente. Es más, puede ocurrir incluso, que si los alumnos utilizan recursos tecnológicos en clase, combinados con una metodología innovadora, pero sin un método de evaluación adaptado, los resultados académicos continúen siendo los

mismos o al menos muy similares. Teniendo en cuenta que los datos demuestran que, un uso moderado de la tecnología es beneficioso en el ámbito educativo, también puede darse la paradoja de que la tecnología aun utilizándola de manera adecuada, llegue a desplazar otras formas de aprendizaje consideradas tradicionales, bien por falta de tiempo o de otro tipo de recursos. En realidad, son igual o incluso más eficaces y productivas, por lo que el efecto final sobre los aprendizajes puede resultar nulo (Falck *et al.*, 2015; Hattie, 2009).

Por lo tanto, teniendo en cuentas las limitaciones de las investigaciones y los estudios publicados hasta la fecha, es necesario continuar investigando en todos estos aspectos en un contexto actual, para lograr comprender mejor cuáles son los beneficios potenciales de las TIC en los procesos de aprendizaje. En concreto, son necesarias más investigaciones y estudios para poder determinar los posibles impactos que puedan producir los usos específicos de las herramientas tecnológicas sobre los aprendizajes (Bulman y Fairlie, 2016).

Parte I. Marco teórico y estado de la cuestión

TESIS DOCTORAL: 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.

Capítulo I. Tecnología y educación

1.1.- Procesos para la integración tecnológica en contextos educativos

Según la revisión de la bibliografía efectuada, se puede constatar que la mayoría de las opiniones de los expertos evidencian un creciente grado de adopción de las tecnologías de la información en el ámbito educativo durante los últimos años. Los efectos de esta penetración tecnológica están suponiendo la evolución del sector educativo a través de modelos educativos revolucionarios basados en las TIC y en Internet, como la teleformación o aprendizaje en línea, más conocido por sus siglas en inglés como *Electronic Learning (e-learning)*, que en realidad supone una adaptación moderna del aprendizaje a distancia tradicional.

Con la llegada de los dispositivos móviles inteligentes, el aprendizaje en línea ha evolucionado al denominado aprendizaje móvil, también conocido como *Mobile Learning (m-learning)*, integrando los dispositivos móviles de última generación que permiten y facilitan el proceso de enseñanza y aprendizaje en todo momento y en cualquier lugar. Sin embargo, como se ha visto, en general, las investigaciones en el sector educativo se centran no tanto en la tecnología en sí misma, sino en determinar cómo conectar de manera eficiente los recursos tecnológicos disponibles con los procesos de enseñanza-aprendizaje. Y en particular, con aquellos procesos generados por la ubicuidad que favorecen los propios elementos tecnológicos, dando lugar a lo que se conoce como aprendizaje ubicuo o *Ubiquitous Learning (u-learning)*, por sus siglas en inglés.

Una parte de estas investigaciones se centran en la manera de implementar procesos de aprendizaje que utilizan formación a través de recursos web disponibles en Internet, denominados Sistemas de Gestión del Aprendizaje o *Learning Management System (LMS)*, combinándolos con métodos de enseñanza presenciales, en un proceso como denominado aprendizaje combinado o *Blended Learning (b-learning)*. En este sentido, durante los últimos años, otras investigaciones relacionadas con el aprendizaje

mejorado por tecnología o *Technology Enhanced Learning (TEL)*, se están centrando particularmente en la manera de combinar algunos modelos educativos basados principalmente en el *m-learning* y en el *u-learning*, con recursos tecnológicos de realidad extendida también denominados *Extended Reality (XR)*, para mejorar y optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje (Brown *et al.*, 2020; Johnson , Adams Becker , Estrada, y Freeman, 2014).

1.2.- La formación del profesorado en Tecnología educativa

Durante los últimos años, la utilización de elementos tecnológicos como recursos didácticos en contextos educativos se ha incrementado de manera progresiva. Sin embargo, ha sido durante la actual situación de crisis sanitaria, cuando el uso de tecnología con fines educativos se ha generalizado, convirtiéndose en una herramienta necesaria y fundamental para poder continuar desarrollando los procesos de enseñanza-aprendizaje. No obstante, este hecho ha puesto de manifiesto la existencia no sólo de dificultades y limitaciones, sino también de ciertas carencias relacionadas.

1.2.1.- Trascendencia de la formación tecnológica en los docentes del siglo XXI

Actualmente, existe una amplia variedad de recursos tecnológicos disponibles en los centros educativos. Sin embargo, los datos ofrecidos por recientes estudios efectuados durante los últimos años a nivel internacional señalan que los efectos generados sobre los procesos de aprendizaje, en general, no cubren los objetivos previstos inicialmente (Spiteri y Chang Rundgren, 2020). Por lo tanto, las últimas investigaciones efectuadas en este campo no cuestionan tanto el uso y la integración de elementos tecnológicos como recursos educativos en los planes de estudios, sino otros aspectos relacionados con la manera de hacerlo de manera efectiva.

A todo lo anterior se une el hecho de que la crisis generada por la pandemia del COVID-19, ha puesto en evidencia la incapacidad para poder desarrollar plenamente y de manera efectiva un sistema de aprendizaje a distancia plenamente eficaz según la

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2020). Se ha comprobado que aún existen importantes limitaciones para la implementación de un sistema de educación que dependa íntegramente de la tecnología (Tawil, 2020).

Por ello, es fundamental que los docentes tengan en cuenta el potencial y las capacidades que ofrecen las herramientas educativas basadas en tecnología digital.

El perfeccionamiento de los nuevos sistemas educativos basados en herramientas digitales requiere del desarrollo de nuevas habilidades y de competencias docentes. Uno de los objetivos prioritarios que ha fijado la UNESCO a corto plazo, consiste en la formación formal de los docentes para que puedan desarrollar la enseñanza a distancia y digital de manera efectiva (Giannini, Jenkins, y Saavedra, 2021). Es fundamental potenciar la formación del profesorado en este sentido, de manera que puedan implementar metodologías innovadoras basadas en la utilización de elementos y recursos tecnológicos que permitan el desarrollo de las habilidades digitales que van a necesitar los alumnos en el futuro y para poder afrontar con éxito futuros escenarios de crisis.

Estudios efectuados recientemente en este campo, como los realizados por Spiteri y Chang Rundgren (2020) y Tawil (2020), coinciden en señalar la gran importancia y trascendencia de una adecuada formación del profesorado. Se determina que los docentes necesitan formación para poder adquirir las competencias digitales que incluyan las habilidades necesarias para poder utilizar los recursos tecnológicos disponibles actualmente de manera efectiva. Asimismo, también necesitan desarrollar las actitudes y adquirir los conocimientos necesarios para poder seleccionar la información necesaria, crear sus propios contenidos temáticos y transmitir el consiguiente conocimiento, así como para la resolución de problemas y conflictos (Spiteri y Chang Rundgren, 2020; Tawil, 2020).

Además, los estudios llevados a cabo a través de las últimas investigaciones realizadas a nivel internacional, relacionados con el uso de elementos tecnológicos por parte del profesorado, como el efectuado por Scherer, Siddiq y Tondeur (2020) evidencian que,

en general, los docentes muestran una buena predisposición al uso de elementos tecnológicos como recursos educativos. Sin embargo, matizan que también conviene estudiar las relaciones entre las intenciones de uso y el uso real de la tecnología, ya que este último puede verse comprometido por diferentes factores tanto contextuales como psicológicos.

1.2.2.- Marco teórico en la formación en tecnología del profesorado

Con el fin de poder comprender la relevancia que tiene la formación del profesorado, se toman como referencia algunos de los principales modelos teóricos planteados actualmente para la inclusión eficaz de la tecnología en el ámbito educativo. Dichos modelos son el SAMR (*Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition*), el TIM (*Technology Integration Matrix*) y el TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*). Estos modelos permiten determinar cuáles son las principales competencias que los docentes tienen que ser capaces de desarrollar, para incorporar los diferentes recursos tecnológicos en contextos formativos, y mejorar el desarrollo de modelos educativos basados en la combinación de elementos tecnológicos, metodologías y currículos, de manera que sean eficaces.

El modelo SAMR, propuesto por Puentedura (2014) representa el proceso teórico necesario para poder mejorar los procesos de integración de la tecnología en el diseño de actividades educativas. Este modelo está estructurado en dos niveles (mejora y transformación). Cada uno de estos niveles está formado, a su vez, por dos etapas: i) el nivel de mejora, compuesto a su vez por las etapas de sustitución y aumento y ii) el nivel de transformación, compuesto por las etapas de modificación y redefinición.

En la etapa de sustitución, los elementos tecnológicos se utilizan como sustitutos de otros ya existentes, pero no generan ningún cambio metodológico. En la etapa de aumento, los elementos tecnológicos se utilizan también como sustitutos de otras preexistentes y se añaden mejoras funcionales. En estas dos etapas, se puede lograr mejorar la motivación de los estudiantes y el proceso de aprendizaje, pero no se genera ningún cambio metodológico.

En la siguiente etapa, la etapa de modificación, los estudiantes aprenden a crear contenidos educativos con ayuda de los recursos tecnológicos. En la última etapa, la etapa de redefinición, los estudiantes presentan los conocimientos adquiridos con los recursos tecnológicos utilizados.

De esta manera, de acuerdo con el modelo de taxonomía desarrollado por Anderson y Krathwohl (2001), a partir del modelo inicial establecido previamente por Bloom (1956), y que serán descritos en el apartado 2.3. del Capítulo II, se pueden generar nuevos contextos educativos basados en el análisis, la evaluación y la creación como habilidades de pensamiento y estrategias cognitivas de aprendizaje de orden superior o *HOTS* (Anderson y Krathwohl, 2001).

El modelo TIM se ha desarrollado y está siendo implementado y difundido actualmente por el ARIZONA K12 Center (2021), para orientar a los profesores en el uso de la tecnología con el objetivo de mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Este modelo se basa en la combinación de dos dimensiones formadas por la asociación de cinco niveles para la integración de la tecnología educativa: entrada, adopción, adaptación, infusión y transformación. Dichos niveles son combinados con cinco características propias de entornos de aprendizaje significativo: activo, colaborativo, constructivo, auténtico y enfocado a objetivos. Este modelo se basa en aprendizaje con recursos tecnológicos, su integración curricular, la formación y el desarrollo profesional de los profesores y en el aprendizaje de los estudiantes.

El modelo más generalizado en la bibliografía actualmente para orientar a los docentes en la tarea de integración de los elementos tecnológicos en los procesos de enseñanza fue establecido por Mishra y Koehler (2006) y denominado TPACK. Para estos autores, es fundamental establecer un modelo de referencia para la integración de la tecnología en el ámbito educativo. Según ellos, la formación de los estudiantes utilizando tecnología es un proceso complejo. Demanda soluciones creativas que los profesores tienen que ser capaces de implementar de manera eficaz en el aula, para mejorar la calidad del proceso educativo. Para ello es necesario un diseño que integre la terna formada por conocimientos disciplinares, pedagógicos y tecnológicos

simultáneamente. Este modelo establece que los profesores tienen que ser capaces de trabajar con tres clases de conocimientos vinculados: En primer lugar, el conocimiento relativo al tipo de pedagogía, didáctica y métodos educativos que tienen que conocer los docentes, denominado conocimiento pedagógico (PK). En segundo lugar, el conocimiento referente al contenido que los docentes deben de tener sobre las materias que imparten, también denominado conocimientos disciplinar (CK). Y, en tercer lugar, el conocimiento tecnológico (TK).

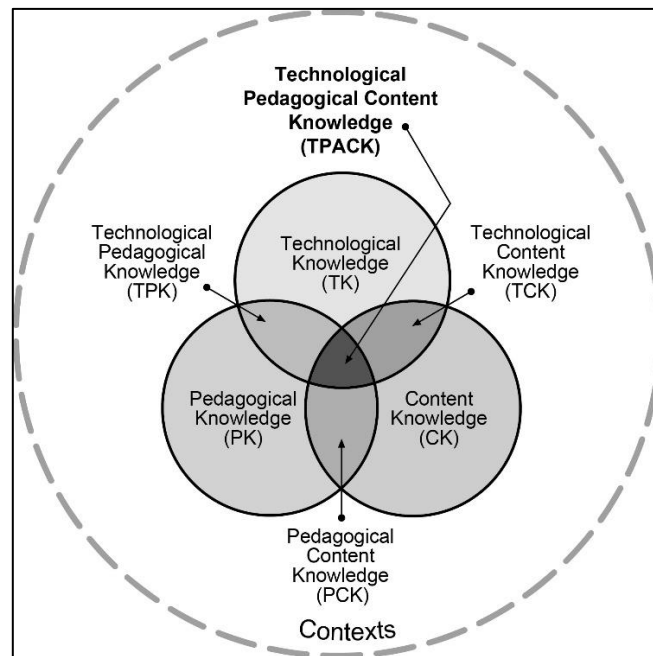


Figura 1. Esquema del modelo TPACK.

Fuente: <http://tpack.org>. Reproducido con permiso del editor © 2012 by tpack.org (Matthew Koehler y Punya Mishra).

Según el modelo TPACK (representado en la Figura 1), estos tres tipos de conocimientos o componentes se complementan e interaccionan entre ellos, generando otros cuatro tipos de conocimientos. El primero, se denomina conocimiento pedagógico disciplinar (PCK) e integra tanto el conocimiento de la materia, como la manera de enseñarla. El segundo, es el denominado conocimiento tecnológico disciplinar (TCK) que comprende el conocimiento relativo al tipo de tecnología idónea para su uso en cada caso concreto. El tercero, el denominado conocimiento tecnológico pedagógico (TPK),

abarca el conocimiento sobre el uso de la tecnología en el ámbito educativo. El cuarto, se denomina conocimiento tecnológico, pedagógico y disciplinar (TPACK) y comprende los conocimientos necesarios para poder integrar los elementos tecnológicos de la manera más eficaz, teniendo en cuenta el tipo de contenido, la metodología y las características del alumnado.

En definitiva, los tres modelos teóricos citados anteriormente coinciden en señalar que debido al grado de desarrollo tecnológico y al nivel de penetración social que la tecnología ha alcanzado actualmente, es fundamental que los docentes posean amplios conocimientos sobre: las materias concretas impartidas y sobre las metodologías idóneas que deben utilizar en cada caso concreto. Pero han de poseer también profundos conocimientos sobre la manera más efectiva de utilizar los recursos tecnológicos para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje (Nieto, 2016).

Estudios recientes, como el efectuado por Wilson, Ritzhaupt y Cheng (2020), concluyen que la realización de cursos de formación por parte de profesorado en tecnología educativa, basados en modelos teóricos como el TPACK, pueden tener un potencial impacto positivo, no sólo sobre la intención de uso, sino también sobre el uso real y la integración final de la tecnología de manera efectiva en el ámbito educativo.

En este contexto, los cursos de formación necesariamente tienen que estar orientados a la mejora tanto del conocimiento conceptual como del conocimiento práctico. Dichos cursos deberían de basarse en un proceso de formación continua. Además, es necesario seguir investigando cuál es la manera más efectiva de diseñar los cursos formativos en función del tipo de tecnología educativa concreta (Wilson, Ritzhaupt y Cheng, 2020).

La comprensión sobre la manera óptima de utilizar algunas tecnologías como recursos educativos, especialmente la RV y la RA, es aún muy limitada. A pesar de que se trata de tecnologías inmersivas que pueden ser muy efectivas para mejorar determinados aspectos en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Por todo ello, la falta de formación específica del profesorado en este campo, o incluso de una formación inadecuada, podría influir de manera negativa sobre la intención de uso de tecnologías

inmersivas como la RA. A pesar de que estas tecnologías poseen un elevado potencial de impacto para su aplicación con fines educativos por parte de los docentes (Alalwan *et al.*, 2020).

Además, teniendo en cuenta todo lo expuesto, también parece razonable que los docentes aprendan a diseñar y a utilizar sistemas de evaluación adaptados a las nuevas herramientas y recursos digitales disponibles actualmente (Blázquez, Alonso y Yuste, 2017). Parece fundamental poder conocer y determinar exactamente cuál es el estado actual de la cuestión relativo a la formación de los profesores de asignaturas de ciencias de la Educación Secundaria Obligatoria. Tanto en tecnología educativa en general, como en tecnología educativa inmersiva en particular. Asimismo, también es necesario conocer el nivel de conocimiento que poseen los docentes actualmente sobre el diseño y la utilización de sistemas de evaluación digitales adaptados.

La respuesta a estas cuestiones constituye una información de partida fundamental y necesaria para poder adoptar posteriormente acciones correctoras si fuese necesario. Asimismo, también es crucial también para planificar el desarrollo de políticas educativas que permitan la plena integración de manera efectiva y eficaz de los diferentes recursos tecnológicos disponibles actualmente en el marco de los procesos de enseñanza y aprendizaje.

1.3.- El rol de la Tecnología Educativa en periodos de crisis

Como ya se ha mencionado anteriormente, en el apartado 1.2.1., la situación derivada de la pandemia global, originada a comienzos de 2020 por el COVID-19, ha generado una crisis sin precedentes en el ámbito de la educación. La mayoría de los docentes y estudiantes del mundo, debido a esta pandemia, se han visto de manera repentina obligados a permanecer en sus casas durante diferentes períodos de tiempo, sin posibilidad de asistir a sus clases en las escuelas y con la necesidad de seguir impartiendo las clases a distancia, siempre que contasen con un ordenador y acceso a Internet.

La utilización de recursos tecnológicos educativos durante la pandemia ha ayudado a los docentes, a los estudiantes y a los centros educativos en general, a poder continuar desarrollando los procesos de enseñanza-aprendizaje, a distancia u *online*.

Sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2020), asegura que esta crisis, ha puesto de manifiesto muchas deficiencias y necesidades en la educación a distancia en el sistema educativo mundial, tanto de los docentes, discentes como de la Administración. Rápidamente se tuvieron que buscar soluciones a todos los problemas que iban surgiendo para poder enseñar a distancia a millones de estudiantes en todo el mundo. Algunos de los principales problemas que han surgido según la UNESCO (2020) son los siguientes:

La mayoría de los docentes han tenido que formarse y aprender herramientas tecnológicas nunca utilizadas anteriormente para poder acceder los alumnos. Los docentes empezaron utilizando el teléfono móvil para comunicarse con sus alumnos, el correo electrónico para enviarles tareas, lecciones, ejercicios, etc., y tuvieron que formarse en plataformas educativas como *Teams, Classroom o Moodle*, entre otras.

Por otra parte, muchos alumnos no tenían acceso a un ordenador o a Internet, con lo cual se dificultaba la enseñanza y la educación dejaba de ser inclusiva y equitativa para todos los estudiantes. Las Administraciones de los países más desarrollados han proporcionado a los alumnos equipos informáticos, conexión a Internet, o ambas cosas, para intentar paliar la brecha digital existente entre las diferentes clases sociales.

Sin embargo, se vio que casi la mitad de los alumnos en el mundo no tienen un ordenador ni acceso a Internet. Estos alumnos viven en países de bajos ingresos económicos. Lo mismo sucede con los móviles, que muchos alumnos viven en lugares donde no llega la cobertura de las redes sociales, como el África Subsahariana. Para ello durante la pandemia se buscaron otras soluciones como los programas de radio y de televisión para emitir contenidos educativos y poder llegar al mayor número de población.

El mismo problema tenían los profesores que viven en países donde no hay suficiente infraestructura en tecnología o tantos recursos educativos, lo cual dificultó su tarea y su

labor de la enseñanza a distancia. Los profesores de estos países también han recibido menos formación en materias TIC, tan necesaria en estos tiempos de crisis, debido a los bajos ingresos de sus países. Estas desigualdades plantean el reto que actualmente tienen la mayoría de los países para invertir en tecnología y mejorar el aprendizaje a distancia.

El proceso de enseñanza-aprendizaje a distancia no sustituye al presencial, donde los alumnos pueden socializar con otros alumnos y aprenden otras competencias que no se aprenden desde casa. Pero en períodos de crisis, la tecnología puede paliar el problema, para que los alumnos no pierdan todo el proceso de enseñanza-aprendizaje. Después de esta crisis, se ha visto que no todos los países del mundo están preparados tecnológicamente para enseñar a distancia o en línea, y que es necesario y urgente avanzar y mejorar en inversión en tecnología para permitir el acceso a la educación a distancia desde casa a todos los alumnos.

Dependiendo del nivel educativo, los profesores han tenido que ser más creativos en el proceso de enseñanza-aprendizaje con sus alumnos. Sobre todo, en las etapas inferiores, Infantil y Primaria, cuyos alumnos son de 3 a 6 años y de 6 a 12 años, respectivamente. Incluso en la Educación Secundaria Obligatoria, de 12 a 16 años, los alumnos necesitan la supervisión constante de los docentes y el apoyo de los padres para poder seguir las clases. Sin embargo, algunos alumnos de la Educación Secundaria Obligatoria de cursos superiores como tercero o cuarto curso de la ESO y de Bachillerato o Ciclos Formativos de Grado Medio o Superior, son más autónomos para seguir la formación a distancia. De hecho, algunos ciclos formativos ya se impartían a distancia utilizando la plataforma Moodle. Los alumnos de las Universidades también son más autónomos para seguir las clases, a través de la plataforma que utilice la Universidad (UNESCO, 2020).

Aunque aún no se han publicado estudios longitudinales que permitan determinar el verdadero impacto de la crisis sanitaria en el sector de la educación a medio y largo plazo, algunos informes internacionales, como el elaborado por Tawil (2020), basándose en estimaciones efectuadas por organismos internacionales, aportan algunos datos reveladores. En concreto, las cifras disponibles actualmente revelan que casi 500

millones de alumnos, de los cuales, el 75 por ciento de ellos, viven en zonas pobres o rurales y pertenecen a etapas educativas comprendidas entre la Educación Infantil y la Educación Secundaria, no han tenido posibilidad de acceso a una formación a distancia durante los periodos de confinamiento domiciliario. Aproximadamente el 90 por ciento de los países desarrollados pudieron facilitar a los estudiantes algún tipo de formación a distancia. Sin embargo, solo el 25 por ciento de los países en vías de desarrollo y con bajos ingresos pudieron conseguirlo.

Esta crisis está favoreciendo que, en general, los países evolucionen en transformación digital en meses, lo que no habían evolucionado en años. Todo ello con el fin de que el sistema educativo, aunque a distancia, pueda ser inclusivo para los alumnos de todo el mundo, con la ayuda de los recursos tecnológicos.

La tecnología digital inteligente, también conocida como Inteligencia Artificial (IA), no se ha aplicado a nivel general en contextos educativos durante la pandemia. Hoy en día, habría que impartir formación sobre la IA, ya que, debido a sus características y funcionalidades, su utilización probablemente permitiría mejorar la enseñanza a distancia.

En este sentido, autores como Alalwan *et al.* (2020), defienden que, también algunas tecnologías inmersivas como la RA, son herramientas muy útiles y adecuadas para ser utilizadas en contextos donde la conexión a Internet es deficiente o incluso cuando no es permanente. Además, esta tecnología es idónea para la visualización tanto de fenómenos físicos, como de conceptos abstractos o que llevan asociado un componente espacial o tridimensional, así como, para la recreación de espacios formativos simulados y más seguros que los reales, como entornos de laboratorio por ejemplo (Cai, Chiang, Sun, Lin, y Lee, 2017; Fombona y Pascual, 2017; Tarng, Ou, Lu, Shih, y Liou, 2018).

Sin embargo, todavía queda mucho trabajo por hacer y es necesario continuar investigando sobre estas tecnologías. Tanto los países, como la comunidad educativa internacional en su conjunto, tienen que conseguir generalizar el uso de los recursos y de los contenidos educativos digitales, y que puedan ser accesibles a todos los alumnos, de manera que, no se produzcan desigualdades en la educación. Por lo tanto, el sistema

educativo, tiene que ser capaz de adaptarse y de buscar nuevas metodologías innovadoras que permitan llegar a todos los alumnos sin excepción, integrando la tecnología, los recursos y las posibilidades formativas que ésta ofrece. Ahí, precisamente, reside el importante rol que la tecnología educativa está demostrando tener en períodos de crisis.

1.4.- Tecnologías (XR) inmersivas

La realidad extendida (XR) se trata de un término que integra diferentes contextos físicos y virtuales. La realidad extendida integra tecnologías basadas en la RV, la RA, las holografías y la Impresión en 3D principalmente. Las últimas investigaciones efectuadas a nivel internacional señalan indicios claros sobre el potencial de estas tecnologías en el ámbito educativo, para completar y mejorar los sistemas pedagógicos tradicionales, estrechando la relación entre la teoría y la práctica y mejorando la accesibilidad a los contenidos pedagógicos de estudiantes que poseen diferentes tipos de discapacidades. Además, actualmente los costes de inversión en este tipo de tecnologías están disminuyendo considerablemente, a la vez que las capacidades y rendimientos de los equipos están mejorando notablemente.

En este sentido, una revisión de los últimos Informes Horizon publicados durante los últimos cinco años en los que se analizan y describen las tecnologías que tendrán un impacto significativo sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje (Adams Becker *et al.*, 2018; Alexander *et al.*, 2019; Brown *et al.*, 2020; Johnson *et al.*, 2016), concretan que, de manera particular las tecnologías inmersivas, en concreto la RV y la RA, presentan un alto potencial de implantación en el ámbito educativo, tanto en los centros escolares como en los centros universitarios durante los próximos años (Véase Tabla 1).

Parece evidente que las tecnologías que forman parte de la XR y entre las que se encuentran tanto la RV como la RA, constituyen recursos tecnológicos con una gran relevancia y potencial de adopción como instrumentos de complemento y mejora de los sistemas educativos, lo que facilita su uso generalizado por parte de los estudiantes.

Tabla 1

Relación de Informes Horizon que incluyen en sus previsiones tecnologías de RV y de RA

Año de Publicación	Horizonte Temporal			
	En un año o menos	De 2 a 3 años	De 4 a 5 años	En 10 años (2020-2030)
Johnson et al. (2016)	- BYOD, Bring Your Own Device. - Learning Analytics and Adaptive Learning.	- Augmented (AR) and Virtual Reality . - Makerspaces.	- Affective Computing. - Robotics.	-
Adams Becker et al. (2018)	- Analytics Technologies. - Makerspaces.	- Adaptive Learning Technologies. - Artificial Intelligence.	- Mixed Reality (AR and RV included). - Robotics.	-
Alexander et al. (2019)	- Mobile Learning. - Analytics Technologies.	- Mixed Reality (AR and RV included). - Artificial Intelligence.	- Blockchain. - Virtual Assistants.	-
Brown et al., (2020)	-	-	-	- XR (AR, RV, MR, HAPTIC, included) Technologies.

Fuente: Elaboración Propia a partir de los datos incluidos en Informes Horizon publicados en el periodo 2016-2020.

La previsión de los expertos sobre la posible evolución de estas tecnologías supone que, durante los próximos años, mantendrá una tendencia de crecimiento y desarrollarán de manera significativa su potencial de impacto influyendo en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Principalmente con el desarrollo de las redes de comunicación inalámbricas y la implantación generalizada del 5G, que potenciarán las capacidades inmersivas y las prestaciones de la tecnología XR. Sin embargo, aún es necesario llevar a cabo más investigaciones que determinen exactamente cuál es el alcance real de esa importancia, qué tipo de impacto son capaces de llegar a producir en cada caso concreto y hasta qué punto pueden ser significativos en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Brown *et al.*, 2020). Dichas investigaciones, no serán sencillas, ya que dependen de innumerables factores y requiere de un análisis pormenorizado de la situación, del desarrollo tecnológico y del uso concreto que se pretenda hacer con cada una de estas tecnologías. Aunque todas las denominadas Tecnologías XR están disponibles actualmente para su implantación en el sector educativo.

TESIS DOCTORAL: 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.

1.5.- Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA)

La tecnología basada en RA, al igual que la tecnología de RV, la tecnología Holográfica y la Impresión 3D, tienen en común que necesitan de dispositivos móviles para su uso (*hardware* básico). Su acceso está prácticamente generalizado debido a los bajos costes de adquisición, sobre todo de los smartphones y de las tabletas, además del *software* necesario para el diseño de los contenidos cuyo coste varía dependiendo del tipo concreto de tecnología. Pero estas tecnologías también necesitan otros complementos adicionales para su funcionamiento y utilización que elevan dichos costes. En el caso de las holografías, es necesario que la proyección se efectúe sobre algún tipo de soporte físico y los utilizados actualmente siguen siendo voluminosos al tratarse de una tecnología que aún no se ha desarrollado completamente. En el caso de la impresión en 3D, el coste del equipo se incrementa con la necesidad de complementarlo con impresoras de modelado de objetos en tres dimensiones, a los que hay que añadir los materiales necesarios para la impresión de los modelos tridimensionales, lo que además implica la necesidad de disponer de un mayor espacio físico para su utilización (Ford y Minshall, 2019). En el caso de la RV, los equipos más sencillos y asequibles del mercado también se complementan con pantallas adicionales o *Head-Mounted Displays (HMDs)* RV Clásicos, para proporcionar al usuario una experiencia completamente inmersiva, aislándolo del entorno real (Anthes, García-Hernández, Wiedemann y Kranzlmüller, 2016).

Los costes de adquisición de *hardware* para los sistemas basados en RV y RA están disminuyendo significativamente durante los últimos años (Alexander *et al.*, 2019). Sin embargo, tanto los precios de coste de *hardware* como de *software*, para el desarrollo de experiencias con RA, suelen ser mucho más bajos ya que a menudo sólo necesitan de un ordenador o dispositivo móvil (*smartphone* o tableta) y de un programa o aplicación para poder implementarlos (Brown *et al.*, 2020). Además, del uso generalizado de dispositivos móviles debido a su relativo coste en el mercado, los costes de diseño y desarrollo de aplicaciones basadas en RA, suelen ser mucho más bajos y asequibles que

el coste de aplicaciones similares basadas en RV. Por otra parte, los procesos de diseño de programas basados en RV suelen ser más complicados de realizar que los de RA por lo que tanto el profesorado como los estudiantes, necesitan más tiempo para poder realizarlos y utilizarlos (Boyles, 2017). Algunos estudios evidencian efectos nocivos en la salud de los usuarios como mareos o dolores de cabeza, producidos por la utilización prolongada de sistemas inmersivos totales. Estos aspectos pueden suponer un problema importante para poder integrar de manera generalizada y efectiva a la RV en contextos educativos (Kinaterder *et al.*, 2014)

Tanto la RV como la RA tienen en común que forman parte de lo que algunos autores como Milgram, Takemura, Utsumi y Kishino (1994), definen como una taxonomía tridimensional, en un marco que combina entre otras, tres propiedades fundamentales como son: el tipo de realidad que muestran, el grado de inmersión en el entorno virtual y la veracidad de los objetos representados del mundo real. En realidad, estas dos tecnologías forman parte de un continuo, que relaciona la realidad con la virtualidad (*Continuum RV*). En el extremo izquierdo se encuentran los objetos reales que pueden observarse a simple vista o a través de la pantalla de algún dispositivo tecnológico. En el extremo derecho, se encuentran los objetos creados por entornos totalmente virtuales y situada entre los dos extremos, se encuentra la RA.

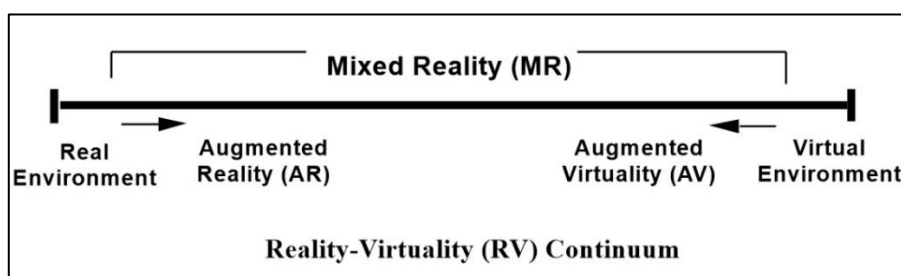


Figura 2. Conceptualización gráfica del Continuo Realidad-Virtualidad.
Fuente: Milgram, Takemura, Utsumi y Kishino (1994).

Ambas tecnologías, también tienen en común que actualmente se pueden considerar como las dos tecnologías más habituales y las que presentan un mayor potencial de desarrollo en el ámbito educativo. En este sentido, estudios realizados en los últimos

años como los efectuados por Alalwan *et al.* (2020); Huang y Liaw (2018) y Liu, Li, Cai y Li (2018), concluyen que la RV y la RA serán determinantes en dos aspectos: primero, para mejorar el grado de utilidad percibida, y segundo, para el desarrollo de actitudes positivas relacionadas con el uso de recursos tecnológicos en asignaturas de ciencias, por parte, no sólo de los estudiantes, sino también de los docentes.

Sin embargo, aunque en ambos casos se trata de tecnologías inmersivas, hay que destacar que sus aplicaciones prácticas no son las mismas, ya que tanto sus principios como sus características básicas principales son diferentes. Las principales características diferenciadoras entre ambos tipos de tecnologías son: la RA combina objetos reales y virtuales, la interactividad en tiempo real, pero, sobre todo la característica principal y más diferenciadora la ofrece la posibilidad de referenciar la imagen real con información virtual enriquecida respecto al mismo sistema de coordenadas que la localización de la imagen real (Azuma , 1997). Mientras que la RV opera en entornos totalmente virtuales e inmersivos, la RA lo hace superponiendo objetos virtuales sobre información real, para complementarla y enriquecerla (Brown *et al.*, 2020).

La RV es una tecnología que ya se encuentra consolidada en diferentes ámbitos económicos como la industria, el ocio o el comercio, entre otros. Tanto la inversión en recursos basados en esta tecnología como el tiempo necesario para su óptima utilización, suelen ser superiores a los necesarios para la utilización de otros recursos tecnológicos inmersivos como los basados en RA.

También hay que considerar que los dispositivos móviles que incorporan software y aplicaciones de RA pueden utilizarse en lugares donde no existe una conexión a Internet, o cuando ésta es deficiente. Este hecho, favorece la reducción de la brecha digital existente actualmente entre muchos entornos educativos, especialmente en el ámbito rural.

Algunas investigaciones efectuadas recientemente por Alalwan *et al.* (2020) informan que la percepción positiva de los docentes hacia el uso de recursos tecnológicos basados en RA es superior a la que tienen hacia el uso de recursos de RV. Estos autores concluyen

que, en general, la utilización de recursos de RA en entornos educativos es más conveniente para los docentes que la utilización de recursos basados en RV.

Según todo lo expuesto anteriormente, estos factores convierten a la RA en una opción con un elevado potencial para implementarla de manera efectiva en determinados sectores, especialmente en el sector educativo.

Capítulo II. Antecedentes teóricos. La RA como recurso metodológico de aprendizaje

2.1.- Definición

Una revisión de la bibliografía demuestra la complejidad de encontrar una definición uniforme y estandarizada sobre el concepto de RA. Tanto es así, que el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (RAE), actualmente, no tiene registrada una definición para la RA. Sin embargo, la RAE sí ofrece una definición para la RV. Y es que, para algunos expertos en tecnología educativa, como Cabero y García (2016), el concepto de RA supone un término flexible que no incorpora las mismas características y propiedades en todos los casos.

Una definición reciente y generalizada del término de RA es la establecida por Cabero-Almenara (2018): “Es, por lo tanto, una tecnología que permite agregar un objeto irreal a un contexto real” (p.9). Según esta definición, se trata, por lo tanto, de una tecnología capaz de representar una realidad mixta basada en una estructura multicomponente.

En este sentido, para Cabero y García (2016), esta estructura está compuesta fundamentalmente por tres elementos: primero, el elemento físico, que representa a la información y al mundo real; segundo, el elemento digital, que representa la información y el contenido virtual; y tercero, un elemento basado en un lenguaje de programación, que ensambla y fusiona a los otros dos elementos, de manera que interactúen en tiempo real entre ellos y el usuario, aportando una funcionalidad concreta al sistema. Los diferentes tipos de RA, existentes actualmente, se pueden clasificar en función de la citada estructura, como se detallará más adelante. Por lo tanto, la RA se enmarca dentro de un contexto de realidad enriquecida, generada en tiempo real por la combinación tanto de objetos como de información real y virtual (Fombona y Vázquez-Cano, 2017).

En definitiva, para la mayoría de los expertos en tecnología educativa, la RA tiene que tener una serie de características básicas, como subrayan Cabero-Almenara (2018), entre las que se pueden destacar las siguientes:

- Tiene que ser una realidad compuesta o mixta. Es decir, a la representación de lo físico, se le suma la representación de elementos digitales de manera superpuesta, añadida o reemplazando el fondo, por ejemplo.
- Tiene que poder integrarse de manera adecuada en tiempo real. Es decir, la información real y la información virtual, se tienen que combinar coherentemente en tiempo real y al margen del dispositivo que se utilice.
- Debe de utilizar distintas capas de información digital, capaces de hacer interactuar objetos digitales como por ejemplo imágenes, textos, gráficos, elementos multimedia y 3D, vídeos, audios, en otros.
- Tiene que permitir al usuario la posibilidad de interactuar con los objetos resultantes de la información digital. Por ejemplo, los objetos generados en 3D deben poder activarse y desactivarse, rotar, ampliar, etc.
- Tiene que mejorar o transformar la información de la realidad con la que se fusiona. Es decir, al utilizar la RA, la información derivada de la percepción de la realidad tiene que aumentar o enriquecerse.
- Además, para poder ser desarrollada y observada, es fundamental y necesaria la intervención de una persona.

2.2.- Principios y fundamentos de la RA

Aunque diferentes estudios de corte internacional, como el realizado por Brown *et al.* (2020), contextualizan la RA como una tecnología emergente, lo cierto es que esta tecnología tuvo sus orígenes en la industria cinematográfica. En 1957, el filósofo y realizador de cine Morton Heilig, diseñó y construyó un sistema de RV al que denominó “*Sensorama*”, que como sugiere su nombre, estimulaba sensorialmente al usuario

combinando las imágenes reales con estímulos adicionales generados con tecnología estereoscópica tridimensional, sonido envolvente e incluso olores.

El uso de imágenes reales es precisamente lo que aportaba una característica de la RA a este sistema, y es que la RA comenzó considerándose una variante de la RV. La diferenciación entre ambas no se produjo hasta unos años más tarde cuando en 1968 y debido a los avances tecnológicos, el profesor de ingeniería en la Universidad de Harvard, Ivan Sutherland, desarrolló un dispositivo que simulaba un casco para visionar objetos en 3D (Mueller, 2018).

En 1990 el ingeniero de Boeing, Tom Caudell, y su equipo desarrollaron un sistema para poder visualizar diseños técnicos complejos, y fue el primero que utilizó en sus trabajos el término *Augmented*. Ese mismo año, L. B. Rosenberg, crea el “*Vitual Mixtures*” que está considerado como el primer dispositivo de RA. Por otra parte, una investigación realizada durante estos años por Steven Feiner, Blair MacIntyre y Doree, dio pie al desarrollo de un dispositivo denominado *Knowledge Based in Augmented Reality for Maintenance Assistance*, o *KARMA* por sus siglas en inglés, similar a un dispositivo *Head Mounted Display* o *HDM*, que se utilizaba para controlar e interactuar con una impresora, enviándole instrucciones para su correcto funcionamiento (Cabero y García, 2016). Desde sus inicios hasta la actualidad, la tecnología de RA no ha dejado de evolucionar a la vez que se han desarrollado dispositivos móviles cada vez más pequeños y asequibles desde un punto de vista económico, como los teléfonos móviles o las tabletas.

Como se ha visto anteriormente, la RA es una tecnología que, desde sus orígenes, se ha fundamentado en los principios de una realidad mixta, basada en un concepto estructural multicomponente.

En referencia a los tipos de tecnología de RA disponibles, expertos educativos como Cabero y García (2016) ofrecen una clasificación que, sin duda, es una de las más completas que se pueden encontrar actualmente en la bibliografía. Esta clasificación establece tres tipologías diferentes de RA, cada una de ellas compuesta por diferentes

subtipos, y se fundamenta tanto en las características de sus dos componentes principales (físico o real y virtual o digital), como en su funcionalidad concreta.

I.- Tipología de RA de acuerdo con el componente físico, real, marcador o *trackable*.

Se denomina marcador o *trackable*, al elemento que se utiliza para poder iniciar o activar la información en formato digital. En función del tipo de marcador concreto utilizado, se establecen cinco subtipos o niveles de RA:

- I.1.- Nivel 1: Un patrón artificial en blanco y negro de alto contraste. Compuesto habitualmente por marcas con formas de cuadros o de círculos.
- I.2.- Nivel 2: Una imagen o *tracking* sin marcas. Formado habitualmente por una imagen simple, una imagen en formato extendido o panorámico, o incluso una cara humana.
- I.3.- Nivel 3: Una forma o entidad tridimensional. Habitualmente, compuesto por cualquier objeto o escenario en 3D.
- I.4.- Nivel 4: Un punto geográfico establecido por coordenadas. El sistema, permite vincular un punto del planeta a unas coordenadas, establecidas por el sistema denominado *Global Positioning System* (más conocido por sus siglas en inglés como *GPS*).
- I.5.- Nivel 5: Una huella termal. El sistema es capaz de relacionar los elementos virtuales con el calor que los dedos de las manos inducen en las superficies al tocarlas.

II.- Tipología de RA de acuerdo con el componente virtual o digital.

Se denomina componente virtual, a aquellos objetos cuya naturaleza digital hace que puedan ser percibidos. En función del tipo de componente virtual incorporado, se pueden establecer cinco subtipos o niveles diferentes de RA:

- II.1.- RA, basada en un elemento de imagen: Los formatos de imagen más utilizados habitualmente son .jpg, y .png principalmente, ya que mejora su integración.

- II.2.- RA, basada en un elemento en tres dimensiones (3D): Se corresponden con mallas tridimensionales, formadas por superficies generadas a partir de polígonos y cubiertas posteriormente mediante una textura concreta.

- II.3.- RA, basada en un elemento de vídeo: Los formatos de vídeo más utilizados comúnmente son mp4 y 3g2 principalmente, debido a que mejora su integración.

- II.4.- RA, basada en un elemento de audio: El formato de audio más utilizado es el mp3 principalmente.

- II.5.- RA, basada en elementos multimedia: En este caso, se combinan varios objetos digitales o virtuales con diferentes formatos.

III.- Tipología de RA de acuerdo con una funcionalidad concreta.

La RA puede tener dos funciones concretas: generar un entorno artificial, o maximizar y aumentar la percepción. Según su funcionalidad, se pueden establecer dos subtipos diferentes de RA:

- III.1.- Funcionalidad: percepciones aumentadas. La RA, genera información adicional que facilita la comprensión del mundo real. Según Cabro y García (2016), la percepción aumentada, se divide a su vez, en otras cinco funcionalidades concretas:

- Realidad documentada y virtualidad documentada.
- Realidad con percepción o comprensión aumentadas.
- Asociación perceptual de lo real y lo virtual.
- Asociación comportamental de lo real y lo virtual.
- Sustitución de lo real por lo virtual o realidad virtualizada.

- III.2.- Funcionalidad: la creación de entornos artificiales. La RA, también es capaz de generar posibles realidades pasadas o futuras (reales o imaginarias) simuladas, distinguiendo otras tres funcionalidades:

- Imaginando una realidad que podría acontecer en el futuro, asociando elementos reales con otros virtuales.

- Imaginando una realidad que podía haber acontecido en un pasado, asociando elementos reales con otros virtuales.
- Imaginando una realidad que de hecho sea imposible.

2.3.- Taxonomías de RA.

Además de la clasificación de RA establecida por Cabero y García (2016), otros autores han establecido otras taxonomías relacionadas con los procesos de enseñanza-aprendizaje y con aplicaciones en el uso de tecnología con fines educativos.

En el ámbito de la educación, las Taxonomías constituyen una herramienta fundamental que permite la estructuración ordenada de los procesos de aprendizaje y que facilitan su comprensión.

La primera taxonomía publicada con aplicación en el campo de la educación fue la Taxonomía de Bloom. Dicha taxonomía estructura el proceso de aprendizaje desde el mecanismo de procesamiento de la información, el conocimiento y las habilidades mentales, es decir, desde el dominio cognitivo, de manera que permite catalogar, estructurar y ordenar las habilidades de pensamiento y los objetivos educativos siguiendo un proceso lógico de razonamiento. Este proceso se enmarca dentro de una estructura que organiza categorías en orden ascendente, desde las Habilidades de Pensamiento de Orden Inferior, también denominadas LOTS, hasta las Habilidades de Pensamiento de Orden Superior o HOTS. Cada categoría está representada por un sustantivo concreto: conocimiento, comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación respectivamente (Bloom, 1956).

Unos años más tarde, Anderson y Krathwohl (2001) efectuaron una revisión de la Taxonomía de Bloom inicial basándose en dos aspectos fundamentalmente: por una parte, introdujeron cambios en las categorías y por otra parte sustituyeron los sustantivos por verbos. Así, se permite describir de manera más concisa la mayoría de los procesos, actividades y objetivos que los alumnos realizan en las aulas, utilizando también la estructura de desarrollo de Habilidades de Pensamiento de Orden Inferior hasta Habilidades de Orden Superior. Cada categoría se describe con verbos como como

recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear respectivamente. A esta Taxonomía se la conoce actualmente con el nombre de Taxonomía revisada de Bloom.

Paralelamente, con el paso de los años y debido fundamentalmente al avance, al desarrollo tecnológico y a la aparición de las TIC, otros expertos educativos desarrollaron otras Taxonomías en el marco de las nuevas tecnologías emergentes, como la taxonomía tridimensional basada en el “*Continuum RV*” Realidad-Virtualidad, desarrollada por Milgram, Takemura, Utsumi, y Kishino (1994), en el contexto de la RV y de la RA, que ya se ha descrito anteriormente. En el caso de las tecnologías basadas en la RA, y con el objetivo de determinar hasta qué punto la realidad se puede complementar o aumentar, se han desarrollado algunas investigaciones que han dado origen a Taxonomías relacionadas con la RA. En este sentido, Broll *et al.* (2008), profundizaron en la característica de tridimensionalidad que ofrece la RA para desarrollarla, matizando tres características esenciales como son: la capacidad de inmersión del mundo real al virtual relacionado con el “*Continuum RV*”, la capacidad de ubicuidad y la capacidad de multiplicidad que ofrecen las tecnologías basadas en RA.

En este contexto, es donde algunos expertos educativos relacionan las Taxonomías educativas tradicionales con las Taxonomías basadas en las nuevas tecnologías, como la denominada Taxonomía Digital de Bloom o Taxonomía de Bloom para la era digital. Dicha Taxonomía se basa en que los principios de la Taxonomía de Bloom eran aplicables en el marco de un sistema educativo en el contexto de la era industrial y en el desarrollo de las Habilidades de Pensamiento de Orden Inferior. Sin embargo, con el desarrollo tecnológico, estas habilidades de pensamiento no son suficientes, debido a que el ritmo de desarrollo de la tecnología requiere la potenciación de otras capacidades adaptadas a los cambios que se producen en la era digital. Es necesario favorecer la profundización y la creación de conocimiento que en definitiva son Habilidades de Pensamiento de Orden Superior. Para ello, la Taxonomía revisada de Bloom se ha modificado parcialmente completando los términos con nuevos verbos del entorno digital que describen y concretan las nuevas actividades que realizan los alumnos en el aula actualmente, no sólo las relativas a recordar y comprender, sino también aquellas

enfocadas a potenciar el desarrollo de aplicar, analizar, evaluar y crear principalmente (Churches, 2009).

Estas Taxonomías son fundamentales para que los expertos educativos pueden diseñar y desarrollar nuevas metodologías educativas basadas en competencias clave de la era digital como aprender a aprender, mediante el desarrollo y la estimulación en los alumnos de estrategias y Habilidades cognitivas de Orden Inferior y Superior (LOTS y HOTS). Tienen que estar apoyadas por la utilización de recursos tecnológicos de apoyo educativo que las complementen ya que, como se ha visto, la tecnología por sí sola no es capaz de mejorar ni de producir un mayor impacto en los aprendizajes (Brown *et al.* 2020; Nieto 2016).

Por ejemplo, la creación de objetos de RA por parte de los propios estudiantes les permite el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior como son analizar, evaluar y crear según la Taxonomías digital de Bloom (Cabero y García, 2016). Otro ejemplo que se puede resaltar en este sentido es que las tecnologías basadas en RA, entre otras ventajas, permiten a los alumnos investigar el mundo real con un aporte de información digital adicional. Además, estas tecnologías tienen el potencial de permitir que los estudiantes colaboren entre ellos para comprender mejor el entorno y el mundo real que les rodea (Cabero-Almenara, Barroso-Osuna, Llorente-Cejudo y Fernández, 2019; Wu, Lee, Chang, y Liang, 2013). Investigar y colaborar, son dos ejemplos de actividades digitales que permiten a los estudiantes el desarrollo de la capacidad de evaluar, que es una de las habilidades de pensamiento de orden superior según la Taxonomía de Bloom.

2.4.- Integración de la RA en contextos educativos

2.4.1.- Desarrollo, evolución, estado actual y perspectivas futuras

Algunos autores como (Adams Becker *et al.*, 2018), resaltan la importancia y relevancia que puede llegar a alcanzar la RA en determinados procesos educativos debido principalmente a otra de sus características más singulares, que es la capacidad que ofrece esta tecnología en particular para adaptarse y poder responder a las necesidades

planteadas por los usuarios. Esto significa principalmente que la RA posee un potencial significativo para su integración tanto en los procesos de enseñanza y aprendizaje, como en procesos de evaluación asociados.

En este sentido, la empresa Gartner, compañía líder a nivel mundial en consultoría e investigación, especializada en el campo de las tecnologías de la información, realiza continuamente análisis de investigación en varios campos tecnológicos. Entre ellos, analiza la evolución de las Tecnologías Emergentes, cuyos resultados presenta anualmente en los denominados Hiper Ciclos de Aceptación Tecnológica (*Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*). Con un gráfico, muestra la evolución de las expectativas de diferentes tecnologías emergentes en un período de tiempo concreto.

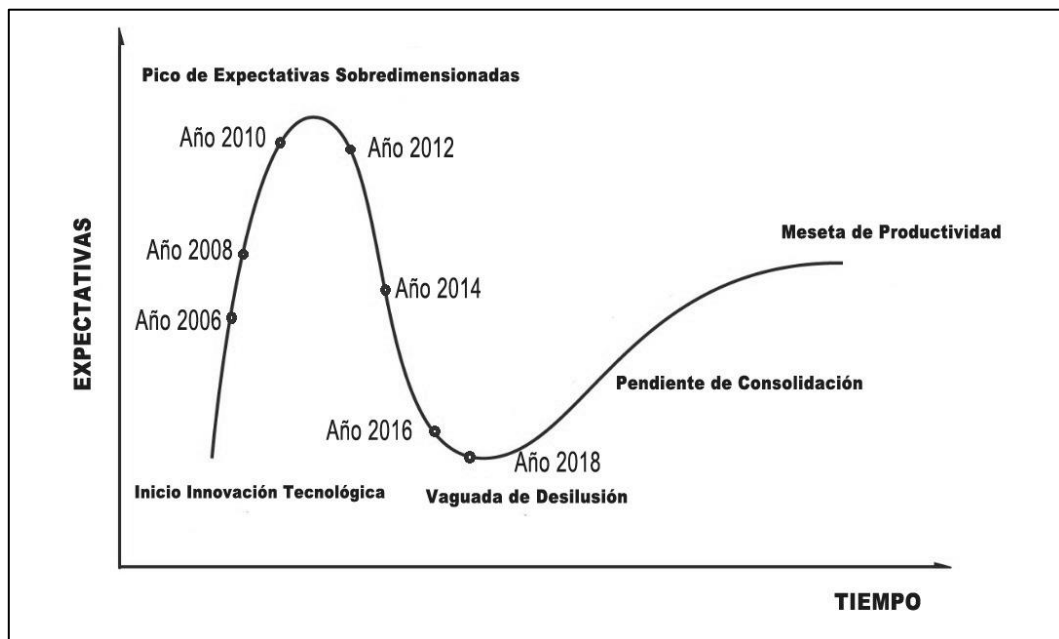


Figura 3. Proceso evolutivo de la RA en el *Gartner Hype Cycle* durante el periodo 2005-2020.
Fuente: Elaboración propia a partir de los gráficos publicados por la compañía Gartner.

Según los datos publicados por esta compañía en los últimos años, la RA está a punto de situarse al inicio de la pendiente de consolidación, por detrás de la RV, que ya en 2017 se situaba dentro de la misma. Sin embargo, al igual que ocurre con otras tecnologías inmersivas, aún es necesario mejorar las prestaciones en cuanto a los diseños de *hardware* y *software* para garantizar al usuario una experiencia virtual

satisfactoria. En cualquier caso, esto no implica que la RA no se pueda considerar una tecnología madura. Se pueden confirmar los datos si se analiza la evolución en la frecuencia de búsquedas del término *Augmented Reality* (Realidad Aumentada) en publicaciones de habla inglesa, con ayuda de la herramienta *Ngram Viewer* desarrollada por *Google*. En el período comprendido entre los inicios de esta tecnología durante la década de 1960 y hasta el año 2010, se puede comprobar claramente que la tendencia es creciente, de manera particular desde el año 1985.

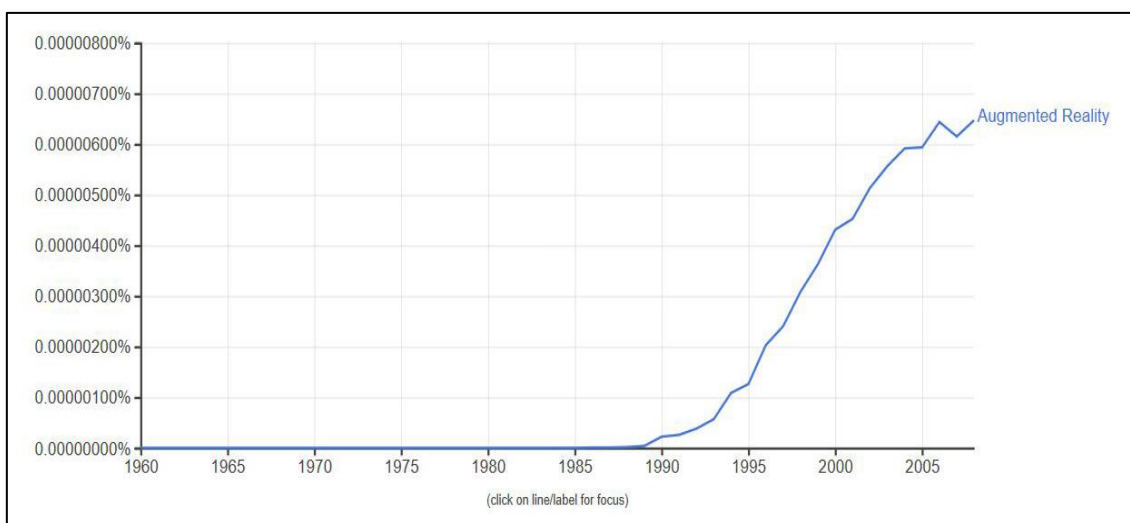


Figura 4. Evolución de las búsquedas del término *Augmented Reality*. Período 1960-2010.
Fuente: *Ngram Viewer* de *Google*.

Sin embargo, esta herramienta de *Google* sólo ofrece datos hasta el año 2010. Para comprobar si la tendencia creciente del término Realidad Aumentada, observada en el período anterior se confirma a partir de ese año, se ha utilizado la herramienta *Trends* de *Google*. Los datos obtenidos con ayuda de esta herramienta, cuando se analiza la aparición del término *Augmented Reality* en publicaciones relacionadas con el sector educativo en todo el mundo durante el período comprendido entre los años 2010 a 2020, constatan una tendencia ascendente de este término en publicaciones educativas de todo el mundo en este periodo de tiempo. En la Figura 5, se muestra esta tendencia. Cabe señalar que, en la citada Figura 5, un valor de 100 indica la popularidad máxima del término *Augmented Reality*, mientras que 50 y 0 indican que ese término es la mitad

de popular en relación con el valor máximo, o que no había suficientes datos relacionados con el citado término, respectivamente.

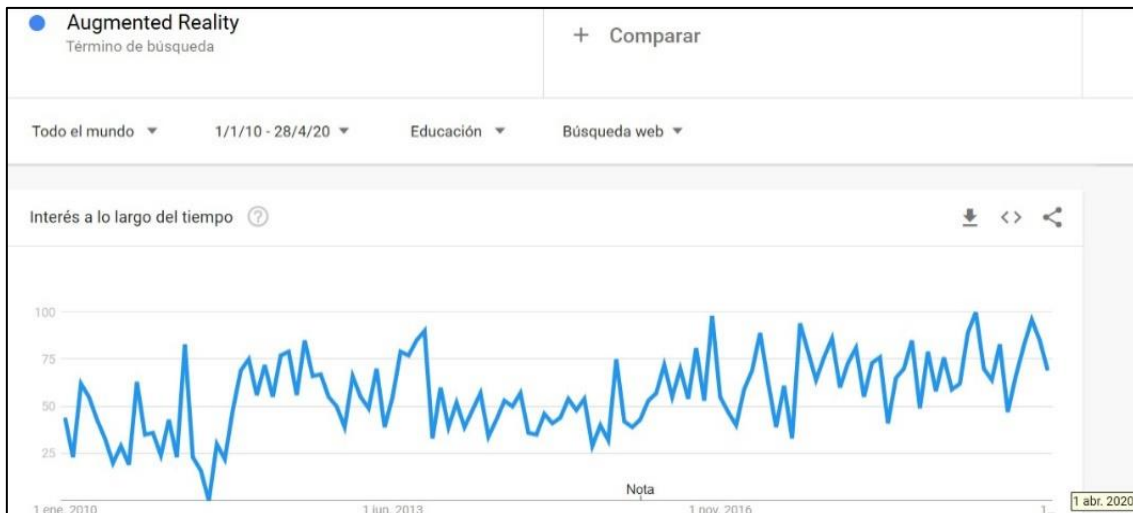


Figura 5. Tendencia en la evolución de la aparición del término *Augmented Reality* en publicaciones educativas de todo el mundo durante el período 2010-2020.
Fuente: *Google Trends*.

Estos datos, unidos a un aumento en el número de estudios realizados durante los últimos años, confirman la evolución de esta tecnología, el interés creciente que hay en ella y la tendencia positiva que probablemente mantendrá durante los próximos años. Los estudios efectuados recientemente confirman el elevado potencial de adaptación y versatilidad de la RA en diferentes ámbitos y niveles educativos, favorecido por el desarrollo y la utilización generalizada de los dispositivos móviles como uno de los principales factores determinantes (Sirakaya y Alsancak Sirakaya, 2018).

A continuación, se analizará la bibliografía existente actualmente, para determinar el grado de implantación, los efectos y los inconvenientes de su empleo en contextos educativos. También para determinar el potencial y las posibilidades de desarrollo que, según los expertos, ofrece esta tecnología para integrarla de manera eficiente y eficaz en los diferentes procesos educativos.

2.4.2.- Aspectos psicológicos que favorecen la efectividad de la RA en entornos educativos

La RA aplicada a la formación incorpora unas características cuyos efectos psicológicos pueden llegar a favorecer los procesos de asimilación y recuerdos de ideas y conceptos, más elevados que los que producen otros recursos digitales convencionales. Algunos expertos en tecnología educativa como Cabero y García, (2016), sugieren que la combinación de contenidos en formato libro o apuntes, con tecnología de RA, ofrece al alumno un complemento formativo mucho más completo, robusto y efectivo que los que ofrecen los libros de texto, los apuntes u otros sistemas digitales por sí solos.

Por otra parte, la RA es un recurso tecnológico que permite captar la atención de los estudiantes, factor fundamental para que se desarrolle el aprendizaje. Algunos autores como Azuma, (1997) argumentan desde hace ya varios años que este hecho lo consigue mezclando su característica de tridimensionalidad con el entorno espacial real en el que se encuentra el usuario. Esto es debido que los factores cognitivos influyen en la percepción y ésta a su vez favorece el proceso de atención del estudiante.

La RA permite a los alumnos adquirir el conocimiento mediante la experiencia, desarrollando la competencia de aprender haciendo o *learning by doing*, que favorece tanto la comprensión, como la retención del conocimiento de manera más ágil y natural para los estudiantes (Wojciechowski y Cellary, 2013). Además, la utilización de varios sentidos simultáneamente por parte de los usuarios, necesarios para el uso de esta tecnología, como son la vista, el tacto o el oído, favorecen los procesos que fortalecen los recuerdos y la retención del conocimiento adquirido, lo que supone una mejoría importante en los procesos de aprendizaje (Cheng y Tsai, 2013).

Una de las principales ventajas de esta tecnología es que puede ser utilizada por los alumnos para desplazar su contexto formativo fuera del aula y desarrollarlo en lugares más cómodos para el usuario como pueden ser su casa o cualquier entorno natural, lo que puede ayudar subjetivamente a recordar los contenidos de manera más sencilla y natural para el alumno. Para algunos expertos educativos como Cabero y García, (2016), la posibilidad de elegir un entorno de aprendizaje personalizado y adaptado las

necesidades particulares del estudiante, genera estímulos afectivos y conlleva la posibilidad de desarrollo de un componente emocional positivo para favorecer los procesos cognitivos que influyen en los recuerdos.

2.4.3.- Beneficios de la incorporación de la RA en procesos de enseñanza y aprendizaje

Si bien es cierto que durante los últimos años se han publicado numerosos estudios sobre la utilización de la RA en educación. Actualmente existe un vacío significativo en cuanto a investigaciones que aporten datos primarios sobre los usos y aplicaciones concretos que se puedan hacer tanto con ésta, como con otros tipos de tecnologías similares (Brown *et al.*, 2020).

Analizando pormenorizadamente los resultados obtenidos por las últimas investigaciones efectuadas hasta el momento referentes a la integración de la RA en contextos educativos, se puede señalar que la significación de esta tecnología está avalada por varios aspectos que justifican su integración en el campo educativo. Como se ha comentado anteriormente, se está ante una tecnología que en sus versiones más sencillas se basa en la utilización de hardware y dispositivos portátiles comunes, como son los teléfonos móviles y las tabletas. Además, el nivel de desarrollo de software actualmente permite crear entornos de RA sencillos en términos de tiempo y coste económico razonables e incentivar la creación de contextos educativos constructivistas mejorando los aprendizajes (Wojciechowski y Cellary, 2013).

Algunos autores, como Martín-Gutiérrez, Fabiani, Benesova, Meneses y Mora, (2015) subrayan que la RA, además de ser una tecnología con unos costes razonables y asequibles, también aporta contenidos más llamativos para los estudiantes que otros recursos educativos creados en formato papel.

Al utilizar información digital y objetos virtuales combinados con imágenes del mundo real, esta tecnología permite interactuar con el entorno desde un punto de vista enriquecedor. Esta característica, unida al uso de las cámaras incorporadas en los dispositivos móviles para captar las imágenes del mundo real y combinarlas con la información digital, permite generar representaciones tridimensionales que pueden

favorecer la capacidad de visión y las habilidades espaciales de los estudiantes (Bressler y Bodzin, 2013; Han, Jo, Hyun, y So, 2015) y pueden facilitar la interpretación de fenómenos complejos a los estudiantes (Akçayır, Akçayır, Miraç, y Akif, 2016; Cai, Chiang, Sun, Lin, y Lee, 2017; Tarng, Ou, Lu, Shih y Liou, 2018).

Además de potenciar la ubicuidad del aprendizaje y favorecer la formación de los estudiantes en entornos de enseñanza activos y de aprendizaje mucho más seguros para ellos que algunos entornos reales como pueden ser los talleres o los laboratorios (Wu, Lee, Chang, y Liang, 2013).

Para muchos expertos la RA es una tecnología con un elevado potencial de implantación en la educación ya que, en general, puede aumentar la motivación de los estudiantes hacia el propio proceso de aprendizaje, puede mejorar su satisfacción al utilizarla y por lo tanto puede producir una mejora tanto en el rendimiento como en los resultados académicos. Estas características confieren a esta tecnología una elevada significación para poder utilizarla en diferentes materias y niveles educativos (Cabero-Almenara, Barroso-Osuna, Llorente-Cejudo, y Fernández, 2019; Han, Jo, Hyun y So, 2015; Kim, Hwang, Zo y Hwansoo, 2014).

Garzón, Pavón y Baldiris (2019) destacan que los estudios internacionales efectuados durante los últimos años en este campo, presentan las siguientes ventajas relativas a la incorporación de la RA en entornos educativos: ganancias en los aprendizajes; mejoras en el rendimiento, motivación y en la comprensión de conceptos abstractos; incentiva la autonomía en los procesos de aprendizaje; mayor desarrollo sensorial; mejora la memoria y la capacidad de retención; fomenta la colaboración entre los alumnos; favorece la creatividad y facilita la accesibilidad a la información.

Es importante destacar también que algunos autores como Bacca, Baldiris, Fabregat, Graf y Kinshuk (2014); Cascales-Martínez, Martínez-Segura, Pérez-López, y Contero (2017) y Huang, *et al.* (2019), defienden las amplias posibilidades de esta tecnología para la implantación de metodologías educativas de carácter inclusivo que puedan ser capaces de favorecer y facilitar el aprendizaje de los alumnos con necesidades educativas especiales.

2.4.4.- Factores que dificultan la incorporación de la RA en procesos de enseñanza y aprendizaje

Como se ha comentado anteriormente, existen muchos factores diferentes que favorecen la incorporación de la RA en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Sin embargo, los expertos educativos han encontrado algunos inconvenientes que pueden dificultar el desarrollo eficiente de su incorporación en los citados contextos educativos. En general, la falta de investigaciones que determinen la relevancia del impacto que puede producir el uso de la tecnología en cada caso concreto en el ámbito educativo, constituye uno de los principales inconvenientes para su adopción generalizada y su correcta implementación en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Brown *et al.* 2020).

Analizando de manera particular la bibliografía específica existente actualmente sobre tecnologías basadas en la RA, y como ya se ha señalado anteriormente, se puede comprobar que la mayoría de los expertos coinciden en señalar que uno de los principales inconvenientes que presenta actualmente este tipo de tecnología para poder ser implementada de manera efectiva en los procesos de enseñanza y aprendizaje, es el número limitado de estudios e investigaciones efectuados hasta ahora en este campo. Es cierto que cada vez hay más investigaciones derivadas de este vacío en la bibliografía. Sin embargo, existen un gran número de publicaciones genéricas sobre RA que incluyen descripciones sobre los diferentes tipos de RA aplicables en el ámbito educativo y que tratan sobre las posibilidades y los efectos genéricos que produce esta tecnología en la educación. Además, en muchos casos se acompañan con opiniones de los propios autores relativas a las posibilidades de desarrollo futuro esta tecnología. Sin embargo, existe una carencia significativa de estudios basados en fuentes primarias de investigación que aporten datos y conclusiones sobre aspectos concretos relacionados con la idoneidad, usos concretos, metodologías específicas y sistemas de evaluación adaptados que puedan complementar a esta tecnología y hacerla más eficiente (Alkhatabi, 2017; Cabero-Almenara, Barroso-Osuna, Llorente-Cejudo y Fernández, 2019; Fombona y Pascual, 2017 y Prendes, 2015).

También es necesario tener en cuenta un factor importante, que en determinados contextos puede dificultar su incorporación educativa y que depende directamente de las propias características intrínsecas de esta tecnología, ya que la RA se basa específicamente en la utilización de hardware y dispositivos móviles como tabletas y teléfonos inteligentes, cuyo uso en los centros escolares por parte de los estudiantes carece de una falta de regulación legislativa específica en la mayoría de los países actualmente (Bhutta, Umm-e-Hani y Tariq, 2016). En este contexto, muchos centros escolares de Educación Secundaria Obligatoria están optando por no permitir a sus alumnos la tenencia y utilización de sus dispositivos móviles en las aulas. El acceso a las redes wifi de los centros por parte de los estudiantes no está permitido o está limitado dentro las instalaciones de los centros educativos (Sánchez-García y Toledo-Morales, 2017).

Otro de los principales inconvenientes que señalan los expertos es la prácticamente nula formación específica desde el punto de vista técnico que reciben los docentes con la utilización de software para la creación de contenidos basados en RA. Lo cual, genera importantes reticencias a la hora de implementar estas tecnologías en las aulas por parte de los profesores (Garzón, Pavón y Baldiris, 2019).

Además, esta situación se ve agravada por la necesidad de incluir más tiempo en las programaciones curriculares para poder dedicarlo tanto a explicar a los alumnos los principios básicos de funcionamiento de las aplicaciones, como a la impartición de los contenidos basados en la RA que, en general, pueden demandar algo más de tiempo que otros métodos tradicionales de enseñanza (Gavish *et al.* 2015; Sırakaya y Alsancak, 2020).

Capítulo III. Antecedentes empíricos. Integración curricular de la RA en materias educativas y en etapas formativas

3.1.- Análisis de investigaciones efectuadas relativas a la incorporación de la RA en contextos educativos

El análisis de la bibliografía actual sobre las investigaciones empíricas relativas a la incorporación de la RA en los contextos educativos, efectuadas a nivel internacional, pone de manifiesto el problema que supone el fracaso de los intentos de integración de la tecnología en general en el ámbito educativo y la desconexión que hay entre tecnología y mejora de los aprendizajes. Sin embargo, una revisión profunda de la bibliografía también permite entender los posibles motivos que han impedido la conexión efectiva entre que hay entre ambos factores, cuestión fundamental para tatar de buscar los mecanismos que propicien la integración efectiva de los recursos tecnológicos en los procesos educativos.

En primer lugar, hay que destacar que la RA es un tipo de tecnología que no es ajena a este problema porque, aunque se trata de una tecnología madura, aún se encuentra en fase de consolidación como ya se ha visto anteriormente. Por otra parte, durante los últimos años, se han publicado las conclusiones de un gran número de investigaciones que demuestran el potencial que tiene esta tecnología en el ámbito educativo. Sin embargo, aún son muy escasas las investigaciones empíricas que determinan el modo más adecuado de adopción de esta tecnología en cada caso concreto y la manera más eficaz y eficiente de integrarla en los procesos educativos (Alkhatabi, 2017).

En segundo lugar, un análisis pormenorizado de la bibliografía disponible revela las principales carencias y las necesidades específicas de integración propuestas por los expertos en cuanto a la integración de la RA en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

En este sentido, cabe destacar que la mayoría de las investigaciones no han tenido en cuenta los efectos que produce una metodología innovadora basada en RA sobre los aprendizajes de los Alumnos con Necesidades Educativas Especiales (ANEE), lo que constituye un campo potencial para las nuevas investigaciones (Bacca, Baldiris, Fabregat, Graf, y Kinshuk, 2014).

La mayor parte de las investigaciones efectuadas hasta el momento se han realizado con muestras de población y tamaños medios, con un número de participantes comprendido entre los 30 y los 200 sujetos.

No se han utilizado metodologías innovadoras que integren sistemas de evaluación adaptados a las nuevas tecnologías, sino que las evaluaciones se han basado en la utilización de sistemas de evaluación tradicionales (Bacca *et al.*, 2014; Brown, *et al.*, 2020; Livingstone, 2012 y Nieto, 2016).

3.2.- Análisis de investigaciones efectuadas relativas a la incorporación de la RA en el marco de la Educación Secundaria Obligatoria

Un análisis de la bibliografía revela que durante los últimos años el interés creciente en esta tecnología inmersiva en contextos educativos ha favorecido los intentos de integración de la misma en diferentes niveles formativos. Por otra parte, en la bibliografía actual también se pueden encontrar publicaciones relacionadas con el uso de RA en contextos formativos. En su mayoría, se limitan a publicaciones descriptivas que incluyen análisis, exposiciones y opiniones de los autores sobre las posibles aplicaciones futuras de esta tecnología en contextos educativos. Sin embargo, hay una carencia importante de investigaciones y conclusiones basadas en fuentes primarias de información, relativas a los usos concretos y a las metodologías más adecuadas para maximizar su eficiencia en contextos educativos (Gandolfi, Ferdig y Immel, 2018).

Hay que destacar que también se pueden encontrar numerosas publicaciones que describen prácticas novedosas desarrolladas por los profesores en sus clases de manera casi instintiva, lo que ha permitido observar algún tipo de efecto positivo sobre los

aprendizajes de los alumnos producido por el uso de tecnología basada en la RA (Villalustre y del Moral, 2016).

Enumerar y detallar de manera pormenorizada todas las aplicaciones y experiencias didácticas e intentos desarrollados por los propios profesores “*ad hoc*” de manera particular en sus asignaturas y en las diferentes etapas de Educación Secundaria Obligatoria es muy complicado, debido al gran número de ellas realizadas y disponibles actualmente en la red. Esto impide un análisis pormenorizado de todas y cada una de estas aplicaciones, pero en general, se trata de intentos de utilizar una herramienta tecnológica más como un instrumento didáctico en sí misma para complementar metodologías educativas tradicionales, que como un instrumento integrado en el conjunto de una metodología innovadora.

Algunos expertos en tecnología educativa como Cabero y García (2016) aseguran que las características intrínsecas de la RA permiten su adaptabilidad y uso en cualquier rango de edad, especialidad y nivel educativo. Se pueden utilizar desde las etapas de Educación Infantil, que en general y en función de la organización del sistema educativo de cada país, están comprendidas entre los 3 y los 6 años de edad, la etapa de Educación Primaria de 6 a 12 años, la de Educación Secundaria Obligatoria de 12 a 16 años y la etapa del Bachillerato, de los 16 a 18 años de edad, hasta entornos Universitarios donde los contenidos formativos son mucho más específicos y concretos. Durante la etapa de Educación Infantil se produce el desarrollo neuronal y el aprendizaje se realiza principalmente a través de estímulos auditivos y visuales. En la etapa de Educación Primaria los contenidos educativos tienen un carácter básico y general. En la etapa de Educación Secundaria los contenidos curriculares son mucho más especializados y complejos. En el Bachillerato las materias formativas son aún más concretas y se agrupan en diferentes áreas temáticas como las Artes, las Ciencias, las Humanidades o la Tecnología. La etapa universitaria comienza a partir de los 18 años de edad y los contenidos educativos son a menudo muy especializados y están compuestos de elementos complejos. Aunque la RA está comenzando a utilizarse en etapas educativas no universitarias, sin embargo, es en el ámbito universitario donde más se está

utilizando esta tecnología y donde más investigaciones se están efectuando actualmente (Cabero y García, 2016).

Si se analiza en detalle el número de estudios publicados a nivel internacional, en general se puede encontrar un mayor número de investigaciones efectuadas en las etapas de Educación Primaria que en las etapas de Educación Secundaria. Como ya se ha visto anteriormente, la mayoría de las investigaciones efectuadas hasta el momento a nivel internacional evidencian impactos significativos en las asignaturas de lengua y matemáticas. Sin embargo, los resultados son ambiguos en asignaturas de ciencias (Nieto 2016). En el caso concreto de la RA, los estudios efectuados durante los últimos años se están centrando precisamente en las asignaturas *STEM* (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). Ello es debido principalmente a que las investigaciones revelan indicios del posible potencial positivo que puede tener el uso de esta tecnología inmersiva para facilitar a los estudiantes la visualización e interpretación de fenómenos complejos y abstractos que se desarrollan en estas materias de manera particular (Pellas, Fotaris, Kazanidis y Wells, 2019).

Algunos ejemplos de las principales conclusiones obtenidas en investigaciones efectuadas en el marco de la Educación Secundaria Obligatoria en el ámbito internacional desarrolladas durante los últimos años han demostrado el potencial de esta tecnología en varios aspectos concretos relacionados con la mejora de los aprendizajes. Por ejemplo, la investigación efectuada por Bressler y Bodzin (2013) en los Estados Unidos, en la que se encontraron evidencias del potencial de esta tecnología para aumentar el interés y el trabajo colaborativo de los estudiantes. De la Torre, Martin-Dorta, Saorín, Carbonell y Contero, (2013), también han encontrado evidencias de que el uso de la RA mejora la atención de los estudiantes en el aula y les permite mejorar la visión espacial de objetos tridimensionales, en su estudio efectuado entre estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria en España. Kamarainen *et al.*, (2013) comprobaron la efectividad de esta tecnología como herramienta de apoyo en las prácticas de campo, así como también mejoras en la comprensión de los contenidos entre alumnos de Educación Secundaria en escuelas de Estados Unidos. Por su parte, Cai, Wang, & Chiang, (2014), en su investigación efectuada entre estudiantes de

Educación Secundaria en China, comprobaron que esta tecnología aporta beneficios como recurso complementario a otras metodologías y favorece el rendimiento, especialmente de los alumnos menos aventajados de cada grupo. Evidencias en el rendimiento de los alumnos también encontraron en su investigación Kirikkaya y Başgöl, (2019), realizada entre estudiantes de Educación Secundaria, en la que también se encontraron evidencias de un aumento en la motivación de los estudiantes.

También se han realizado investigaciones relacionadas con el uso de la RA en otras materias de Educación Secundaria diferentes a las asignaturas de ciencias, como la efectuada por Di Serio, Ibáñez y Delgado (2013) en asignaturas de arte, en la que hallaron mejoras en el nivel de motivación de los alumnos en centros españoles en esta materia. En España, otros estudios basados en la gamificación, como los efectuados por Ruiz-Ariza, Casuso, Suarez-Manzano, y Martínez-López, (2018) han demostrado la existencia de ganancias tanto en la sociabilidad de los alumnos como en su rendimiento cognitivo. Por su parte, Bursali y Yilmaz, (2019) en su investigación efectuada con estudiantes turcos en asignaturas de lengua en Educación Secundaria, encontraron mejoras tanto en la comprensión lectora como en la permanencia del aprendizaje mantenido por los alumnos.

Sin embargo, cabe destacar que la mayoría de estas investigaciones se efectuaron con tamaños de muestras comprendidas entre 29 y 190 participantes. Tamaños que concuerdan con lo señalado por Bacca, Baldiris, Fabregat, Graf, y Kinshuk (2014), que, en su análisis de la bibliografía, señalan que las investigaciones publicadas durante los últimos años se refieren a tamaños de muestra medianos, comprendidas entre los 30 y los 200 sujetos principalmente.

También hay que tener en cuenta que estas mismas investigaciones en su mayoría se refieren a estudios puntuales de corte transversal, pero muy pocas de ellas se han diseñado como estudios de carácter longitudinal que analicen el posible impacto producido por estas tecnologías a largo plazo. Además, se ha de considerar que, en su mayoría, tanto los procesos de investigación mencionados como el conjunto de estudios efectuados durante los últimos años, se han integrado en el seno de metodologías

educativas basadas en la utilización de métodos formativos tradicionales. Sin embargo, no han tenido en cuenta otros factores como los sistemas de evaluación adaptados a las nuevas tecnologías ni tampoco el modo concreto de integración en metodologías innovadoras.

3.3.- Análisis de tendencias y principales líneas de investigación planteadas actualmente para la integración curricular de la RA

Como se ha visto, uno de los principales retos a los que se enfrentan los sistemas educativos actualmente consiste en determinar qué tecnologías son las más adecuadas y cómo utilizarlas en cada caso concreto para poder transformar las prácticas docentes, de manera que sean más eficientes y eficaces en el ámbito educativo. Esta relación eficaz entre tecnología y mejora de los resultados de los aprendizajes se tiene que basar principalmente en tres aspectos fundamentales: en un cambio metodológico, en la implantación de modelos pedagógicos e innovadores y en la necesaria formación del profesorado en el uso de los recursos tecnológicos.

En este contexto, como ya se ha visto, la RA es una tecnología con un elevado potencial en el sector educativo:

Sin duda, la RA se presenta como una tecnología disruptiva que, al igual que lo fueron otras en su día, suscitará nuevas prácticas docentes innovadoras, cuyos resultados en términos de aprendizaje habrá que someter al contraste y la investigación para valorar su eficacia (Villalustre y del Moral, 2016, p. 17).

Los expertos educativos que actualmente están desarrollando estudios basados en tecnología de RA en el ámbito de la educación, señalan cuáles pueden ser las principales líneas de investigación que se deberían de desarrollar durante los próximos años y que se resumen a continuación.

Algunos estudios efectuados durante los últimos años se basan en los efectos que puede generar la producción de objetos de aprendizaje con tecnologías basadas en RA por parte de los propios estudiantes. Se han encontrado evidencias tanto en el aumento

en el interés en los contenidos desarrollados y en el grado de motivación alcanzada por los alumnos, como en el rendimiento académico. Esto, sin duda, puede suponer una gran ayuda en el desarrollo de determinados procesos de enseñanza y aprendizaje. (Cabero, Barroso, y Gallego, 2018).

Otros estudios recientes han encontrado evidencias del posible potencial que puede tener el aprendizaje basado en juegos a través de la utilización de tecnología de RA, especialmente en asignaturas STEM. No obstante, los expertos consideran que aún es necesario efectuar más investigaciones para poder comprender y determinar exactamente la manera de diseñar e implementar objetos de RA basados en juegos para su integración en diferentes materias educativas. En función de las habilidades y capacidades concretas de los estudiantes en general y de manera particular, en los alumnos con necesidades educativas especiales. (Pellas, Fotaris, Kazanidis y Wells, 2019).

En este sentido, uno de los campos de investigación menos estudiados hasta el momento es el de mejora en la adquisición de habilidades funcionales de los alumnos con necesidades educativas especiales utilizando recursos tecnológicos basados en RA en general. Aunque las últimas investigaciones efectuadas han evidenciado un posible impacto positivo en este sentido, aún es necesario investigar cómo adaptar estos recursos tecnológicos para que puedan ser utilizados de manera efectiva por este tipo de alumnos. Así como determinar la manera de implementar estrategias de aprendizaje basadas en la utilización de recursos de RA para el desarrollo de determinadas habilidades específicas en aquellos estudiantes con necesidades educativas especiales (Sulaiman, Al-Samarraie, Moody, y Zaqout, 2020).

Además, es necesario realizar estudios con muestras de sujetos con mayor tamaño y más representativas. También se requiere concretar qué diseños pedagógicos, cómo y en qué contextos concretos son los más adecuados para utilizarla y maximizar sus posibles efectos educativos (Gandolfi, Ferdig, y Immel, 2018).

En general, es necesario desarrollar más investigaciones que permitan determinar exactamente cuáles son los efectos que las diferentes variantes tecnologías basadas en

la RA (geolocalización, marcadores, gamificación, etc.) pueden producir sobre los aprendizajes. Tanto estudios de carácter transversal, como especialmente estudios longitudinales efectuados a largo plazo. Dichos estudios deben permitir el desarrollo de metodologías pedagógicas innovadoras que incluyan modelos teóricos y concreten sistemas de evaluación adaptados y compatibles con los recursos de RA disponibles actualmente en cada caso concreto, para su implementación eficiente en entornos educativos de Educación Secundaria (Pellas, Fotaris, Kazanidis y Wells, 2019). Los futuros estudios que se realicen en este campo deberían establecer cuáles son las metodologías, los mecanismos y las características concretas para poder integrar de manera efectiva las diferentes tecnologías basadas en RA en los procesos educativos. De manera que permitan una mejora en los resultados académicos de los estudiantes (Garzón, Pavón, y Baldiris, 2019).

Parte II. Marco empírico y metodológico

TESIS DOCTORAL: 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.

Capítulo IV. Planteamiento del problema

4.1.- Definición del Problema de estudio

Los avances tecnológicos logrados durante los últimos años han penetrado en la mayoría de los ámbitos sociales en los países desarrollados, mejorándolos en muchos aspectos. Sin embargo, su utilización abusiva está propiciando una sobreexposición de los usuarios que conlleva asociada la aparición de riesgos tanto físicos como sociales. Para algunos expertos como Ubieta, Almirall, Borrás, Ramírez, y Vilá (2019) estos problemas están generando lo que se denomina “agotamiento digital” en el conjunto de la sociedad en general.

Las investigaciones efectuadas durante los últimos años desvelan que las políticas desarrolladas en el marco educativo por la mayoría de los países desarrollados y con economías en vías de desarrollo, se han basado prioritariamente en la realización de intervenciones económicas. Principalmente en dos ámbitos: incentivos al profesorado e incentivos para la mejora de dotación de equipos TIC en los centros educativos. El fin común de ambas intervenciones ha sido intentar mejorar el rendimiento académico de los alumnos. Sin embargo, las conclusiones de la mayoría de los estudios efectuados demuestran que los resultados no han sido los esperados inicialmente (Fryer, 2013; McEwan, 2015). En el caso particular de las inversiones realizadas en equipamientos TIC en centros educativos, las investigaciones efectuadas concluyen que el impacto de la tecnología sobre el rendimiento de los estudiantes es, en la mayoría de los casos, nulo o incluso negativo (Niето, 2016). Es más, los datos obtenidos indican que la utilización de ordenadores con fines educativos de manera indiscriminada por parte de los alumnos no es que solamente produzca un efecto inocuo respecto a su rendimiento académico, sino que además puede incluso ser contraproducente. Así, un uso esporádico del ordenador, limitado a unas pocas veces de utilización a la semana, puede resultar beneficioso, pero existe un punto de inflexión o umbral en la frecuencia de uso, a partir del cual si aumenta el uso proporcionalmente también disminuye el rendimiento de los

alumnos. Por tanto, el impacto de estas herramientas sobre los aprendizajes puede ser nulo o incluso negativo.

En este punto, cabe entonces preguntarse qué es lo que no se está haciendo correctamente para que se produzca esta “desconexión” entre el uso de la tecnología y los resultados en los aprendizajes. Cabe preguntarse también, cuál será entonces el uso más adecuado de la tecnología en el ámbito educativo.

El término tecnología engloba un amplio abanico de herramientas que dificulta la adopción de una definición concisa y universal sobre el concepto de TIC, lo que a su vez supone un hándicap para poder investigar los efectos de las intervenciones realizadas con herramientas tecnológicas. Las conclusiones de varios estudios sugieren que los elementos tecnológicos pueden tener un impacto positivo, pero solamente restringido a un uso adecuado de la tecnología (Johnson *et al.*, 2019).

Por lo tanto, hay evidencias que demuestran que lo que está fallando realmente no es la tecnología en sí misma, sino probablemente la manera en la que se están utilizando los recursos tecnológicos en los entornos educativos. Ya que un uso inadecuado de los mismos en la mayoría de los casos está favoreciendo que los efectos de su utilización sobre los aprendizajes no sean los esperados (Brown *et al.*, 2020).

Desde hace ya varios años, algunos autores como Dede (2008) defienden que las TIC educativas no se pueden considerar como herramientas multifunción universales. Para desarrollar todo su potencial educativo es primordial analizar previamente otros factores intervinientes, que son fundamentales para poder determinar cuál es la más adecuada en cada caso concreto. Ya que sus efectos positivos son limitados a determinados usos y resultados, en función del contexto concreto.

En este sentido, desde una perspectiva teórica, algunos expertos como Berlinski y Busso (2017), resaltan que la bibliografía actual adolece de una falta significativa de estudios relativos al tipo de enfoque y al modo de utilización más adecuados y eficaces de los recursos tecnológicos en el ámbito educativo. Lo cual ha supuesto un problema para la mayoría de los expertos y educadores durante los últimos años. En la bibliografía actual hay una carencia significativa de estudios relativos al modo de utilización más adecuado de la tecnología en el ámbito educativo. Sin embargo, sí parece que hay cierto

consenso entre las opiniones publicadas por numerosos expertos que argumentan que la tecnología no debe percibirse como una herramienta sustitutiva de otro tipo de métodos de enseñanza clásicos, que con el paso del tiempo han demostrado ser válidos. Los datos disponibles, demuestran que el impacto de las herramientas tecnológicas es mayor y más beneficioso cuando se utilizan como recursos complementarios y no sustitutivos de los citados métodos de enseñanza considerados tradicionales (Hattie y Yates, 2014).

Ante estas evidencias, desde una perspectiva empírica, el sector educativo requiere modelos prácticos y contrastados que orienten a los docentes sobre qué tipo de tecnologías son las más idóneas, qué metodologías didácticas y qué sistemas de evaluación adaptados son los más adecuados y eficientes en cada caso concreto. Pero también, cómo utilizarlos e integrarlos de la manera más eficaz para maximizar sus efectos y alcanzar un rendimiento óptimo de los estudiantes. En definitiva, lo que se pretende conseguir es conectar de manera eficiente a la tecnología con la mejora en los aprendizajes.

Esta tesis doctoral intenta contribuir a llenar el vacío existente en la bibliografía en este aspecto.

4.2.- Planteamiento de la pregunta de investigación

La investigación trata de buscar la manera más eficiente de conectar el uso de la tecnología, con los resultados académicos y la mejora de los aprendizajes o procesos de aprendizaje en el marco educativo.

Para ello, es fundamental estudiar qué metodologías educativas y qué tecnologías integradas son las más adecuadas, así como la manera de aplicarlas y utilizarlas en cada caso concreto y en función de los diferentes contextos educativos.

Concretamente, el desarrollo de la investigación trata de determinar si una metodología innovadora, basada en la combinación de elementos tecnológicos, utilizados conjuntamente como recursos educativos complementarios, puede ser eficaz para la mejora de determinados aspectos relacionados con los procesos de enseñanza-

aprendizaje. Y en su caso, concretar las características generales que debe incorporar tanto esa metodología, como los recursos tecnológicos en los que se fundamenta, así como también, identificar cuáles son los procesos concretos más adecuados para que su aplicación resulte eficaz.

Para intentar responder a esta cuestión planteada, se ha efectuado una revisión de la bibliografía, de manera que sea posible determinar las principales herramientas y dispositivos tecnológicos disponibles actualmente y que poseen, según los últimos estudios e investigaciones publicadas, un mayor potencial para ser utilizados en entornos educativos. Todo ello, con el fin poder seleccionar posteriormente uno de ellos con criterios objetivos, de manera que permita, debido a sus características concretas, utilizarlo en la investigación. De la misma manera, se ha diseñado una metodología educativa, fundamentada en la utilización conjunta de un recurso tecnológico inmersivo, combinado con un sistema de evaluación adaptado al mencionado recurso tecnológico seleccionado. De esta forma, se puede determinar la eficacia y evaluar el tipo de impacto y el efecto que pueda producir todo el conjunto en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Capítulo V. Objetivos e Hipótesis de la investigación

5.1.- Objetivos de la Investigación

Una vez definido el problema de estudio desde una perspectiva teórica y empírica, así como la pregunta principal de la investigación, es necesario plantear y definir también cuáles son, tanto el objetivo general, como los objetivos específicos que se pretenden alcanzar con el desarrollo de la misma.

5.1.1.- Objetivo general

Como objetivo general se ha planteado el análisis del posible impacto que pueda producir el uso de un recurso tecnológico basado en la RA y de un sistema de evaluación adaptado y específico, para la explicación de determinados conceptos clave de difícil explicación y/o entendimiento sobre los aprendizajes, en asignaturas de ciencias de Educación Secundaria.

5.1.2.- Objetivos específicos

El objetivo general, a su vez, se puede desglosar en varios objetivos concretos o específicos. Como objetivos específicos en el desarrollo de esta investigación, se plantean los que se enumeran a continuación:

1. Determinar si una metodología didáctica innovadora basada en tecnología de RA y en un sistema de evaluación adaptado digitalmente, favorece la mejora de los procesos de aprendizaje.
2. Diseñar dos aplicaciones basadas en Tecnología de RA como recursos educativos complementarios, para la explicación de conceptos clave generales en

asignaturas de ciencias de la Educación Secundaria. Dentro de este objetivo, divulgar su uso como recurso didáctico en contextos educativos para la transferencia del conocimiento.

3. Diseñar un sistema de evaluación digital y adaptado para la determinación de los conocimientos adquiridos por los estudiantes mediante el uso de un recurso educativo basado en RA.
4. Analizar si el uso de tecnología no inmersiva y el uso de tecnología basada en RA como recursos didácticos complementarios, pueden mejorar el rendimiento de los estudiantes en asignaturas de ciencias, en comparación con otros métodos educativos tradicionales.
5. Analizar si el uso de una metodología innovadora basada en RA y combinada con un sistema de evaluación digital adaptado, genera algún tipo de impacto sobre el rendimiento de los alumnos de asignaturas de ciencias en general, en comparación con el uso de otras tecnologías educativas no inmersivas.
6. Analizar si el uso de una metodología innovadora basada en el uso de tecnología de RA y en un sistema de evaluación digital adaptado, generan algún tipo de impacto sobre la motivación y el grado de aceptación de la tecnología en los estudiantes de asignaturas de ciencias en general.
7. Estudiar si el uso de tecnología basada en RA como recurso educativo complementario, favorece la comprensión de cualquier concepto clave en general, por parte de los estudiantes de asignaturas de ciencias. Dentro de este objetivo, determinar también si favorece la comprensión de conceptos clave por parte de alumnos con necesidades educativas especiales (ANEE) en particular.
8. Determinar cuáles son las variables que pueden tener mayor potencial para generar un impacto positivo y significativo sobre factores como la motivación y el grado de aceptación de la tecnología basada en RA. Dentro de este objetivo, estudiar si esas variables tienen potencial para influir también sobre otros factores adicionales concretos.
9. Determinar el nivel de formación del profesorado de asignaturas de ciencias de la Educación Secundaria en tecnología educativa en general. Dentro de este

objetivo, determinar si el nivel de formación tecnológico de los docentes produce algún tipo de impacto sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje que integran metodologías innovadoras basadas en recursos educativos tecnológicos inmersivos.

5.2.- Formulación de Hipótesis

Con el objetivo de mostrar la estructura que permita validar el modelo actitudinal y por lo tanto, las propuestas del estudio, se han formulado las siguientes hipótesis de investigación:

H1. El uso de una metodología educativa basada en tecnología no inmersiva puede impactar de manera positiva y significativa sobre el rendimiento de los estudiantes en general, en comparación con el uso otras metodologías tradicionales.

H2. El uso de una metodología educativa innovadora basada en la combinación de tecnología de RA y en un sistema de evaluación digital adaptado, puede impactar la manera positiva y significativa sobre el rendimiento de los estudiantes en general, en comparación con el uso de otras tecnologías educativas no inmersivas.

H3. El uso de una metodología innovadora basada en la combinación de tecnología de RA y en un sistema de evaluación digital adaptado, puede impactar de manera positiva y significativa sobre el nivel de motivación y el grado de aceptación de la tecnología por parte de los estudiantes en general y de los alumnos con necesidades educativas especiales (ANEE) en particular.

H4. El uso de una tecnología basada en RA como recurso educativo complementario, puede impactar de manera positiva y significativa sobre la comprensión de cualquier concepto clave por parte de los estudiantes en general.

H5-H6-H7-H8-H9. El género y la edad de los estudiantes, el tipo y la situación geográfica del centro educativo y el uso habitual de tecnología educativa, pueden impactar de manera positiva y significativa tanto sobre el nivel de motivación y el

grado de aceptación de la tecnología basada en RA, como sobre otros factores adicionales.

H10. La formación específica del profesorado en tecnología educativa inmersiva puede impactar de manera positiva y significativa sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje, integradores de metodologías innovadoras basadas en recursos tecnológicos inmersivos y en sistemas digitales de evaluación adaptados.

5.3.- Definición operacional de las variables

Un aspecto fundamental para el correcto desarrollo de la investigación consiste en la identificación de aquellos aspectos o variables que se describen en el estudio, de manera que se procederá tanto a nombrarlas y a definir su significado concreto, como a detallar la manera en la que serán registradas, o lo que es lo mismo, concretar su definición operacional. De manera que se identificarán como variables dependientes o independientes en función del tipo de relación que establezcan y se precisarán las variables extrañas que se controlan y la manera exacta en que se hacen.

Para la identificación y operacionalización de los diferentes tipos de variables intervinientes en el estudio, se van a tener en cuenta los criterios establecidos por autores como León y Montero (2015). Según estos autores, los fenómenos observados en un proceso de investigación se manifiestan de varias y diversas maneras y adquieren valores o características diferentes, por lo que reciben el nombre de variables.

Así pues, se consideran como variables dependientes (VD) todas cuyas variaciones se pretenden analizar para explicarlas. Por el contrario, se consideran variables independientes (VI) todas aquellas variables que permiten explicar las primeras, estableciendo sus niveles, condiciones o valores, que adopta cada una en función de las características concretas del estudio. Además, se considera fundamental identificar y controlar en la medida de lo posible todas aquellas variables extrañas (VE) que pueden tener alguna clase de efecto sobre las variables dependientes que intervienen en la investigación y que pueden afectar a las conclusiones relativas a las probables relaciones causadas que se puedan establecer entre las variables dependientes e independientes.

Es decir, para impedir que no impacten en los resultados y en las conclusiones del estudio.

1.- Uso habitual de tecnología no inmersiva:

- Nivel 1: No utiliza habitualmente tecnología no inmersiva en el aula (Ordenador, proyector, Pizarra Digital).
- Nivel 2: Sí utiliza habitualmente tecnología no inmersiva en el aula (Ordenador, proyector, Pizarra Digital).

2.- Uso de tecnología de RA:

- Nivel 1: No utiliza habitualmente recursos basados en la RA en el aula. (No utiliza RA).
- Nivel 2: Sí utiliza habitualmente recursos basados en la RA en el aula. (Sí utiliza RA).

3.- Sistema de Evaluación Adaptado:

- Nivel 1: Utiliza sistema de evaluación tradicional. (Evaluación Tradicional).
- Nivel 2: Utiliza sistema de evaluación basado en tecnología. (Evaluación Adaptada).

4.- Sexo:

- Nivel 1: Alumna.
- Nivel 2: Alumno.

5.- Edad:

- 14 años.
- 15 años.
- 16 años
- 17 años o más.

6.- *Experiencia en el uso de recursos de RA*

- Nivel 1: No tiene experiencia previa en la utilización de recursos basados en tecnología de RA. (Sin experiencia previa en RA).
- Nivel 2: Sí tiene experiencia previa en la utilización de recursos basados en tecnología de RA. (Con experiencia previa en RA).

7.- *Tipo de centro Educativo:*

- Nivel 1: Centro Educativo Público.
- Nivel 2: Centro Educativo Privado Concertado.

8.- *Entorno Demográfico:*

- Nivel 1: Centros Educativos situados en núcleos de población con más 10.000 habitantes.
- Nivel 2: Centros Educativos situados en núcleos de población con menos de 10.000 habitantes.

9.- *Necesidades Educativas Especiales (ANEE):*

- Nivel 1: Alumnos con Necesidades Educativas Especiales (ANEE).
- Nivel 2: Alumnos sin Necesidades Educativas Especiales (ANEE).

Inicialmente, también se plantean tres tipos de Variables Dependientes en el diseño del Estudio:

- 1.- El nivel de Motivación generado.
- 2.- El grado de Aceptación de la tecnología.
- 3.- El rendimiento Académico.

Además, se identifican las siguientes Variables Extrañas, que se pretenden controlar de la siguiente manera en cada caso concreto:

1.- Los Tiempos, tanto de explicación de los Conceptos Clave como los tiempos de ejecución de los exámenes, pueden suponer la aparición de diferencias de resultados entre los grupos. Por lo tanto, se controlará que los tiempos sean los mismos para todos los grupos.

2.- Diferentes Conceptos Clave pueden suponer diferentes niveles de dificultad y, en esencia, la aparición de diferencias entre los resultados de los grupos de estudio. Por lo tanto, se determinarán previamente dos pares de conceptos clave (los mismos para todos los grupos) para explicar en el aula.

3.- Diferencias en el nivel de formación, conocimientos y habilidades tecnológicas, o incluso de motivación entre los alumnos. Para controlar esta variable extraña, los grupos se formarán mediante asignación al azar de los estudiantes.

4.- Dos profesores que expliquen los conceptos clave mediante metodología tradicional o adaptada respectivamente, pueden suponer diferencias en la comprensión o en la motivación de los alumnos. Por lo tanto, será el mismo profesor en cada caso y en la medida de lo posible, el que explique a los dos grupos de alumnos (control y experimental) los conceptos clave previamente seleccionados.

5.- Diferentes preguntas en las pruebas escritas de los dos grupos (control y experimental), pueden suponer diferencias en los resultados obtenidos. Por lo tanto, las preguntas serán las mismas para los dos grupos, independientemente del grupo que se trate y de si el sistema de evaluación utilizado es tradicional o adaptado.

Capítulo VI. Diseño y metodología de la investigación

Teniendo en cuenta las características que definen el estado de la cuestión, resulta necesario determinar exactamente qué procedimientos, métodos o diseños se han utilizado en la investigación. Asimismo, también es necesario describir las técnicas utilizadas tanto para la determinación de la evidencia empírica como del análisis de datos efectuado.

6.1.- Perspectiva metodológica general y diseño

A continuación, se describe de manera pormenorizada, tanto la metodología y el procedimiento seguidos, como los diseños de investigación utilizados en cada caso de estudio concreto.

6.1.1.- Metodología y procedimiento

Dada la naturaleza y la complejidad intrínseca de la investigación empírica llevada a cabo en esta tesis doctoral, ésta se ha fundamentado en dos tipos de estudios principales: uno de tipo de rendimiento y otro de tipo actitudinal. Previamente, se ha efectuado también un tercer tipo de estudio para poder determinar la fiabilidad y la validez tanto de las dos aplicaciones de *software* de RA que se han desarrollado *ad hoc*, como de las dos aplicaciones seleccionadas utilizadas durante el proceso de investigación para la explicación de conceptos clave. Adicionalmente a estos tres estudios, también se ha realizado un cuarto estudio de corte cualitativo, para poder conocer y determinar exactamente cuál es el nivel de formación de los docentes participantes en el proceso de investigación. En concreto, para determinar su nivel de formación profesional en cuanto a tecnología educativa inmersiva y sistemas digitales de evaluación adaptados.

Por lo tanto, desde un punto de vista metodológico, el proceso que se ha seguido para recoger los datos y la información necesaria con el fin de poder contrastar las hipótesis de trabajo, se basa en el desarrollo de los cuatro tipos de estudios fundamentales que se han aplicado en cada una de las etapas o fases de estudio principales que conforman la investigación.

El esquema básico y resumido, relativo al proceso metodológico seguido para el desarrollo de la investigación, es el siguiente:

Fase de estudio I:

- Elección de conceptos clave.
- Diseño y selección de recursos tecnológicos basados en RA.
- Diseño de instrumentos.

Fase de estudio II:

- Selección de la muestra.

Fase de estudio III:

- Estudio exploratorio. Estudio piloto.
- Estudio de rendimiento.
- Estudio actitudinal.
- Estudio relativo a la formación del profesorado en tecnología educativa y sistemas de evaluación adaptados.

Fase de estudio IV:

- Análisis de datos y resultados.

La selección de los cuatro tipos de estudios mencionados anteriormente y complementarios entre sí no ha sido en absoluto casual o arbitraria, sino que ha estado condicionada tanto por los pocos y limitados antecedentes que existen a la investigación como en la necesidad de combinarlos alcanzar los objetivos que se pretenden con su realización, detallados en el Capítulo V.

Además, la utilización de un enfoque basado en varios métodos de estudio complementarios entre sí está justificado dada su utilidad en investigaciones efectuadas en el campo de las Ciencias Sociales debido, sobre todo, a la ambigüedad y a la complejidad de la información analizada en entornos socioeducativos (León y Montero, 2015; Sáez, 2017).

En este sentido, la clase de cuestiones que se pretenden estudiar, justifican los diferentes métodos y diseños elegidos en cada caso para cada uno de los estudios que se han desarrollado en cada una de las etapas de la investigación. Se ha tenido en cuenta la diversidad y las características de las variables intervinientes que hacen necesaria la combinación de métodos y diseños que minimicen la dificultad para poder determinar posibles vínculos entre las mismas. Por lo tanto, se ha establecido una relación entre la metodología desarrollada y los diseños específicos utilizados, de manera que la investigación fuese coherente desde un punto de vista conceptual. Para ello se ha vinculado la metodología con las hipótesis planteadas y se han relacionado los tipos y contenidos de los instrumentos utilizados con los objetivos establecidos en la investigación. Las características concretas, relativas al diseño y a la validación de cada uno de los instrumentos utilizados en las diferentes etapas que conforman la investigación, se detallan de manera pormenorizada en el Capítulo VII.

La elección de grupos de estudiantes pertenecientes a la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) se justifica teniendo en cuenta que se trata de una etapa en la que se desarrollan importantes procesos cognitivos, que favorecen la comprensión de conceptos educativos singulares. En este sentido, algunos estudios efectuados en este campo durante los últimos años sugieren que los recursos educativos basados en tecnología de RA utilizados durante las etapas educativas de primaria y secundaria aseguran la concreción de los citados conceptos. Algo que resulta muy útil teniendo en cuenta la dificultad de implicar y motivar a estos estudiantes en comparación con estudiantes de edades inferiores. (Ibáñez, Di Serio, Villarán y Delgado, 2014; Sirakaya y Alsancak Sirakaya, 2018).

La elección del desarrollo del estudio en el marco de las asignaturas STEM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), y en concreto, de la asignatura de Ciencias de Biología y Geología, es debido a que durante los últimos años la tecnología de RA se está intentando integrar en este campo educativo, posiblemente debido a la cantidad de conceptos curriculares específicos que la integran.

Por último, la elección del nivel educativo de cuarto curso de Educación Secundaria se justifica teniendo en cuenta el currículo oficial de la asignatura¹ y comparándolo con el currículo de niveles inferiores. En concreto, la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria incluye una mayor variedad de contenidos relacionados con las grandes teorías, pero sobre todo un mayor nivel de profundización, concreción y especialización en los contenidos, especialmente en aquellos relacionados con la célula y el ciclo celular, los ecosistemas y la estructura y la dinámica Terrestre.

El proceso de investigación se desarrolla bajo la combinación de dos paradigmas, entendiendo el concepto de paradigma como un esquema teórico, o una percepción del contexto aceptado por la mayoría de los miembros de la comunidad científica. En concreto, se combinan estudios realizados en el contexto del paradigma cualitativo, conocido también como paradigma positivista, con estudios efectuados en el contexto del paradigma cualitativo, conocido también como paradigma interpretativo, (Sáez, 2017). El motivo de utilizar la combinación de varios métodos se fundamenta en la conveniencia de triangular los datos para mejorar la calidad de los resultados obtenidos. Se trata, por lo tanto, de una metodología mixta, que combina estudios de corte cualitativo, con estudios de corte cuantitativo (León y Montero, 2015).

6.1.1.1.- Paradigma positivista. Estudios cuantitativos

Para la consecución tanto de los objetivos establecidos, como del contraste de las hipótesis planteadas, se efectuaron dos tipos de estudios principales diferenciados,

¹ Véase Decreto 38/2015, de 22 de mayo, por el que se establece el currículo de la ESO y del Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Cantabria.

ambos de corte cuantitativo, pero a la vez complementarios entre sí, como se ha comentado anteriormente: un estudio de rendimiento y un estudio actitudinal.

Por una parte, para determinar si el uso de recursos tecnológicos en general y de RA en particular, junto con un sistema de evaluación adaptado produce algún tipo de impacto sobre el rendimiento y en la mejora de los resultados académicos de los estudiantes, se diseñó y desarrolló un estudio de rendimiento.

Por otra parte, para poder completar y triangular los datos obtenidos en el estudio de rendimiento, se ha diseñado y desarrollado un estudio de tipo actitudinal, cuyo objetivo consiste en determinar cuáles son las variables relacionadas con el uso de recursos tecnológicos educativos basados en RA y con sistemas de evaluación digitales adaptados a estas tecnologías. De manera que permita concretar también, si tienen potencial para generar algún tipo de impacto sobre factores como la motivación o el grado de aceptación de la tecnología basada en RA por parte de los estudiantes y, si impactan sobre algún otro tipo de factor adicional.

Además, para poder efectuar la investigación, previamente a la realización del estudio de rendimiento y actitudinal, respectivamente, se tuvieron que desarrollar y seleccionar cuatro recursos tecnológicos educativos basados en tecnología de RA para la representación de los cuatro conceptos clave de la asignatura, previamente seleccionados por expertos en el ámbito educativo. En este punto, cabe resaltar que, se seleccionaron cuatro conceptos clave con unas características similares, ya que la investigación de campo se efectuó durante el periodo comprendido entre los meses de enero y junio de 2019. Por lo tanto, era necesario, poner a disposición de los centros educativos participantes el mayor número de conceptos clave posible, de manera que, pudieran seleccionar dos de ellos y descartar los que ya hubieran explicado a sus alumnos durante el primer trimestre del curso. Este planteamiento, evitaría posibles sesgos producidos por la adquisición de conocimientos previos. Para conocer exactamente la programación prevista, se consultó directamente a los docentes sobre las unidades Didácticas que tenían previsto impartir en el citado semestre (Véase el Anexo 1). Los citados recursos tecnológicos, se mostraron a un grupo de alumnos para

que interaccionasen con ellos, los testearan y dieran su opinión sobre los mismos, siendo evaluados posteriormente en el marco de un estudio piloto.

Para solicitar la participación de los centros educativos y de sus docentes, previamente al envío del cuestionario a los profesores, en la mayoría de los casos, se procedió a contactar con los directores o los jefes de estudio de cada uno de los centros educativos, para explicarles el objeto del estudio y solicitar su participación.

Posteriormente, se efectuó físicamente una visita concertada vía telefónica, a cada uno de los docentes responsables de la signatura de cada uno de los 16 centros previamente seleccionados para formar parte de la muestra. A cada uno de los docentes participantes, se les explicó de manera pormenorizada, cuál era el objetivo del estudio y cuál era el procedimiento que deberían de seguir para colaborar y participar en cada una de las fases o etapas del mismo.

A la profesora responsable del grupo de estudiantes que formaron parte del estudio piloto, se la envió por *email* un resumen con las instrucciones que debían seguir tanto ella, como sus alumnos para realizar de manera correcta el estudio experimental. También se enviaron los enlaces correspondientes a las cuatro aplicaciones de RA para que pudieran ser descargadas directamente en los dispositivos móviles de los alumnos y los marcadores correspondientes para poder activar las aplicaciones. Por último, se enviaron también los cuestionarios correspondientes en formato papel, denominados: *“Cuestionario. Estudio Piloto. (Aplicación: División Celular 3D. Aplicación: CelluLAR®, Aplicación: LandscapAR y Aplicación: SeismicAR®). Encuesta. Estudio Piloto”*, junto con el resto de la información necesaria para la correcta ejecución de la prueba (Véase el Anexo 2).

De acuerdo con la profesora responsable de la impartición de la asignatura a este grupo de alumnos, el estudio piloto se realizó durante dos sesiones y en horario lectivo a finales del mes de diciembre de 2018.

Caben destacar varios aspectos esenciales en el diseño y desarrollo del estudio piloto que son los siguientes:

- Aunque previamente, los alumnos ya habían visto algunos conceptos de biología referentes a la célula, el grupo seleccionado no tenía conocimientos previos impartidos en clase sobre los conceptos clave concretos utilizados en la investigación. La explicación de los conceptos clave esenciales que mostraba cada una de las aplicaciones se impartió de manera resumida a los alumnos durante las dos sesiones dedicadas a la realización del estudio piloto.

- El cuestionario para recabar la opinión de los alumnos sobre las cuatro aplicaciones de RA con las que se interactuaron en el aula durante las dos sesiones que duró el estudio piloto, se administró en soporte papel ya que es el sistema que habitualmente utilizaba este grupo para realizar sus pruebas de evaluación y con el que estaban más familiarizados. De esta forma se intentó controlar algunas de las posibles variables extrañas que pudieran intervenir en las respuestas de los alumnos y por lo tanto en los resultados del estudio piloto.

- Ninguno de los alumnos que participó en el estudio piloto tomó parte en ninguna fase posterior de la investigación para evitar posibles sesgos en los datos obtenidos, por la adquisición de conocimientos previos. De esta manera se intentó controlar la aparición otra posible variable extraña que pudiera aparecer en otras fases desarrolladas posteriormente durante la investigación.

En la primera sesión del estudio piloto, de 55 minutos de duración, se explicó a los alumnos qué es, en qué consiste y en qué se basan las características generales de la RA. También se explicaron las posibles aplicaciones de esta tecnología inmersiva en educación y los objetivos que se pretendían alcanzar con la realización del estudio piloto y con la información obtenida en la investigación. Se enseñaron a los alumnos los principios sobre el funcionamiento general de las aplicaciones móviles basadas en un Nivel 2 de RA con imágenes como marcadores y se respondió a las dudas planteadas por los mismos. Durante esta sesión, los estudiantes tuvieron la posibilidad de interactuar con las dos aplicaciones seleccionadas para la investigación: *División Mitótica 3D* y *LandscapAR*. Para ello, previamente su profesora les había enviado a sus respectivos correos electrónicos los *links* con las URL de las cuatro aplicaciones y les había sido

facilitado el marcador impreso en papel de la primera aplicación durante el desarrollo de la sesión. El marcador de LandscapAR lo crearon ellos mismos a través de las funcionalidades de la propia aplicación.

Durante la segunda sesión, de 55 minutos de duración desarrollada un día más tarde, se facilitaron a los alumnos los marcadores de las dos aplicaciones que se habían desarrollado específicamente para la investigación (*CellularAR*[®] y *SeismicAR*[®]). De esta forma pudieron interactuar con las cuatro aplicaciones seleccionadas para la investigación, durante todo el tiempo que duró la sesión.

Antes de finalizar la misma, y con tiempo suficiente, se les pidió a los alumnos que cumplimentasen un cuestionario formado por varias preguntas de carácter general y unas preguntas específicas relativas a su opinión sobre determinados aspectos técnicos, estéticos y sobre la facilidad de uso de cada una de las cuatro aplicaciones de RA con las que habían interactuado durante las dos sesiones. Antes de entregar el cuestionario a los estudiantes, se les leyeron y explicaron las instrucciones para que pudieran cumplimentar el mismo de manera correcta y se les informó de que su cumplimentación era totalmente voluntaria y anónima. También se les informó del propósito del tratamiento de los datos recogidos en el cuestionario y de su posterior tratamiento informático para el desarrollo del estudio, así como del cumplimiento de la normativa vigente de Protección de Datos de carácter personal.

Una vez realizado el estudio piloto y administrados los cuestionarios en formato papel a los alumnos, las respuestas a los mismos se recogieron y registraron para su tratamiento y análisis posterior. Los datos obtenidos del estudio piloto se detallan en el Capítulo VIII. Una vez realizado el estudio piloto y analizados los datos obtenidos, se procedió a realizar el estudio de rendimiento.

A los docentes de los centros educativos que habían comunicado su intención de participar en el estudio de rendimiento, se les pidió que colaborasen con dos grupos de alumnos en cada caso: un grupo de control y otro grupo experimental. No obstante, tres centros educativos que habían decidido colaborar participando en el estudio, sólo disponían de un grupo de estudiantes en ese nivel educativo, por lo que se les informó de la necesidad de desdoblar a ese grupo en otros dos, intentando, en la medida de lo

posible, que las características de los alumnos y su nivel, fuesen lo más parecidos posibles, para evitar la aparición de posibles sesgos indeseados. De esta forma, uno de los grupos actuaría como grupo de control y el otro, como grupo experimental. Posteriormente, se les envió a través de *email*, un resumen con las instrucciones que deberían seguir para poder realizar correctamente la prueba de rendimiento en cada caso (Ver Anexo 4). También se enviaron los *links* de las *URL* correspondientes a las aplicaciones concretas de RA que tenían que utilizar en su clase como recurso educativo para la explicación de los conceptos clave seleccionados en cada caso, en función del caso de estudio concreto:

En el primer caso de estudio (en el que se comparaba la efectividad del uso de una metodología basada en un recurso tecnológico no inmersivo y un sistema de evaluación no digital, frente a una metodología tradicional), se enviaron las pruebas objetivas de rendimiento, para su administración en formato papel.

En el segundo caso de estudio (en el que se comparaba la efectividad del uso de una metodología basada en un recurso tecnológico inmersivo de RA y de un sistema de evaluación digital adaptado, frente a una metodología tradicional), se enviaron por una parte las pruebas objetivas de rendimiento para su administración en formato papel a los grupos de control (Véanse Anexos 6, 8, 10, 12 respectivamente) y la prueba objetiva de rendimiento o *e-cuestionario* correspondientes a los grupos experimentales para su administración *online* (Anexos 7, 9, 11 y 13 respectivamente).

Las pruebas objetivas correspondientes al primer caso de estudio de la prueba de rendimiento, que fueron administradas en formato papel, fueron recogidas por cada uno de los profesores para proceder posteriormente a su corrección y puntuación final. Una vez calificadas, las notas fueron enviadas por cada uno de los docentes vía email para su tratamiento posterior durante el proceso de análisis de datos. Después de finalizar el segundo caso de estudio de la prueba de rendimiento y, de haber administrado las pruebas de rendimiento objetivas vía *online* a los alumnos, las respuestas a los mismos se recogieron y registraron automáticamente y en tiempo real, una vez que cada estudiante procedió a su entrega digital.

En los dos casos de estudio, se pidió a los docentes que registrasen las calificaciones individuales anónimas, obtenidas por los alumnos tanto de los grupos de control, como de los grupos experimentales. Para ello, se les facilitó una plantilla en formato *Excel* en la que además de anotar las calificaciones de los alumnos, deberían de anotar también el sexo, la edad y especificar si se trataba de estudiantes repetidores y de alumnado con necesidades educativas especiales. También tenían que especificar qué tipo de recursos tecnológicos utilizaron para la explicación de los conceptos clave a los alumnos de los grupos experimentales (Véase Anexo 5).

Posteriormente, una vez finalizado el estudio de rendimiento, sólo a los docentes de aquellos grupos de alumnos que habían formado parte de alguno de los grupos experimentales, se les envió también vía *email*, un *link* con la *URL* del cuestionario actitudinal denominado: *“Cuestionario para la medida del grado de aceptación, motivación y comprensión de conceptos clave generados en los estudiantes por el uso de una metodología basada en tecnología de RA y en un sistema de evaluación adaptado”*, con el objetivo de que se lo administrasen a sus alumnos siguiendo las instrucciones que contenía (Véase Anexo 17).

Una vez realizado el estudio actitudinal y administrado el cuestionario vía *online* a los alumnos que, durante la fase del estudio de rendimiento, habían utilizado en clase algunas de las aplicaciones móviles de RA, las respuestas que ofrecieron se recogieron y registraron automáticamente y en tiempo real, en el momento en que cada estudiante procedió a su entrega digital.

6.1.1.2.- Paradigma interpretativo. Estudio cualitativo

Con el objetivo de intentar abarcar el mayor número de perspectivas de análisis posibles, se preguntó directamente a los docentes que habían participado en la investigación. Concretamente, se les preguntó directamente sobre su nivel de formación en tecnología educativa inmersiva y en sistemas digitales de evaluación adaptados.

El estudio relativo al nivel de formación del profesorado, se considera un estudio de corte cualitativo, dadas las características y el tipo de medida de las variables que

integra. Además, este estudio, define la identidad y la cualificación profesional de los docentes participantes. La utilización de este método de estudio cualitativo está plenamente justificada, porque ha permitido realizar posteriormente, una triangulación teórica con los datos obtenidos en el conjunto de estudios de corte cuantitativo efectuados durante la investigación.

Con el fin de solicitar la participación de cada uno de los 16 docentes, que previamente habían colaborado en las etapas de los estudios anteriores, se procedió a contactar telefónicamente con ellos nuevamente, para explicarles el objeto del estudio relativo a su formación profesional en tecnología educativa, así como el procedimiento para su participación.

El procedimiento para su administración consistió en el envío vía *email* de un *link* con la URL del cuestionario denominado: “*Cuestionario a Docentes de Educación Secundaria participantes en el Estudio*”, se administró *online* y las respuestas se recogieron de la misma manera y en tiempo real, una vez que cada docente procedió a su entrega digital (Véase Anexo 19). Posteriormente, se analizaron estadísticamente las respuestas para poder interpretar y describir los resultados obtenidos.

6.1.2.- Diseño de la investigación

Desde el punto de vista del diseño de la investigación, es preciso señalar que no se ha aplicado un único tipo de diseño, sino que se han aplicado varios tipos de diseño diferentes, siguiendo el esquema propuesto por autores como León y Montero (2015). Estos diseños han sido adaptados en cada caso concreto en función de las necesidades de cada tipo de estudio y de las características concretas de cada una de las etapas desarrolladas en la investigación.

6.1.2.1.- Estudio Exploratorio. Estudio Piloto

En el caso del Estudio Piloto previo, se buscó un grupo de estudiantes formado por alumnos de la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria. Se les presentaron las cuatro aplicaciones basadas en tecnología de RA que se habían seleccionado y desarrollado previamente y que se pretendían utilizar en el proceso de investigación como recursos educativo complementario para la explicación de los conceptos clave de la asignatura determinados por los expertos. Se les dejó interactuar con ellos durante un período de tiempo suficiente para que posteriormente las evaluaran y diesen su opinión sobre cada una de ellas, respondiendo a un cuestionario que utilizaba una escala tipo Likert. De esta forma, no se ha efectuado una manipulación de la variable independiente al haber realizado una selección de los estudiantes teniendo en cuenta sus características en función de esa variable en concreto. Por lo que el tipo de diseño que se ha utilizado en el estudio piloto corresponde a un diseño “*ex post facto*” de tipo prospectivo, determinado por las características descritas.

6.1.2.2.- Estudio de Rendimiento

Por otra parte, para poder alcanzar los objetivos de la investigación relativos al rendimiento de los alumnos, se han efectuado dos pruebas de rendimiento con dos grupos de alumnos participantes en cada caso. En el primer caso de estudio, se quiere determinar si el uso de una tecnología no inmersiva (basada en el uso de la pizarra digital, de vídeos, de presentaciones multimedia, etc.), utilizada como recurso didáctico complementario, puede mejorar el rendimiento de los estudiantes en comparación con otras metodologías educativas tradicionales. En el segundo caso de estudio, se pretende determinar si el uso de una tecnología inmersiva basada en *software* de RA, utilizada como recurso educativo complementario, puede generar mejoras sobre el rendimiento de los estudiantes, en comparación con el uso de otras metodologías educativas tradicionales. En estos dos casos de estudio, se dividió la muestra seleccionada en dos grupos: un grupo de control para comparar sus resultados y otro grupo experimental.

Por lo tanto, el tipo de diseño utilizado en estos dos casos de estudio corresponde a un diseño cuasi experimental, pre-post con grupo de control:

$$\frac{O_1 X O_2}{O_1 C O_2}$$

Como tercer caso de estudio, se quiere comprobar si el uso de una metodología innovadora basada en tecnología de RA, combinada con un sistema de evaluación digital adaptado, tiene algún tipo de impacto sobre el rendimiento de los alumnos en comparación con el uso de otros tipos de tecnologías educativas no inmersivas. En este caso de estudio, se comparó la nota media obtenida por los grupos experimentales, considerando al grupo experimental que utilizó tecnología no inmersiva como grupo de control y al grupo experimental que utilizó alguna de las aplicaciones de RA como grupo experimental. Por lo tanto, al igual que en los dos casos anteriores, el tipo de diseño utilizado en este caso, se puede considerar de tipo cuasi experimental, pre-post con grupo de control.

Como cuarto caso de estudio, se comparó la nota media obtenida por los estudiantes del grupo experimental que habían utilizado alguna de las aplicaciones de RA en una evaluación previa en la que no se había efectuado ningún tipo de intervención, con la nota media de la evaluación en la que se había efectuado la intervención. En este caso, el tipo de diseño utilizado fue más sencillo que en los casos anteriores, tratándose de un diseño cuasi experimental, pre-post con un solo grupo:

$$O_1 X O_2$$

6.1.2.3.- Estudio Actitudinal

Para poder conocer la opinión de los alumnos y determinar cuáles eran las variables que pueden tener un impacto significativo sobre determinados factores como la motivación y el grado de aceptación de la tecnología y poder estudiar si esas variables también influyen sobre otros factores concretos, se realizó un estudio actitudinal. Para ello, se

diseñó un cuestionario que utilizaba una escala tipo Likert, con varios niveles de respuesta para cada uno de los ítems. En este caso, el cuestionario solamente se le administró al grupo de estudiantes que habían formado parte del grupo experimental. Dichos estudiantes habían utilizado alguna de las cuatro aplicaciones de RA previstas como recursos educativos complementarios, para la explicación de los conceptos clave de la asignatura previamente relacionados por los expertos.

Estos estudiantes, tenían en común que eran de la misma asignatura, en el mismo nivel educativo y habían utilizado la misma aplicación de RA como recurso didáctico complementario con la intención de mejorar la comprensión del concepto clave concreto que representaban. Es decir, todos los alumnos de ese grupo tenían en común los mismos valores de la variable independiente. Se quería estudiar su opinión y sus respuestas respecto a las preguntas que se les habían realizado sobre su opinión respecto a la metodología utilizada, es decir, respecto a la variable dependiente. Por lo que, en este caso, se trata de un diseño *ex post facto* prospectivo, en el que no se ha producido ninguna manipulación de la variable independiente, sino una selección de estudiantes en función de sus características concretas en relación con la citada variable.

6.1.2.4.- Estudio relativo al Nivel de Formación del Profesorado

Por último, para poder determinar el nivel de formación del profesorado de asignaturas de ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria, en cuanto a tecnología educativa inmersiva y en sistemas de evaluación digitales, se diseñó una encuesta creada *ad hoc* y dirigida solo y exclusivamente al grupo formado por los 16 docentes que habían participado en todas o en alguna de las etapas de proceso de investigación. Debido a las limitaciones espacio-temporales y al estado de alarma vigente en España, derivado de la situación de pandemia mundial en el momento de efectuar el estudio, la encuesta se administró en formato cuestionario *online*.

Se trata de un estudio de carácter exploratorio y descriptivo, enmarcado en el ámbito de la metodología cualitativa, desarrollado para determinar el nivel de formación profesional de los docentes en tecnología educativa.

6.2.- Selección de la muestra y participantes

6.2.1.- Descripción general de la muestra

Considerando las características concretas y la singularidad de la investigación, se han tenido en cuenta las características generales de la población. También se han tenido en cuenta las características específicas de la muestra, ya que ésta condicionará en gran medida la selección de los métodos utilizados para la obtención de los datos necesarios para el desarrollo de la investigación.

En cuanto a las características generales que se han tenido en cuenta a la hora de efectuar la selección de los participantes en la investigación, se han seguido los criterios establecidos por expertos como León y Montero, (2015) y Sáez (2017), con el objetivo de intentar garantizar la utilidad de los datos obtenidos en el estudio de campo, referentes tanto al tamaño de la muestra, a la representatividad, a la idoneidad y a la accesibilidad a los sujetos. En este sentido, cabe destacar, que el procedimiento general para la obtención de la muestra de sujetos participantes en la investigación, se basa principalmente en un muestreo de tipo probabilístico, aunque hay que señalar que, también se han utilizados métodos de muestreo no probabilísticos, mediante los cuales, la selección de los participantes en algunas de los casos de estudio, se ha realizado en función de la accesibilidad a los mismos o en función de criterios basados en las necesidades concretas de la investigación.

Tamaño muestral

Para determinar el número mínimo de estudiantes participantes en la investigación, se han tenido en cuenta los criterios establecidos por expertos como (Sáez, 2017), basados en cuatro parámetros principales: el porcentaje de error, el nivel de confianza, el tamaño de la población y la distribución de las respuestas. Considerando los datos oficiales ofrecidos por la Consejería de Educación y Formación Profesional del Gobierno de Cantabria, la población de estudiantes matriculados en Educación Secundaria Obligatoria en los diferentes centros educativos de la Comunidad Autónoma de Cantabria durante el curso escolar 2018/2019 corresponde a 22.401 estudiantes.

Teniendo en cuenta este dato, y asumiendo un 5% de error, un 95% de nivel de confianza y una estimación de un 50% en la distribución de las respuestas, el tamaño de la muestra completa de estudiantes participantes en las diferentes etapas de estudio de la investigación fue de 500 estudiantes. Por otra parte, el número de profesores participantes en la etapa de estudio de la investigación cualitativa fue de 16 docentes en total.

Representatividad

Esta propiedad posibilita la generalización de los datos observados en la muestra al conjunto de la población a la que corresponde, entendiendo que la muestra es un subconjunto de unidades pertenecientes a un conjunto mayor que es la población. En el caso de estudio, la muestra corresponde a un subconjunto de alumnos y profesores representativos del conjunto total de estudiantes y docentes que forman parte de la comunidad educativa de la Región de Cantabria y que, por lo tanto, representan todas las características generales del conjunto de la citada población. Según la mayoría de los autores, el tamaño de la muestra seleccionada debería de ser lo más grande posible para garantizar la representatividad de la misma. En cualquier caso, siempre que sea posible, el tamaño de la muestra deberá ser superior a los 30 sujetos para poder asumir normalidad en la misma (Sáez, 2017).

Idoneidad

Esta característica implica que los estudiantes y los docentes que participan en la investigación son los adecuados tanto en cuanto a las características de la población a la que pertenecen, como a la naturaleza de las variables que intervienen en el estudio.

Accesibilidad

A la hora de seleccionar las muestras de los estudiantes y de los docentes incluidos en la investigación, se han tenido en cuenta también las limitaciones del espacio-tiempo que condicionan el estudio.

6.2.2.- Características de la muestra y participantes en los Estudios Cuantitativos

En cuanto a las características particulares consideradas en la selección de los centros educativos y de los grupos de estudiantes que formaron parte de la muestra de los estudios cuantitativos en la investigación, se han tenido en cuenta las siguientes:

- Que la muestra esté formada por alumnos de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) de la Comunidad Autónoma de Cantabria.
- Que sean alumnos pertenecientes a la asignatura de Ciencias de Biología y Geología de cuarto curso.
- Que no sean alumnos repetidores durante el curso escolar 2018/2019.
- Que sean alumnos matriculados en centros educativos tanto públicos como concertados durante el citado curso escolar.
- Que la ubicación geográfica de los centros educativos seleccionados fuese lo más dispersa posible para intentar garantizar la máxima representatividad en este sentido.

Teniendo en cuenta tanto las características generales, como las características particulares anteriormente enumeradas, para la selección de los participantes, se ha seguido una metodología que ha posibilitado obtener una muestra que garantiza el cumplimiento de todos los condicionantes expuestos. En este sentido, según los datos facilitados por la actual Consejería de Educación y Formación Profesional del Gobierno de Cantabria, en el período en el que se efectúa el estudio de campo durante el curso escolar 2018/2019, la población total de centros de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) en la Comunidad Autónoma de Cantabria correspondía a un total de 91 centros educativos. Del total de los centros, 49 corresponden a centros públicos (53,9%) y 42 corresponden a centros concertados (46,1%), no existiendo centros educativos privados en la región durante el citado curso escolar.

Los datos facilitados por el mencionado organismo público en este período, en cuanto a la población de estudiantes matriculados en la asignatura de Biología y

Geología de cuarto curso de la ESO en Cantabria, son similares en cuanto a proporción, habiendo matriculados un total de 3.072 estudiantes, de los cuales, 2.012 alumnos (65,5%) están matriculados en centros educativos públicos, y 1.060 alumnos (34,5%) están matriculados en centros educativos concertados.

Finalmente, han participado en el conjunto de las fases del proceso de investigación un total de 16 centros educativos (17,6% de la población total de centros educativos de la Comunidad Autónoma de Cantabria).

Tabla 2

Centros educativos y estudiantes participantes en las diferentes etapas de la investigación

Centro Educativo	Estudio Piloto de Apps (Participantes)			Estudio de Rendimiento (Participantes)						Estudio Actitudinal (Participantes)		
	Nº Grupos	Nº Total Alumnos	Apps Utilizadas	Nº Grupos	Nº Total Alumnos	1 ^{er} Concepto. Sistema de Evaluación Tradicional	2 ^o Concepto. Sistema de Evaluación Adaptado	Nota Media de las dos evaluaciones	Nº Alumnos que han utilizado alguna App en Clase	Apps Utilizadas	Nº Total Alumnos	Examen online
CEC1 ¹	1	11	CelluAR® SeismicAR® Div. Celular 3D LandscapAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEC2	-	-	-	2	33	X	✓	✓	15	SeismicAR®	15	✓
CEC3	-	-	-	2	23	X	✓	✓	12	División Celular 3D	12	✓
CEC4	-	-	-	2	55	✓	✓	✓	28	División Celular 3D	28	✓
CEC5	-	-	-	1	21	X	✓	✓	11	SeismicAR®	10	✓
CEC6	-	-	-	1	18	✓	✓	✓	8	SeismicAR®	8	✓
CEP7 ²	-	-	-	2	35	✓	✓	✓	16	División Celular 3D	16	✓
CEP8	-	-	-	2	31	X	✓	✓	14	División Celular 3D	11	✓
CEP9	-	-	-	1	17	✓	✓	✓	8	SeismicAR®	8	✓
CEP10	-	-	-	2	31	✓	✓	✓	10	SeismicAR®	10	✓
CEP11	-	-	-	2	26	✓	✓	✓	13	División Celular 3D	10	✓
CEP12	-	-	-	2	47	✓	✓	✓	26	División Celular 3D	23	✓
CEP13	-	-	-	2	41	X	✓	✓	27	SeismicAR®	19	✓
CEP14	-	-	-	2	25	✓	✓	✓	12	SeismicAR®	10	✓
CEP15	-	-	-	2	47	✓	✓	✓	25	SeismicAR®	19	✓
CEP16	-	-	-	2	39	✓	X	X	-	-	0	X
TOTAL GRUPOS Y ALUMNOS PARTICIPANTES EN CADA FASE DE LA INVESTIGACIÓN	1	11	-	27	489	-	-	-	225	-	199	-

Fuente: Elaboración propia.

¹ La abreviatura CEC hace referencia al término Centro Educativo Concertado.

² La abreviatura CEP hace referencia al término Centro Educativo Público.

En cuanto a la muestra de estudiantes que participaron en la investigación ésta, está compuesta por un 32,2% ($n = 161$) de alumnos matriculados en centros concertados, y un 67,8% ($n = 339$) de alumnos matriculados en centros educativos públicos. En total, el

número de estudiantes que participaron en las diferentes fases de la investigación cuantitativa fue de 500 estudiantes y el número de docentes que participaron en la fase de investigación cualitativa fueron 16 docentes.

Del conjunto total de 500 estudiantes participantes, 11 de ellos (el 2,2%) lo hicieron sólo en el estudio piloto y 489 (el 97,8%) participaron en el estudio de rendimiento. Mientras que, a su vez 199 (el 40,7%) de estos alumnos que habían participado en el estudio de rendimiento, también participaron posteriormente en el estudio actitudinal, al haber pertenecido a los grupos experimentales que utilizaron algunas de las aplicaciones de RA durante el estudio de rendimiento. Cabe destacar, que en el conjunto de estudiantes que participaron tanto en el estudio de rendimiento, como posteriormente en el estudio actitudinal, los docentes informaron de la participación en de tres estudiantes con necesidades educativas especiales (ANEE), relacionadas con trastornos del espectro del autismo principalmente.

Por lo tanto, la muestra seleccionada para el desarrollo de la investigación educativa cuantitativa se puede considerar suficiente y representativa respecto de la población a la que representa (Véase el detalle de la distribución de centros educativos y de estudiantes participantes en la Tabla 2).

6.2.2.1.- Participantes en el Estudio Piloto

Como se ha descrito anteriormente, la muestra de estudiantes participantes en el Estudio Piloto estaba formada por un grupo compuesto por 11 alumnos, de los cuales 10 de ellos (el 90,9%) eran mujeres y 1 hombre (el 9,1%), con edades comprendidas entre los 15 y los 17 años, todos ellos alumnos pertenecientes a uno de los centros educativos concertados que participaron en el estudio. En la elección de los participantes, del estudio piloto se tuvieron en cuenta las limitaciones espacio-tiempo y se aseguró que el grupo seleccionado tenía las mismas características generales que el resto de grupos de estudiantes con los que posteriormente se realizarían el resto de los estudios cuantitativos. El grupo de alumnos fue seleccionado por estar compuesto por estudiantes de la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de la ESO, en un

centro educativo de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Para su selección, se han tenido en cuenta las características generales del grupo, así como las circunstancias que han favorecido el acceso al citado grupo de estudiantes en ese momento concreto. Por lo tanto, se trata de un muestreo de tipo no probabilístico e incidental (Sáez, 2017).

Dichos estudiantes aportaron información suficientemente extensa y concreta sobre las aplicaciones diseñadas y seleccionadas para desarrollar la investigación. Por lo tanto, los alumnos integrantes del grupo seleccionado para participar en el estudio piloto cumplían las características de accesibilidad, idoneidad y representatividad necesarias ya descritas anteriormente (León y Montero, 2015).

6.2.2.2.- Participantes en el Estudio de Rendimiento

La muestra de estudiantes participantes en los dos casos de estudio desarrollados en el marco del estudio de rendimiento, está formada por un total de 489 alumnos como se ha detallado anteriormente. Se trata de un tipo de muestreo probabilístico aleatorio polietápico. En primer lugar, se han seleccionado los centros educativos que voluntariamente han accedido a participar en el estudio, posteriormente el curso, la asignatura y por último las unidades de estudiantes participantes que ya formaban grupos en sus respectivos centros educativos. En este sentido, hay que señalar que, el tamaño de la muestra seleccionada tanto de estudiantes pertenecientes a centros educativos públicos como concertados es proporcional al tamaño y a la distribución del conjunto de estudiantes matriculados en centros escolares de la población a la que pertenecen. Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra ($n = 489$) y asumiendo normalidad en la misma, así como el valor de la desviación típica (11,41) asociada a la muestra correspondiente a los grupos de estudiantes que la componen, se puede estimar con un nivel de confianza del 95% el valor del error cometido (0,52) al realizar las inferencias desde los valores de la muestra utilizada en el estudio, a los parámetros de la población de estudiantes de Cantabria (Sáez, 2017).

Por lo tanto, el grupo de alumnos seleccionado para participar en esta etapa de estudio se puede considerar adecuado y representativo del conjunto de alumnos

pertenecientes a la población de estudiantes de cuarto curso en la asignatura de ciencias de Biología y Geología, en centros educativos públicos y concertados de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

6.2.2.3.- Participantes en el Estudio Actitudinal

Como se ha comentado, la muestra de estudiantes participantes en el estudio actitudinal está compuesta por un total de 199 alumnos, todos ellos pertenecientes a los grupos experimentales que utilizaron alguna de las aplicaciones de RA durante el estudio de rendimiento efectuado previamente. La selección de esta muestra se ha efectuado teniendo en cuenta los objetivos iniciales planteados en la investigación, por lo que en este sentido, se ha realizado a partir del conjunto de estudiantes que participaron previamente en el estudio de rendimiento como grupos experimentales. 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.

En esta fase del estudio, cumplimentaron un cuestionario en formato *online*, conformado por 35 ítems que les planteaban cuestiones relacionadas tanto con la aplicación de RA como con el sistema de evaluación que habían utilizado en clase durante la fase del estudio de rendimiento. De esta manera, se cumple tanto con las recomendaciones sobre el diseño de instrumentos como con la regla general relativa a la cantidad mínima de observaciones necesarias en esta clase de estudios, establecida por autores y expertos como Hair, Black, Babin y Anderson (2018).

6.2.3.- Características de la muestra y participantes en el Estudio Cualitativo

A la hora de seleccionar la muestra de docentes que se han incluido en la fase de investigación cualitativa, se han tenido en cuenta también las limitaciones del espacio-tiempo que condicionan el estudio.

En cuanto a las características particulares que se han considerado en la selección de los docentes participantes que formaban parte de la muestra de esta investigación, se han tenido en cuenta las siguientes:

- Que la muestra esté formada por docentes de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), de la Comunidad Autónoma de Cantabria.
- Que sean docentes pertenecientes a la asignatura de ciencias de Biología y Geología de cuarto curso.
- Que sean docentes en centros educativos tanto públicos como concertados durante el citado curso escolar.
- Que la ubicación geográfica de los centros educativos seleccionados fuese lo más dispersa posible para intentar garantizar la máxima representatividad en este sentido.

6.2.3.1.- Participantes en el Estudio relativo a la Formación del Profesorado

Los centros educativos y los docentes participantes en la investigación fueron seleccionados en función de sus características y conocimientos, a través de un muestreo de tipo no probabilístico (Sáez, 2017). De manera que, el 62,5% ($n = 10$) corresponden a docentes que imparten docencia en centros educativos públicos, mientras que el 37,5% ($n = 6$) corresponden a docentes que imparten clase en centros educativos concertados. Finalmente, han participado en este estudio un total de 16 centros educativos (el 17,6% de la población total de centros educativos de la Comunidad Autónoma de Cantabria).

En cuanto a la muestra de docentes que participaron en la investigación, está compuesta por un 62,5% ($n = 10$) de docentes que imparten clase en centros educativos públicos y un 37,5% ($n = 6$) de docentes que imparten clase en centros educativos concertados. Finalmente, participaron un total de 16 docentes en este estudio, de los cuales el 68,8% ($n = 11$) eran mujeres y el 31,2% ($n = 5$) eran hombres.

Los docentes participantes en este estudio cumplimentaron un cuestionario en formato online, conformado por tres ítems que les planteaban cuestiones muy concretas relacionadas específicamente con su formación en tecnología educativa. De esta manera, la muestra cumple tanto con las recomendaciones sobre el diseño de instrumentos, como con la regla general relativa a la cantidad mínima de observaciones necesarias en este tipo de estudios. Esta regla general, establecida por autores como Hair, Black, Babin y Anderson (2018), consiste en garantizar como mínimo, una ratio de observaciones cinco veces superior al número de variables que componen el instrumento de medida. Por lo tanto, la muestra seleccionada para el desarrollo de esta investigación educativa se puede considerar representativa respecto de la población a la que representa (Sáez, 2017).

Capítulo VII. Diseño y validación de instrumentos

7.1.- Selección de conceptos clave

Con el objetivo de desarrollar la investigación, en primer lugar, se necesitaba determinar los conceptos clave de la asignatura que se iba a utilizar en el estudio. Para ello, se efectuó una consulta a varios expertos educativos, todos ellos profesores en activo y docentes de la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria, pertenecientes a centros educativos tanto públicos como concertados de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

Debido a causas organizativas, el estudio estaba programado para su realización en los centros educativos durante los dos últimos trimestres del curso escolar 2018/2019, motivo por el que previamente se preguntó a los docentes por la distribución de los contenidos de la asignatura programados a lo largo del citado curso escolar, con el objetivo de concretar qué unidades didácticas impartirían durante ese período en particular. La consulta efectuada a los expertos se ha realizado a través de un cuestionario *online* creado con la herramienta *Google Forms*, titulado: “*Unidades Didácticas que se impartirán durante la Segunda y Tercera Evaluación (enero-junio) del curso escolar 2018/19*”, al que finalmente respondieron un total de seis expertos (Véase Anexo 1). Se pidió a los expertos que seleccionasen las unidades didácticas programadas por cada uno de ellos para su impartición durante la segunda y tercera evaluación del citado curso escolar, de entre las que aparecían en la siguiente lista, todas ellas pertenecientes al currículo de la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria en Cantabria:

- a) Estructura y dinámica de la Tierra.
- b) Tectónica y relieve.
- c) Historia del Planeta.
- d) Estructura y dinámica de los ecosistemas.

- e) Actividad humana y medioambiente.
- f) Organización celular de los seres vivos.
- g) Herencia y genética.
- h) Información y manipulación genética.
- i) Origen y evolución de la vida.
- j) Proyectos de investigación.

Posteriormente, se les pidió mediante correo electrónico, que indicasen cuáles eran los principales conceptos clave de la asignatura, relacionados con las unidades didácticas indicadas previamente y considerando los siguientes criterios fundamentales:

- Seleccionar al menos tres conceptos clave.
- Estar integrados de manera específica en el currículo de la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria.
- Al menos uno de los conceptos debería de estar relacionado con un tema de Geología y otro con Biología.
- Ser conceptos de difícil explicación para el profesor y/o difícil entendimiento para los alumnos (componente abstracto).
- Ser conceptos que presentasen alguna dificultad para poder ser representados o visualizados espacialmente (componente tridimensional, 3D).
- Todos los conceptos seleccionados, deberían ser equivalentes en cuanto a grado de complejidad en su visualización, comprensión, etc.

Con las respuestas seleccionadas por parte de los seis expertos, se integraron cuatro conceptos clave de la asignatura en la investigación: dos conceptos clave relacionados con temas de Biología y otros dos conceptos clave relacionados con temas de Geología. De manera que, en el momento de efectuar las pruebas en los centros, fuesen los propios docentes los que eligiesen dos de los cuatro conceptos de manera voluntaria y aleatoria. Los cuatro conceptos seleccionados fueron los siguientes:

- Conceptos clave equivalentes relacionados con la Geología:
 - Estudio de la representación del relieve topográfico (curvas de nivel).
 - Estudio de la estructura interna de la tierra (ondas sísmicas).
- Conceptos clave equivalentes relacionados con la Biología:
 - Estudio de la célula eucariota (animal y vegetal).
 - Estudio de la división celular (etapas).

7.2.- Diseño, desarrollo, selección y evaluación de recursos educativos y aplicaciones basados en RA

Con el objetivo general de intentar determinar el tipo de impacto que la RA puede llegar a producir sobre el rendimiento de los estudiantes de ciencias, se utilizaron cuatro aplicaciones informáticas (*Apps*) basadas en esta tecnología. Estas aplicaciones se utilizaron en el aula para explicar a los alumnos los contenidos didácticos relacionados con los conceptos clave de la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de la ESO, seleccionados previamente por el grupo de expertos.

Con el objetivo de discriminar posibles variables extrañas o enmascaradas relacionadas con factores subjetivos o posibles errores en el diseño de las *Apps*, que pudieran afectar al rendimiento de las mismas, se decidió, por una parte, crear dos de estas aplicaciones “*ad hoc*”, una para un concepto relacionado con la Biología y otra para otro concepto relacionado con la Geología. Por otra parte, se seleccionaron otras dos *Apps* ya creadas anteriormente por terceros y disponibles en repositorios y galerías en Internet que ofrecen recursos digitales como software libre: una de ellas relacionada con un concepto clave de Biología y la otra con otro concepto clave de Geología. De esta manera, los profesores que decidieron participar en la investigación pudieron elegir de manera voluntaria y aleatoria dos de los conceptos clave (uno para Biología y otro para Geología), que consideraron más adecuados. De esta manera, cada uno disponía de su respectiva aplicación de RA como recurso didáctico.

7.2.1.- Diseño y desarrollo de aplicaciones de RA para la investigación

7.2.1.1.- Consideraciones generales

Todas las aplicaciones utilizadas en la investigación, tanto las dos desarrolladas específicamente para el estudio, como las dos que ya habían sido desarrolladas previamente por terceros, se basan en la utilización de marcadores para su activación.

Los marcadores, también denominados activadores o *trackables*, son componentes físicos necesarios para que las Apps puedan activar la información digital. De esta forma, cuando la cámara del dispositivo móvil enfoca al marcador, la aplicación lo reconoce y representa la información digital sobre la imagen real que se visualiza en la pantalla del dispositivo móvil. Aunque en la bibliografía se pueden encontrar ejemplos de varios tipos de clasificaciones de RA, se sigue la establecida por García (2016), al considerarla una de las más recientes y completas.

Como ya se vio en el Capítulo II, en la bibliografía actual se pueden encontrar varios tipos diferentes de clasificaciones de RA. En este estudio, se ha seguido la clasificación establecida bajo el criterio de expertos educativos en tecnología basada en RA como Cabero y García (2016) por considerarla una de las más recientes y completas. En el estudio, las cuatro aplicaciones utilizadas se basaban en la utilización de una imagen como componente físico o marcador, para permitir la activación de la información digital por lo que, según el criterio anteriormente citado, el tipo de tecnología basada en RA utilizada en los cuatro casos corresponde a un Nivel 2.

A este sistema se le denomina habitualmente *tracking* sin marcas y se basa en la utilización de imágenes cuyas características intrínsecas favorecen su detección. Los marcadores de las cuatro aplicaciones que se utilizan en el estudio, contaban con las recomendaciones efectuadas por algunos expertos en el ámbito educativo como García (2016), para su elaboración y reconocimiento:

- Se incorporan áreas con colores diferentes, contrastes altos y bordes bien definidos y marcados, teniendo en cuenta que los colores se consideran como gamas de grises con diferente luminosidad, para conseguir elaborar imágenes altamente estructuradas.

- En este sentido, se eliminan las zonas planas sombreadas para garantizar la estructuración de la imagen.
- También se minimiza la aparición de textos ya que dificulta la detección de las imágenes frecuentemente.
- Se elimina cualquier punto que pueda favorecer la reflexión de la luz y se buscan imágenes lo más claras posibles.
- Todos los patrones tenían unas dimensiones similares y estaban preparados para imprimir o utilizar en folios rectangulares tamaño DIN A4.

Los tipos de imágenes que más se utilizan habitualmente para la creación de marcadores en un Nivel 2 de RA, admiten tres posibilidades: una imagen sencilla, una imagen panorámica o extendida, o una imagen de un rostro o cara.

En el estudio se utilizan imágenes sencillas en cada uno de los cuatro marcadores. Las imágenes, estaban impresas en papel y contenían motivos relacionados con el concepto clave que representaba su aplicación correspondiente. Se ha seleccionado un Nivel 2 de RA basado en marcadores con imágenes impresas sencillas ya que este sistema ofrece varias ventajas:

- Era uno de los sistemas más económicos en cuanto al diseño y desarrollo, tanto del propio marcador como de la App correspondiente.
- Permite elegir diseños de marcadores que llamen la atención de los estudiantes.
- Permite utilizarlo incluso sin necesidad de imprimirlo en papel ya que se visualiza en la pantalla de otro dispositivo electrónico.
- Favorece la portabilidad y la ubicuidad del conjunto de la aplicación, lo que a su vez favorece el desarrollo de competencias en los estudiantes dentro y fuera del aula.
- No depende de otros factores como la conectividad o la geolocalización a través de GPS, por lo que se trata de un sistema con un alto grado de autonomía.

Además, si se tiene en cuenta el componente virtual o clase de contenido digital que está vinculado al tipo de aplicaciones que se han utilizado en el estudio, se está ante un tipo de RA basada en elementos 3D para la representación de objetos artificiales.

Por otra parte, atendiendo a su funcionalidad, las aplicaciones que se han incluido en el estudio se han diseñado y seleccionado como herramientas que suministran información a los alumnos para permitirles comprender mejor una realidad o fenómeno complejo a través de la que se denomina “percepción aumentada” (García, 2016).

7.2.1.2.- Desarrollo y producción de las dos aplicaciones basadas en RA

El proceso de desarrollo y producción de cualquier medio basado en la tecnología se compone de varias etapas diferentes que, lógicamente, varían en función de cada caso concreto, constando generalmente de cuatro etapas principales: Diseño, Producción, Postproducción, y Evaluación (Barroso, *et al.* 2017). Cada una de las citadas etapas supone realizar diversas acciones como considerar el nivel educativo de los usuarios, la finalidad tanto de la aplicación como de sus contenidos, o el tipo de evaluación a la que va a ser sometida para comprobar su validez, ya que son aspectos determinantes para poder garantizar una calidad óptima. En el estudio, se sigue un esquema adaptado al utilizado por los citados expertos en tecnología educativa para el desarrollo de las dos aplicaciones de RA que se utilizarán posteriormente en el estudio de rendimiento (Figura 6). Finalmente se denominan *CellularAR*® y *SeismicAR*®, respectivamente, y se describirán de manera pormenorizada a lo largo de los siguientes apartados.

Volviendo a las etapas mencionadas anteriormente, a continuación, se describen los trabajos y actividades que se desarrollan en cada una de ellas y que fueron similares para la producción de ambas aplicaciones:

Diseño

En esta primera etapa, se efectuó un guion con el diseño, la estructura y contenidos mínimos que debían de tener cada una de las aplicaciones en función de los contenidos didácticos que iban a representar y de los requerimientos técnicos necesarios para su

desarrollo. En esta etapa, se tuvo en cuenta que los potenciales usuarios de estas dos aplicaciones eran alumnos de la asignatura de Ciencias de Biología y Geología de cuarto Curso de la ESO. Por lo tanto, se adaptaron algunos aspectos básicos del diseño a esta etapa educativa como la selección de un tipo de gráficos sencillo y la redacción de los textos con un vocabulario adaptado, con la utilización de términos concretos relacionados con los conceptos del citado nivel educativo. En este sentido, también se tuvieron en cuenta los principales objetivos didácticos que se pretenden conseguir con el uso de estas aplicaciones adaptadas, como son: la representación de conceptos clave singulares de la asignatura, mejorar el nivel de motivación y el grado de aceptación de la tecnología y el rendimiento de los alumnos. Considerando los objetivos didácticos mencionados anteriormente, se diseñó un diagrama de flujo para representar el modo de navegación y determinamos el diseño visual o *layout*, concretando el número de escenas o secuencias, pantallas o *displays* y la distribución de los contenidos en cada una de ellas, así como el tipo de marcadores y su estructura. Para ello se tuvo en cuenta que hay un máximo de marcadores que pueden ser captados por una sola aplicación en función del tipo de software utilizado. En esta etapa, también se diseñó el nombre de las dos aplicaciones: *CellularAR*[®] y *SeismicAR*[®].

Producción

En esta etapa, se generaron los componentes físicos: como los marcadores, los textos, etc. y también los componentes virtuales: imágenes digitales, animaciones, modelos 3D, botones interactivos, etc., de la aplicación. En esta etapa también se produjeron los logotipos correspondientes a las dos aplicaciones creadas.

Postproducción

En esta etapa, se efectuaron los retoques necesarios tanto sobre los componentes físicos, como sobre los componentes digitales o virtuales elaborados en la etapa anterior de producción. En cuanto a la postproducción de los componentes físicos, se tuvieron que adaptar los marcadores para facilitar su captura o detección por parte de la

aplicación eliminando textos y mejorando el contraste de las imágenes incorporadas. En cuanto a la postproducción de los componentes digitales, se efectuaron mejoras adaptando los fondos de los logotipos para hacerlos transparentes utilizando formatos de archivo .png. También se mejoraron otros aspectos como el brillo, el contraste y la saturación de algunos de los objetos. En esta etapa, se revisaron los textos explicativos con contenido didáctico incluidos en las diferentes escenas y se efectuaron modificaciones, correcciones y ajustes en algunos de ellos.

Programación y Ajustes

Durante la ejecución de las tareas de programación, se desarrollaron el conjunto de los componentes y los aspectos interactivos entre estos y las escenas que componen las aplicaciones.

Para el desarrollo de aplicaciones móviles basadas en tecnología de RA, habitualmente se utilizan diferentes lenguajes de programación como *Java*, *C++* y *Objective C*, por tratarse de los más habituales (García, Casado y Gallego, 2016).

Al tratarse de dos aplicaciones de RA creadas a medida “*ad hoc*”, para poder efectuar la investigación, para su desarrollo se eligió el software *Unity* por tratarse de uno de los motores de desarrollo de videojuegos que más se utiliza en la actualidad debido a sus características y prestaciones. Este software está creado por la compañía *Unity Technologies* líder a nivel mundial en contenidos interactivos en 2D y en 3D (RT3D) en tiempo real, como juegos y aplicaciones de RA. Un motor de videojuegos es una plataforma *software* que permite el desarrollo de aplicaciones, aportando herramientas y funcionalidades que facilitan en gran medida la tarea del desarrollador.

En el caso de la plataforma *Unity*, se pueden destacar las siguientes características técnicas para su utilización en la programación y desarrollo de este tipo de aplicaciones:

- La programación se realiza en lenguaje *C#* perteneciente a la plataforma de desarrollo libre y de código abierto *.NET* de *Microsoft*. Es el lenguaje de programación más moderno de la familia de *C* y *C++*, está orientado a objetos y

con una amplia comunidad que garantiza tanto el soporte, como la actualización y compatibilidad de versiones a lo largo del tiempo.

- Presenta una integración directa con diversas aplicaciones de diseño 3D como: *3D Studio, Blender, Maya, etc.*
- Multi plataforma. Las aplicaciones desarrolladas en *Unity* se pueden ejecutar en *Mac, Windows, Linux, iOS, Android*, o incluso videoconsolas.
- Soporta de forma nativa múltiples dispositivos de RA, como por ejemplo *Samsung Gear RV, PlayStation RV, Oculus Rift*, entre otros.

Posteriormente, se efectuaron ajustes para mejorar algunos aspectos con la navegación en las escenas, en la representación de algunos objetos concretos, así como en la información didáctica que proporcionaban, todo ello con el objetivo de facilitar su uso y mejorar su rendimiento y aceptación por parte de los estudiantes.

Evaluación

La etapa de evaluación constituye un aspecto fundamental en el desarrollo del cualquier recurso o aplicación creada con fines educativos ya que, tanto su funcionamiento óptimo, como la calidad general de la misma, dependen en gran medida de las acciones que desarrollamos durante esta fase técnica.

Existen diferentes métodos para la evaluación general de recursos digitales, como las entrevistas, las listas de chequeo, las escalas de satisfacción o la observación por citar algunos ejemplos. Se ha optado por aplicar dos tipos de evaluaciones diferentes pero complementarias, como son la evaluación técnica y la evaluación didáctica de los dos recursos desarrollados.

En la evaluación técnica que se efectuó a las dos aplicaciones producidas: *CellularAR*® y *SeismicAR*®, se procedió en primera instancia a efectuar un testeo de las dos aplicaciones. Para ello se descargaron e instalaron en un dispositivo móvil para su previsualización y revisión, comprobando que tanto los aspectos técnicos, como los objetos virtuales y los contenidos didácticos se correspondían con el diagrama de flujo original y con los aspectos esenciales determinados durante la fase inicial de diseño.

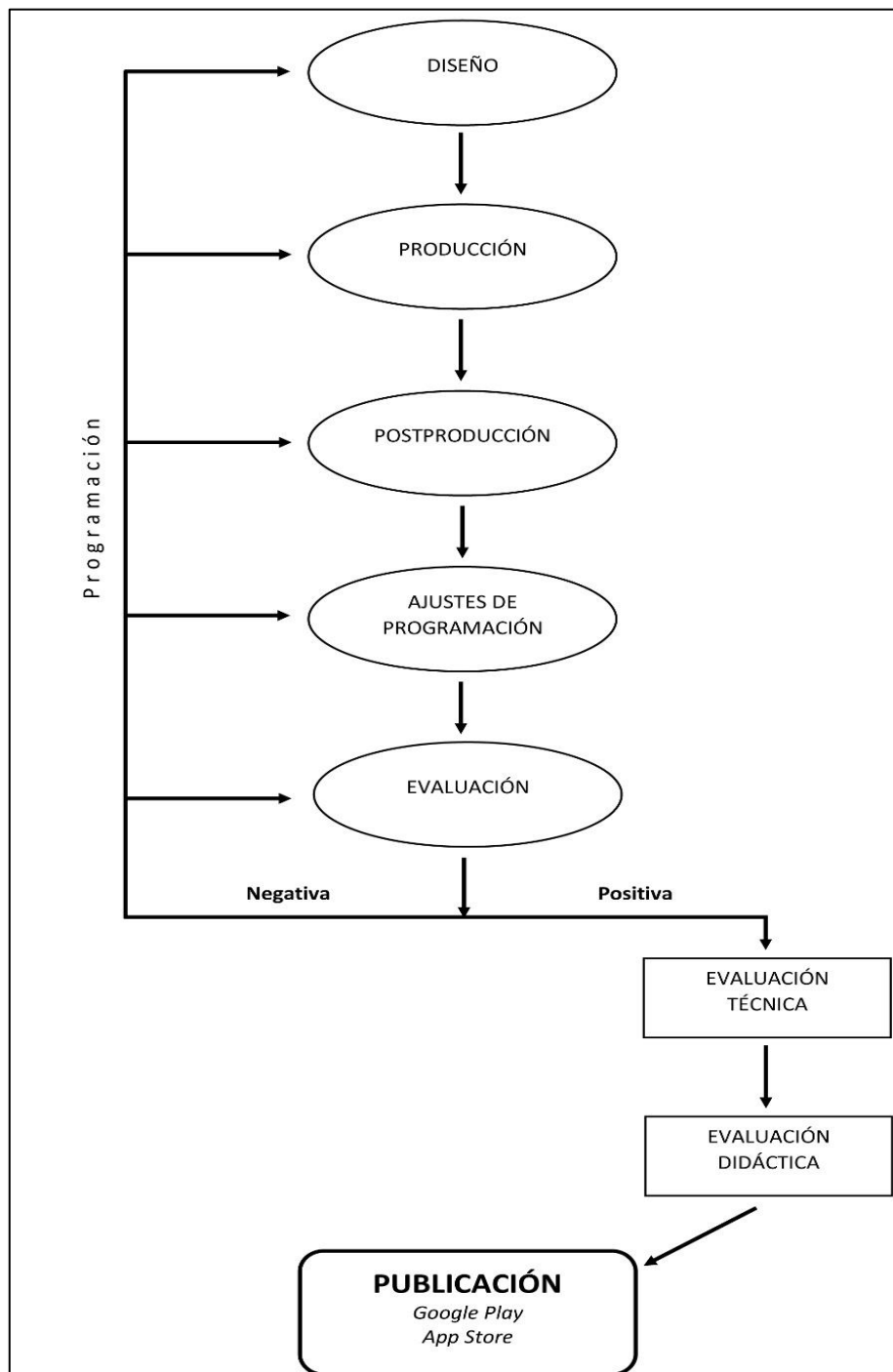


Figura 6. Esquema del proceso seguido para la creación y el desarrollo de las dos aplicaciones educativas: *Cellular*® y *SeismicAR*®.

Fuente: Elaboración propia. Adaptación del modelo establecido por Cabero, Leiva, Moreno, Barroso y López (2016).

Aunque la valoración técnica fue positiva en general, en las dos aplicaciones se tuvieron que efectuar posteriormente algunos ajustes básicos en aspectos puntuales relacionados con la navegación entre secuencias.

En este punto, ninguna de las dos aplicaciones estaba aún publicada, sino que las dos versiones se mantenían alojadas en una dirección de servidor privada desde la que podía descargarse accediendo a ella a través de un enlace o *link* a su URL correspondiente.

Una vez realizados los ajustes mencionados, se pasó al siguiente nivel de evaluación: la evaluación didáctica. Para ello, se eligió una muestra de alumnos a los que se les facilitaron las dos aplicaciones que se habían desarrollado (*CellularAR*[®] y *SeismicAR*[®]). Se explicó a los alumnos cómo funcionaban y cuál era su objetivo y se les dejó que interactuasen con ellas durante un tiempo. Posteriormente, se les preguntó a esos mismos alumnos su opinión acerca de determinados aspectos técnicos y estéticos y sobre la facilidad de uso que habían percibido, así como por una serie de cuestiones relacionadas con la atención, la motivación, el interés o su utilidad percibida como recursos didácticos complementarios. Para poder efectuar esta consulta a los estudiantes, se diseñó un cuestionario *ad hoc* y un procedimiento para que pudieran utilizar y conocer los objetos de RA sobre los que se les iba a preguntar posteriormente. Todo ello englobado en un estudio piloto cuyas características y resultados se describirán de manera pormenorizada en los siguientes apartados.

Publicación

Con la finalidad de completar el proceso de desarrollo y producción de las dos aplicaciones de RA, se procedió al registro de las marcas *CellularAR* y *SeismicAR* en la Oficina Española de Patentes y Marcas, organismo público dependiente del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno de España.

Posteriormente, se procedió también a efectuar el registro de la Propiedad Intelectual de las dos aplicaciones ante el Registro Central de la Propiedad Intelectual, organismo público dependiente del Ministerio de Cultura y Deporte del Gobierno de España.

Actualmente la aplicación *Cellular*[®] cuenta con derechos de registro de marca o nombre comercial. En el caso de *SeismicAR*[®], la aplicación cuenta con derechos de registro de marca o nombre comercial, así como de registro de la Propiedad Intelectual.

Por último, se iniciaron los trámites para la publicación definitiva de las dos aplicaciones en los *stores* correspondientes a *Google Play* y *App Store* respectivamente, donde se encuentran disponibles actualmente.

7.2.1.3.- *Cellular*[®]

Se trata de una aplicación con fines educativos que se desarrolló “*ad hoc*” para el estudio, fruto de la colaboración entre la Universidad de Santiago de Compostela y la Universidad Camilo José Cela de Madrid. Desde un punto de vista didáctico, *Cellular*[®] es una aplicación basada en tecnología de RA que permite la comprensión y visualización de los siguientes conceptos de la asignatura:

- Reconocer e identificar la organización común a todos los tipos de células.
- Diferenciar los tipos de células eucariotas: animales y vegetales.
- Reconocer la relación entre la morfología y las funciones que desarrollan los órganos celulares.

Cellular[®], es una aplicación de Nivel 2 de RA que utiliza dos imágenes, marcadores, activadores o *trackables* que se pueden descargar directamente junto con la aplicación para su posterior impresión en papel.

Permite visualizar de manera diferenciada la célula eucariota animal y la célula eucariota vegetal, para poder compararlas y entender su organización y comprender sus diferencias principales. Todo ello en un entorno que permite interactuar con cada uno de los órganos representados por objetos digitales en 3D que pueden ser ampliados mediante la función de zoom, o rotados para su visualización tridimensional detallada. Además, esta aplicación también permite al usuario seleccionar y visualizar información específica sobre cada uno de los orgánulos representados. En concreto, la aplicación

ofrece información didáctica detallada en forma de texto sobre cada uno de los orgánulos representados y la muestra a petición del usuario. La aplicación también incorpora una herramienta de zoom para facilitar el acceso y la visualización de los detalles del modelo digital tridimensional generado. Los principales orgánulos representados en la aplicación se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 Orgánulos de la célula eucariota, representados en la aplicación educativa CelluLAR®

Orgánulos de la célula eucariota, representados en la aplicación educativa CelluLAR®

Orgánulos representados	Animal	Vegetal
Aparato de Golgi	Si	Si
Centrosoma	Si	Si
Cilios y Flagelos	Flagelos	No
Citoesqueleto	Si	Si
Citoplasma	Si	Si
Cloroplastos	No	Si
Lisosomas	Si	Si
Membrana Plasmática	Si	Si
Mitocondrias	Si	Si
Núcleo	Si	Si
Pared Celular	No	Si
Retículo Endoplasmático Liso (REL)	Si	Si
Retículo Endoplasmático Rugoso (RER)	Si	Si
Ribosomas	Si	Si
Vacuolas	No	Si

Fuente: Elaboración propia.

CelluLAR®, se ha desarrollado utilizando la plataforma de desarrolladores *Unity3D*. El código principal está escrito en lenguaje *C#* y se empleó el paquete *MAXST* como librería externa para las funcionalidades específicas de RA.

Está disponible para su descarga libre y utilización por parte de los estudiantes, profesores y del público en general tanto en *Google Play* para dispositivos móviles que utilicen sistema operativo *Android*, como en *App Store* para dispositivos móviles con

sistema operativo *iOS*. En cualquiera de los dos casos, el usuario podrá descargarse además los dos marcadores que permiten activar las diferentes escenas que componen la aplicación.

La aplicación se distribuye con una imagen o marcador doble para el traqueo (*tracker*), que representa tanto la célula eucariota animal, como la célula eucariota vegetal respectivamente y está disponible en la opción “Descargar”, (Figura: 7)

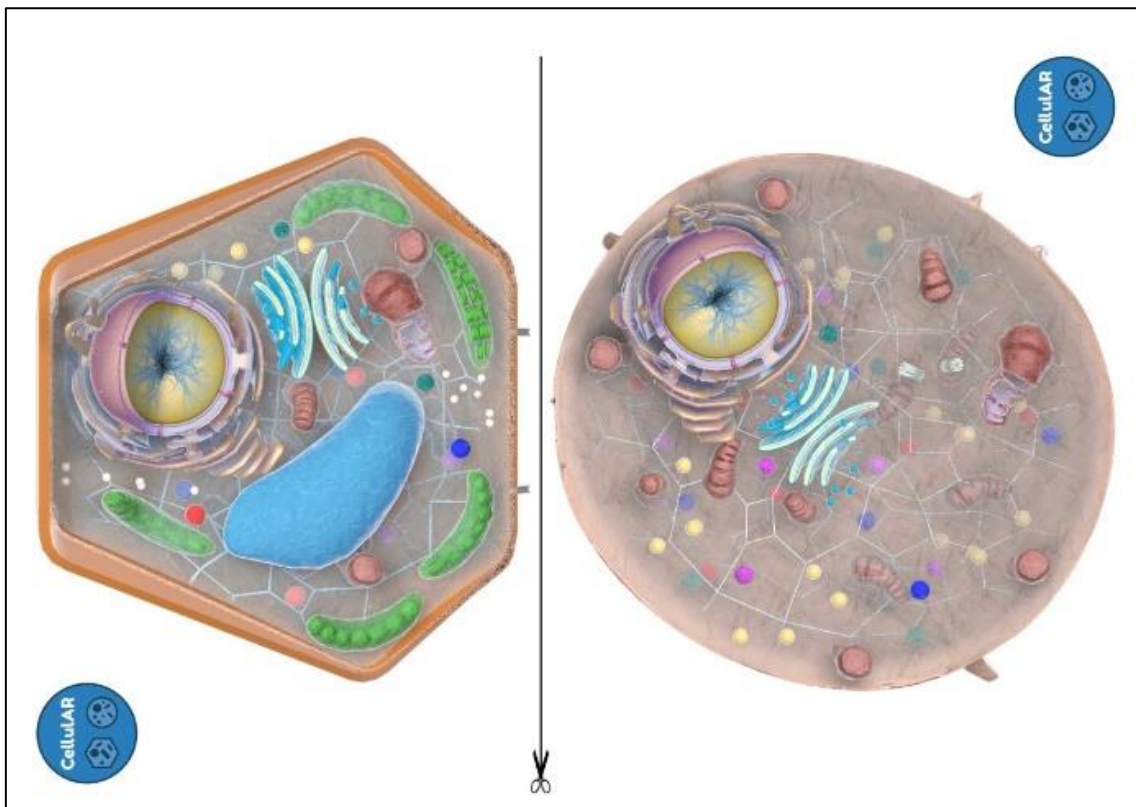


Figura 7. Track (o marcador) correspondiente a la aplicación educativa *CelluAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, al inicio de la aplicación se muestran las instrucciones paso a paso, para la utilización de *CelluAR*® (Véase Figura 8).



Figura 8. Instrucciones de Inicio de la aplicación *CelluLAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Apuntando con el dispositivo móvil (Tablet o Smartphone) a la imagen de traqueo o marcador, la imagen en 3D de la célula eucariota animal se proyecta sobre el marcador y se puede visualizar a través de la pantalla del dispositivo móvil, de manera que puede verse desde diferentes ángulos y perspectivas (Figura 9):



Figura 9. Imagen tridimensional proyectada, en Realidad Aumentada, sobre el marcador de la célula eucariota animal activada con el dispositivo móvil y la aplicación *CelluLAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Haciendo “click” sobre los círculos, se muestran los nombres de los diferentes orgánulos correspondientes a la célula eucariota animal. Un nuevo “click” sobre el triángulo invertido del menú, proporciona una descripción detallada de cada uno de ellos (Figuras 10 a 18, respectivamente).

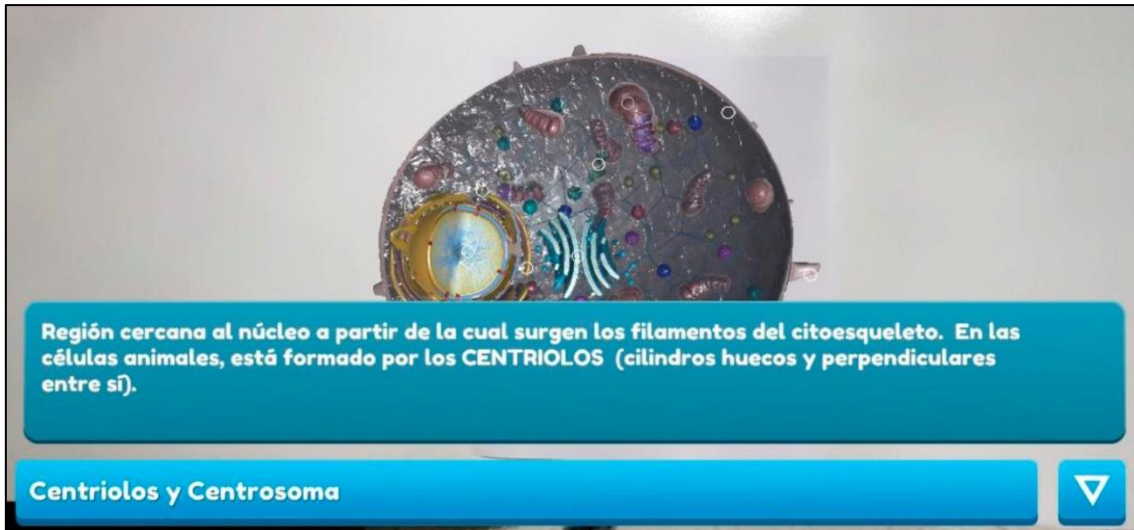


Figura 10. Información ofrecida sobre los Centriolos y el Centrosoma en la aplicación CelluAR®.

Fuente: Elaboración propia.

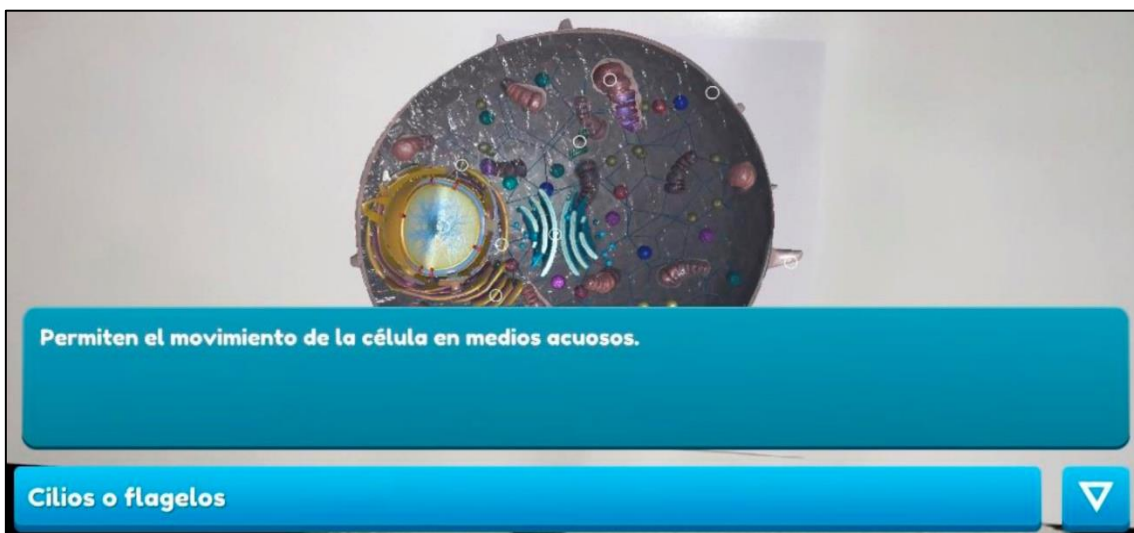


Figura 11. Información ofrecida sobre los Cilios o Flagelos en la aplicación CelluAR®.

Fuente: Elaboración propia.

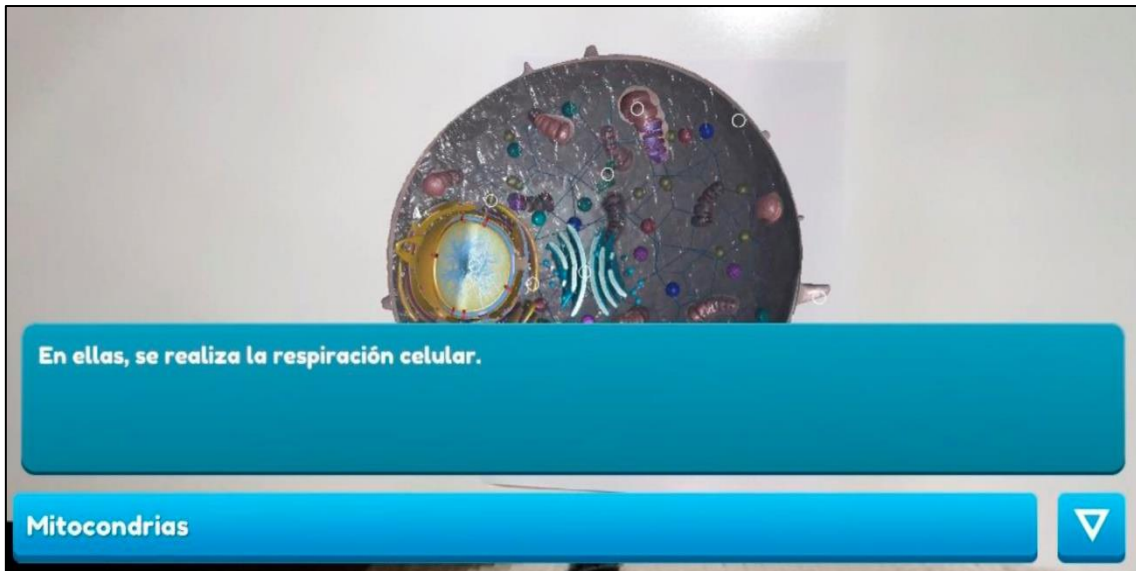


Figura 12. Información ofrecida sobre las Mitocondrias en la aplicación *CelluAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

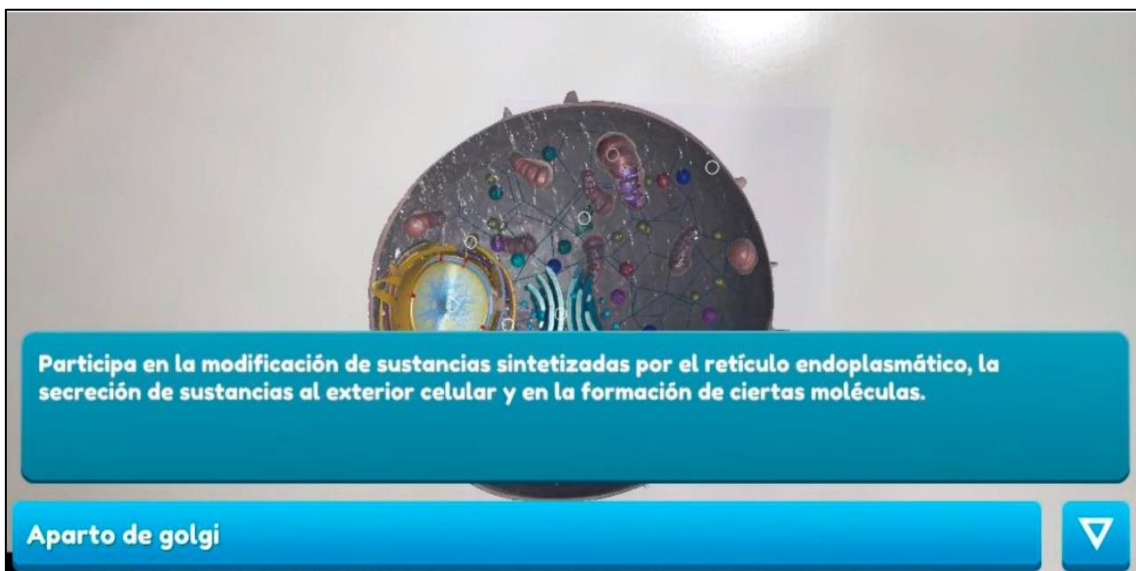


Figura 13. Información ofrecida sobre el Aparato de Golgi en la aplicación *CelluAR*®.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Información ofrecida sobre el Retículo endoplasmático rugoso en la aplicación *Cellular*®.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 15. Información ofrecida sobre el Retículo endoplasmático liso en la aplicación *Cellular*®.
Fuente: Elaboración propia.

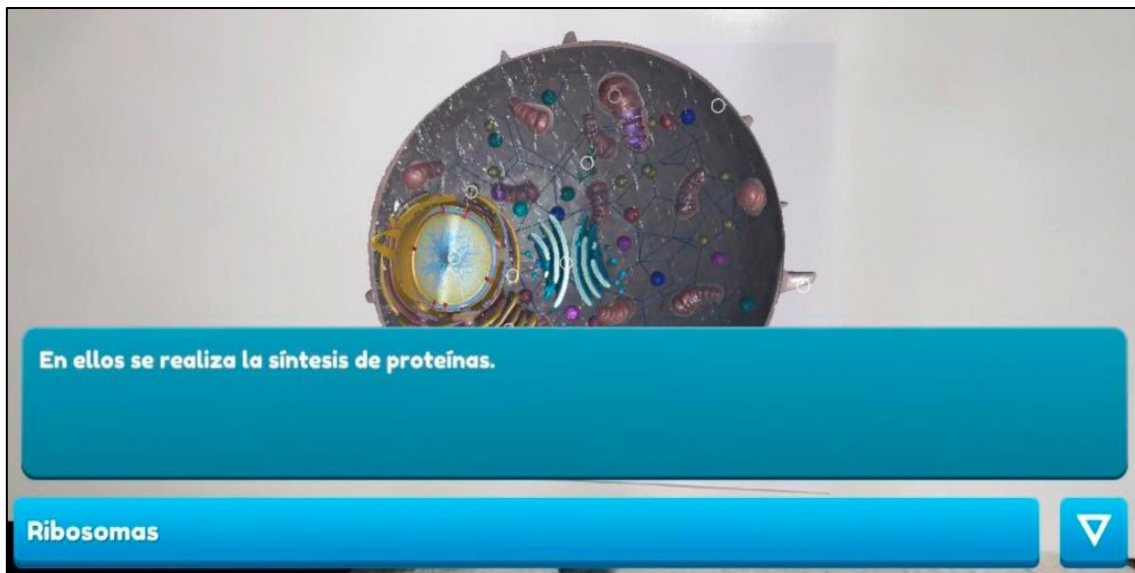


Figura 16. Información ofrecida sobre los Ribosomas en la aplicación CelluLAR®.

Fuente: Elaboración propia.

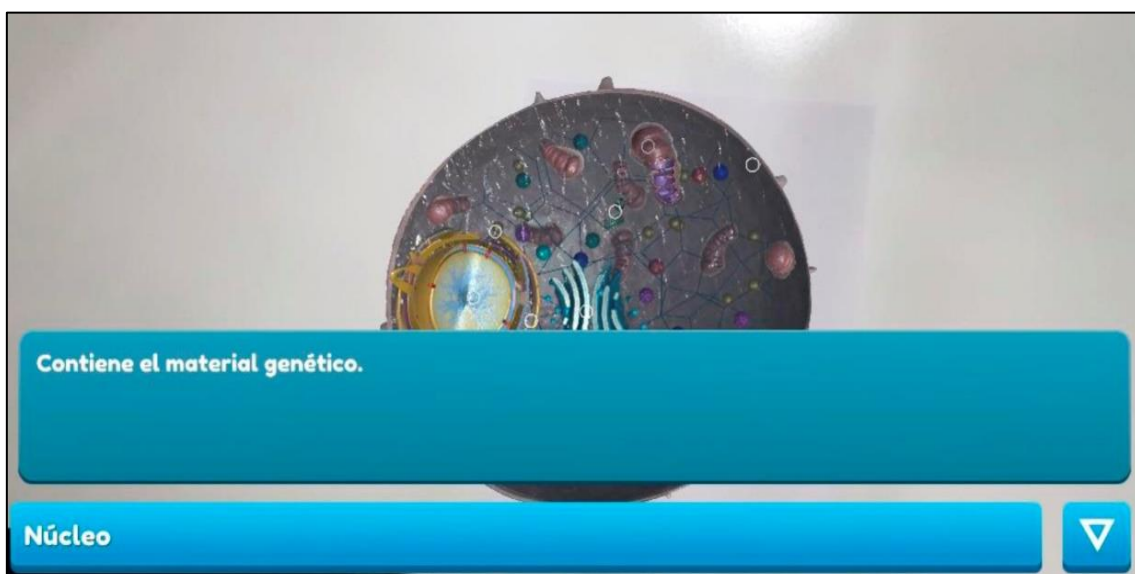


Figura 17. Información ofrecida sobre el núcleo celular en la aplicación CelluLAR®.

Fuente: Elaboración propia.

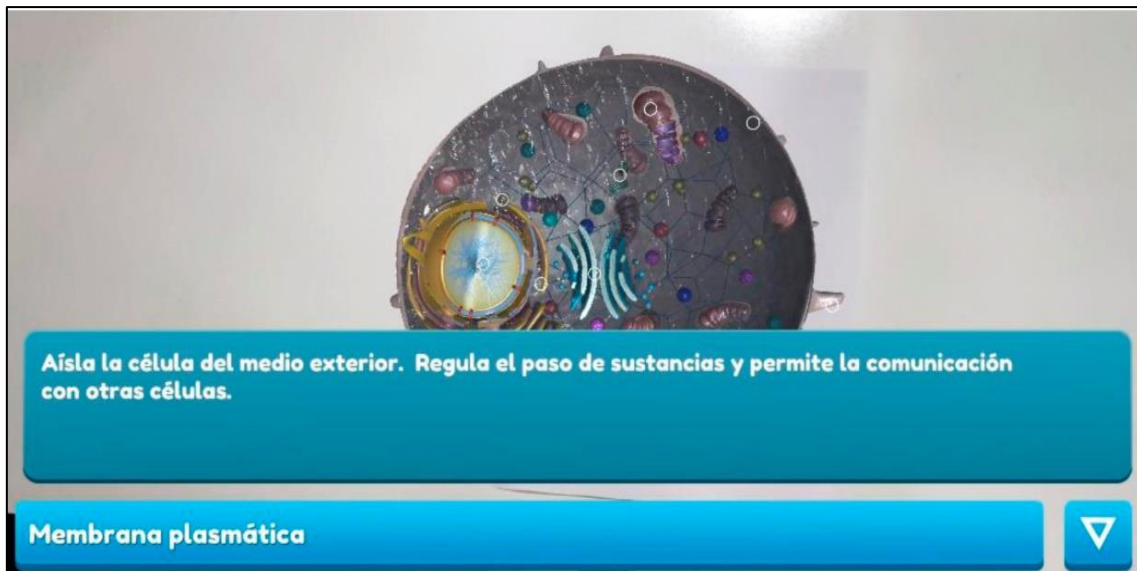


Figura 18. Información ofrecida sobre la Membrana plasmática en la aplicación *CelluLAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, apuntando con el dispositivo móvil (*Tablet* o *Smartphone*) a la imagen de traqueo, la imagen en 3D de la célula eucariota vegetal se proyecta sobre el mismo y puede verse desde diferentes perspectivas (Figura 19):

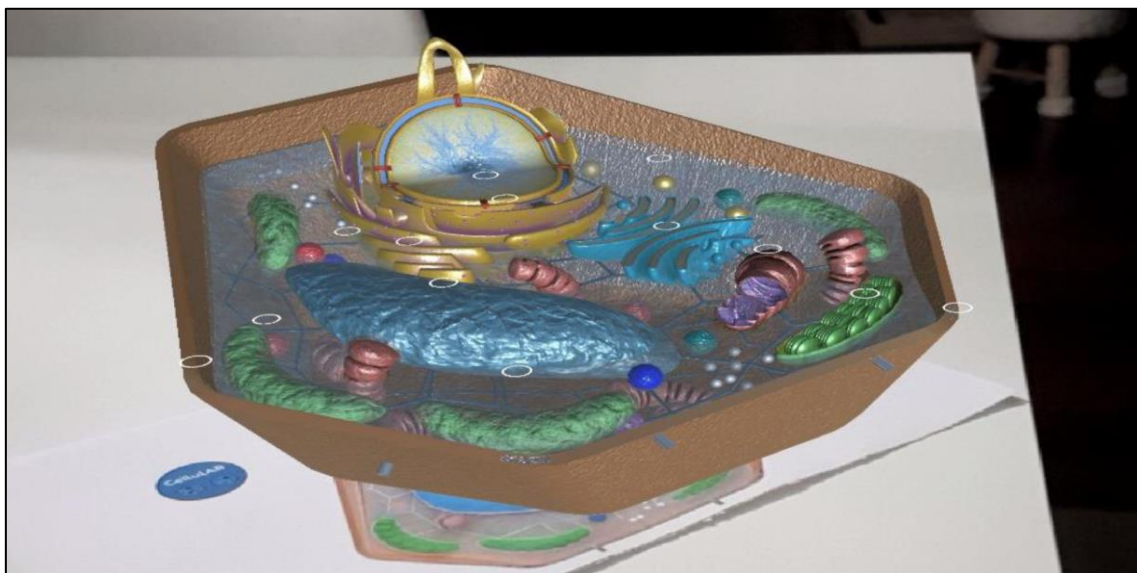


Figura 19. Imagen tridimensional proyectada, en Realidad Aumentada, sobre el marcador de la célula eucariota vegetal, activada con el dispositivo móvil y la aplicación *CelluLAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo el mismo procedimiento que con la célula eucariota animal, haciendo “click” sobre los círculos se muestran los nombres de los diferentes orgánulos correspondientes a la célula eucariota vegetal. Un nuevo “click” sobre el triángulo invertido del menú proporciona una descripción detallada sobre cada uno de ellos (Figuras 20, 21 y 22).



Figura 20. Información ofrecida sobre los Cloroplastos en la aplicación *CelluLAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

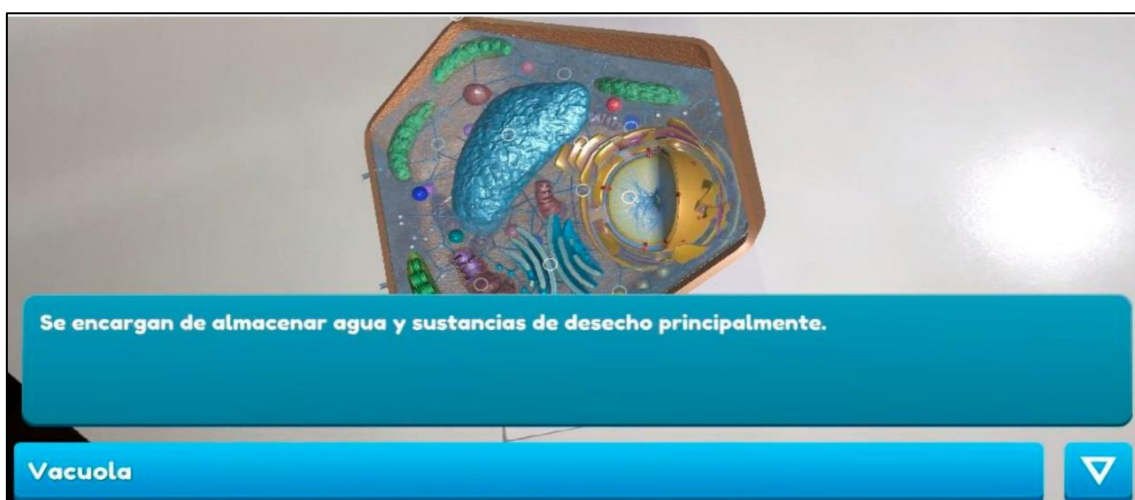


Figura 21. Información ofrecida sobre la Vacuola en la aplicación *CelluLAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

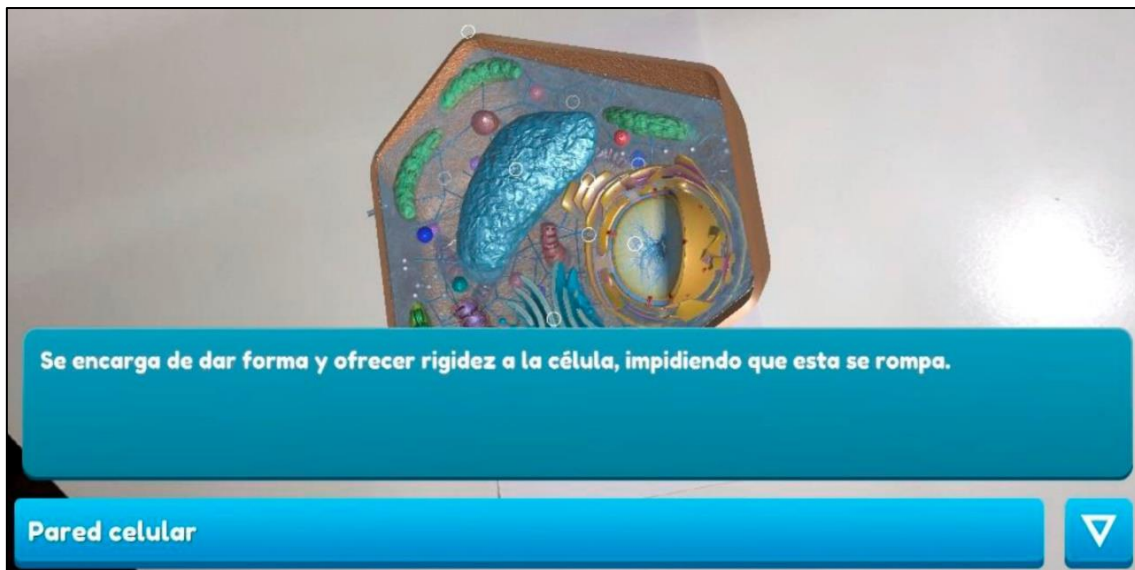


Figura 22. Información ofrecida sobre la Pared celular en la aplicación *CelluAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.1.4.- SeismicAR®

Al igual que la aplicación anterior, *SeismicAR*® también se trata de una aplicación educativa que se desarrolló “*ad hoc*” para el estudio.

Desde un punto de vista didáctico, *SeismicAR*® se trata de una aplicación basada en tecnología de RA que permite la comprensión y visualización de los siguientes conceptos clave de la asignatura:

- Conocer la estructura interna de la Tierra, según los diferentes modelos geológicos.
- Cómo utilizan los científicos las ondas sísmicas para conocer la estructura interior de la Tierra.
- Cómo interpretar las trayectorias y las velocidades de propagación de las ondas sísmicas primarias (P) y secundarias (S) en las capas del interior de la Tierra, para determinar las discontinuidades sísmicas.

SeismicAR[®], es un software de Nivel 2 de RA que utiliza una imagen, marcador, activador o *trackable* que se puede descargar directamente junto con la aplicación para su posterior impresión en papel. Permite visualizar de manera diferenciada tanto las trayectorias, como las velocidades de propagación de las ondas sísmicas primarias (P) y de las ondas sísmicas secundarias (S). Para ello, atraviesa las diferentes capas terrestres formadas por diferentes materiales para poder interpretar su estado físico, teniendo en cuenta la información que aportan las ondas sísmicas sobre la composición química o el comportamiento dinámico de cada capa. También permite determinar las discontinuidades sísmicas que las separan, según el modelo geoquímico que define la estructura interna de la Tierra. La aplicación también incorpora una herramienta de zoom para facilitar el acceso y la visualización de los detalles del modelo digital tridimensional generado.

Tabla 4

Elementos sísmicos representados en la aplicación educativa SeismicAR[®].

Elementos Representados	Ondas Sísmicas	
	Ondas Primarias (P)	Ondas Secundarias (S)
Foco Sísmico	Sí	Sí
Velocidad de Propagación Ondas P y S	Sí	Sí
Trayectorias ondas sísmicas	Sí	Sí
Capas Terrestres	Sí	Sí
Discontinuidades sísmicas	Sí	Sí
Zonas de sombra	No	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Los principales elementos representados en la aplicación, tanto sobre las características de propagación de las ondas sísmicas Primarias (P) y Secundarias (S) como de la estructura interna de la Tierra, se muestran en la Tabla 4.

SeismicAR[®], se ha desarrollado utilizando la plataforma de desarrolladores *Unity3D*. El código principal, está escrito en lenguaje *C#* y se utilizaron las librerías de *AUMENTATY* para las funcionalidades específicas de Realidad Aumentada.

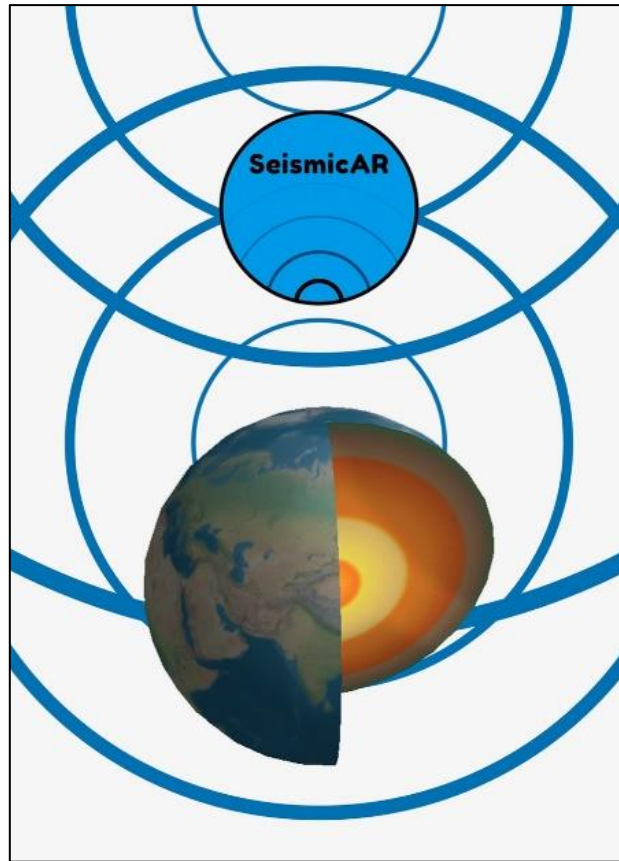


Figura 23. *Track* (o marcador) correspondiente a la aplicación educativa *SeismicAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Como se ha comentado anteriormente, en la actualidad esta aplicación educativa está disponible para su descarga libre y su utilización por parte de los profesores, de los estudiantes y del público en general tanto en *Google Play* para dispositivos móviles que utilicen sistema operativo *Android*, como en *App Store* para dispositivos móviles con sistema operativo *iOS*. En cualquiera de los dos casos, el usuario podrá descargarse además el marcador que permite activar las diferentes escenas que componen la aplicación.

La aplicación se distribuye con una imagen o marcador para el traqueo (*tracker*), que representa la estructura interna de La Tierra y las Ondas Sísmicas P y S (Figura 23).

Apuntando con la cámara del dispositivo móvil (*Tablet o smartphone*) a la imagen de traqueo, la imagen en 3D de la estructura interna de La Tierra y de las diferentes capas

que la componen, se proyecta sobre la pantalla del dispositivo y puede verse desde diferentes perspectivas. Las trayectorias de las Ondas Sísmicas P y S por el interior de la Tierra, la diferencia de velocidades de transmisión de las mismas y los datos sobre las zonas de sombra donde los sismógrafos no reciben este tipo de Ondas Sísmicas, se muestran haciendo “clic” sobre los diferentes botones que aparecen en la parte inferior de la pantalla.

Una vez descargada la aplicación en el dispositivo, se accede a ella pulsando con un dedo sobre el icono de la misma situado en la carpeta de descargas correspondiente, seleccionada previamente en el dispositivo.

Asimismo, al inicio de la aplicación se muestran las instrucciones paso a paso, para la utilización de *SeismicAR*® (Figura 24):

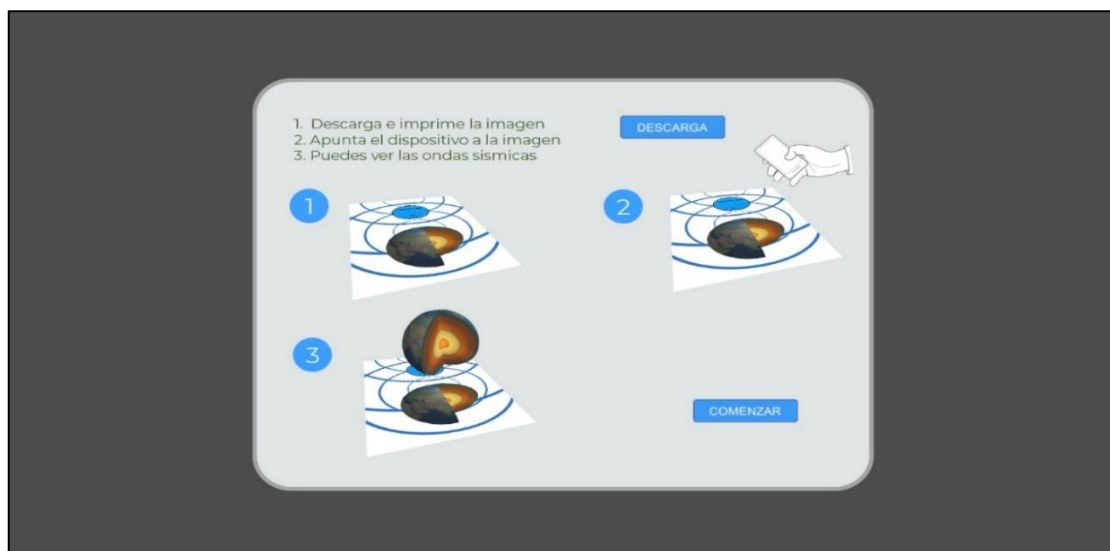


Figura 24. Instrucciones de Inicio de la aplicación *SeismicAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez leídas las instrucciones de uso, se hace “clic” sobre el botón COMENZAR, para activar la cámara del dispositivo móvil. La representación tridimensional de las capas terrestres se activa al apuntar con la cámara directamente al marcador (Figura 25).



Figura 25. Imagen tridimensional proyectada, en Realidad Aumentada, sobre el marcador de La Tierra, activada con el dispositivo móvil y la aplicación *SeismicAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Haciendo “clic” sobre el botón izquierdo, situado en la parte inferior izquierda de la pantalla, la aplicación mostrará la trayectoria y velocidad de las Ondas Sísmicas P, así como un texto con una descripción detallada de las mismas en la parte superior de la pantalla (Figura 26).

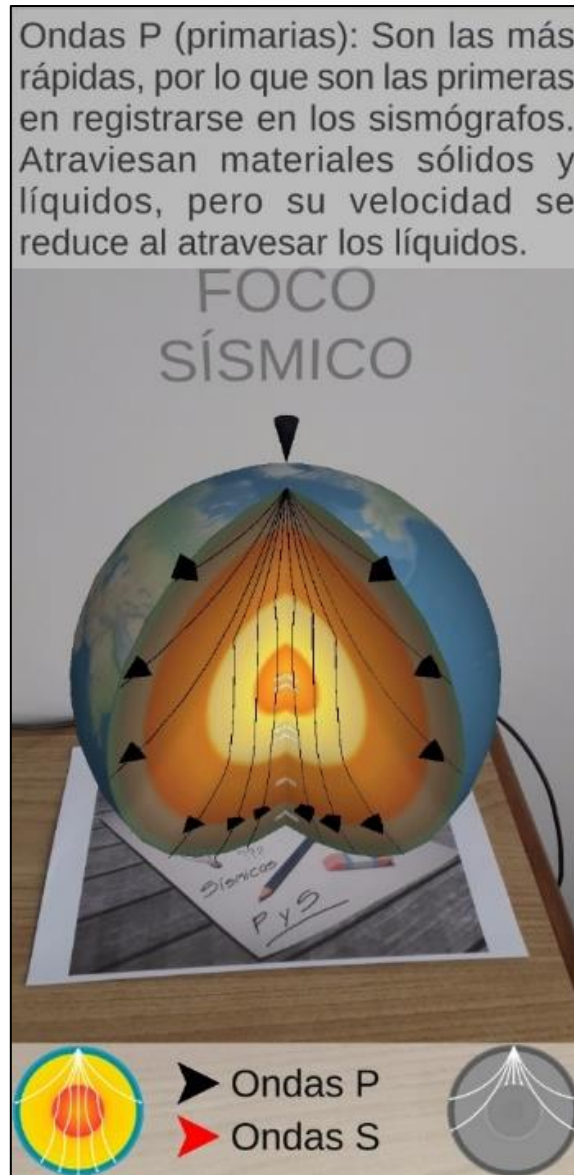


Figura 26. Información ofrecida sobre las trayectorias y velocidades de propagación de las Ondas Sísmicas P en la aplicación *SeismicAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Haciendo “clic” sobre el botón derecho situado en la parte inferior izquierda de la pantalla, la aplicación mostrará la trayectoria y velocidad de las Ondas Sísmicas S, así

como un texto con una descripción detallada de las mismas en la parte superior de la pantalla (Figura 27).



Figura 27. Información ofrecida sobre las trayectorias y velocidades de propagación de las Ondas Sísmicas S, en la aplicación *SeismicAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Haciendo “clic” sobre los dos botones situados en la parte inferior de la pantalla, la aplicación mostrará las trayectorias, velocidades y descripción de las Ondas Sísmicas P y S simultáneamente (Figura 28).



Figura 28. Información ofrecida para comparar las trayectorias y velocidades de propagación de las Ondas Sísmicas P y S, en la aplicación *SeismicAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

Haciendo “clic” con el dedo sobre el botón “Ondas P-Ondas S” situado en la parte inferior central de la pantalla, la aplicación mostrará en la parte central de la misma información completa tanto en forma de texto como gráficamente, sobre las zonas de sombra donde los sismógrafos no reciben Ondas Sísmicas P y S (Figura 29).



Figura 29. Información ofrecida sobre las zonas de sombra en la Corteza terrestre de las Ondas Sísmicas S, en la aplicación *SeismicAR*®.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2.- Selección de aplicaciones de RA

7.2.2.1.- *LandscapAR*

Se trata de una aplicación de RA creada por la compañía berlinesa *Weekend Labs UG*. Dicha compañía ofrece servicios de consultoría tecnológica y está especializada en la investigación y el desarrollo de soluciones innovadoras relacionadas con la RA principalmente. Por lo tanto, no se trata de una aplicación desarrollada específicamente para el estudio, sino que ha sido seleccionada para poder incluirla como instrumento en la investigación, ya que sus características y funcionalidad permiten la comprensión y visualización espacial de los siguientes conceptos:

- Estudio y representación del relieve topográfico.
- Comprensión de términos relacionados con la lectura e interpretación de mapas topográficos: curvas de nivel, equidistancia, escala y leyenda, principalmente.
- Realización e interpretación de perfiles topográficos.

LandscapAR, es una aplicación de Nivel 2 de RA que utiliza una imagen, marcador, activador o *trackable* que tiene la particularidad de que es el propio usuario el que lo crea. Para ello se utilizan curvas de nivel que una vez dibujadas sobre una página en blanco crearán un marcador que será interpretado por la aplicación para generar un modelo tridimensional 3D que representa el relieve dibujado en el plano en 2D, que en este caso es el propio marcador. Esto permite a los alumnos generar tantos modelos tridimensionales como deseen con sólo dibujarlos y utilizarlos como marcadores para que la aplicación los pueda interpretar. La aplicación permite también observar los detalles del modelo digital tridimensional generado, con la ayuda de la herramienta zoom que incorpora.

Está disponible para su descarga libre y su utilización por parte del público en general en *Google Play*, donde el usuario podrá encontrar además varias fotografías y un vídeo

tutorial que resumen las características principales para su manejo y funcionamiento. La aplicación puede instalarse en cualquier dispositivo móvil provisto de una cámara.

7.2.2.2.- División Mitótica 3D

Se trata de un recurso tecnológico educativo formado por una aplicación móvil de RA y una guía de actividades formativas complementarias creadas por el Laboratorio de Investigación e Innovación Tecnológica para la Educación en Ciencias de la Universidad de La Serena de Chile (LIITEC-ULS). Por lo tanto, no se trata de una aplicación desarrollada específicamente para el estudio, sino que se ha seleccionado para incluirla en la investigación, debido fundamentalmente a que sus características y funcionalidad permiten la comprensión y visualización espacial de los siguientes conceptos:

- Estudio de la división celular.
- Reconocimiento de las fases de la división mitótica (Interfase, Profase, Metafase, Anafase y Telofase), así como el establecimiento de su importancia genética.
- Permite además observar el proceso de Citocinesis o de fragmentación del citoplasma, así como la observación y análisis en detalle de un cromosoma.

División Mitótica 3D, es una aplicación de Nivel 2 de RA que utiliza una imagen, marcador, activador o *trackable* que se puede descargar directamente junto con la aplicación para su posterior impresión en papel.

La aplicación permite representar cada una de las fases de la división mitótica celular por separado, con la particularidad de que cada secuencia representada está animada, lo que mejora ostensiblemente su visualización y comprensión. La aplicación permite también observar los detalles del modelo digital tridimensional generado, con ayuda de la herramienta zoom que incorpora.

Está disponible para su descarga libre y utilización por parte del público en general tanto en *Google Play* como en *App Store*. El usuario también podrá descargarse el marcador que permite activar las diferentes escenas que componen la aplicación.

Tabla 5

Características Técnicas de las cuatro aplicaciones utilizadas en la investigación.

Características	Aplicaciones Desarrolladas				Aplicaciones Seleccionadas			
	<i>Cellular</i> ®		<i>SeismicAR</i> ®		<i>LandscapAR</i>		<i>División Mitótica 3D</i>	
Técnicas	Android 6.0	iOS 8.0	Android 5.0	iOS 11.0	Android 2.3	-	Android 4.4	iOS 7.0
Compatibilidad	Android 6.0	iOS 8.0	Android 5.0	iOS 11.0	Android 2.3	-	Android 4.4	iOS 7.0
Versión	1.2	1.1	1.2	1.1	1.5	-	1.2.4	-
Tamaño	91 MB	200,1 MB	43 MB	80,1 MB	2,5 MB	-	60 MB	162 MB
Ubicación	<i>Google Play</i>	<i>App Store</i>	<i>Google Play</i>	<i>App Store</i>	<i>Google Play</i>	<i>App Store</i>	<i>Google Play</i>	<i>App Store</i>
Disponibilidad	Disponible	Disponible	Disponible	Disponible	Disponible	No Disponible	Disponible	Disponible
Marca Registrada	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Desarrollador	MD.USE Innovative Solutions, S.L		Aumentaty, S.L.		Weekend Labs UG.		LITEC-ULS Universidad de La Serena	

Fuente: Elaboración propia.

7.2.3.- Evaluación Técnica

Con el objetivo principal de lograr la plena funcionalidad de las aplicaciones creadas y seleccionadas desde un punto de vista técnico, y poder garantizar la calidad de las mismas, se han sometido las mismas a un proceso de evaluación doble: una evaluación técnica, seguida de una evaluación didáctica (Barroso y Cabero, 2017).

En el caso de las dos aplicaciones creadas a medida para el estudio: *Cellular*® y *SeismicAR*®, el proceso de evaluación técnica, en realidad, se efectuó durante toda la fase de desarrollo de las dos aplicaciones creadas. Para ello se comprobaron: aspectos concretos relativos al funcionamiento e interacción con los objetos virtuales generados, optimización de los modos de visualización y secuenciación entre escenas, accesibilidad a la información digital o la facilidad de navegación. Este procedimiento permitió efectuar las correcciones y los ajustes necesarios en tiempo real. Finalmente, se generó una versión inicial de prueba en formato “.apk” para poder testear todas las

funcionalidades previstas en la fase de diseño y se instaló en varios equipos para la comprobación de su correcto funcionamiento. Esta versión de prueba no fue publicada en esta etapa, sino que se alojó en un servidor web privado.

En cuanto a las dos aplicaciones seleccionadas para el estudio, que ya estaban desarrolladas por terceros y disponibles de manera gratuita: *División Mitótica 3D* y *LandscapAR*, el proceso de evaluación técnica efectuado fue más sencillo que en el caso de las dos aplicaciones que se desarrollaron “*ad hoc*”. Una vez analizadas las descripciones técnicas en las webs de sus respectivos desarrolladores, se procedió a descargarlos directamente en varios equipos para su testeo, comprobando aspectos esenciales relativos al modo y la facilidad de navegación, la secuenciación entre escenas y en definitiva a su correcto funcionamiento técnico general.

7.2.4.- Evaluación Didáctica. Estudio Piloto

Una vez efectuados los ajustes necesarios y finalizada la evaluación técnica tanto de las dos aplicaciones desarrolladas específicamente para el estudio (*Cellular*[®] y *SeismicAR*[®]), como de las dos aplicaciones que se seleccionaron adicionalmente (*División Mitótica 3D* y *LandscapAR*), se procedió a efectuar un tipo de evaluación complementaria a la evaluación técnica: la evaluación didáctica. Todas las aplicaciones fueron propuestas como recursos digitales para la explicación de conceptos clave de la asignatura.

Mediante el proceso de evaluación didáctica de las cuatro aplicaciones, se pretendió conocer la opinión y valoración de los usuarios finales de estos recursos digitales, para garantizar su fiabilidad y validez. Los propios estudiantes, usuarios finales, dieron su opinión y valoración sobre diversos aspectos concretos relacionados con las citadas aplicaciones. El proceso de evaluación didáctica se efectuó a través de un Estudio Piloto, cuya descripción y características principales se describen en los siguientes apartados de manera pormenorizada.

Una vez seleccionado el grupo de alumnos participantes, se procedió a realizar el estudio piloto, siguiendo el procedimiento metodológico descrito en el Capítulo VI.

7.2.4.1.- Diseño del Instrumento

Para poder conocer la opinión de los estudiantes se les pidió que evaluaran las cuatro aplicaciones de RA que se habían diseñado para la investigación. Para ello, se les preguntó sobre una serie de cuestiones relacionadas con las citadas aplicaciones. El instrumento que se utilizó para poder obtener la información fue un cuestionario administrado en formato papel y dividido en dos partes. En la primera parte del cuestionario, se preguntó a los alumnos sobre cuestiones generales como: su sexo y edad, si estaban repitiendo curso, si conocían la RA y si habían utilizado alguna aplicación de RA con anterioridad. Para ello se formularon preguntas cerradas con respuestas dicotómicas. También se les preguntaron los motivos por los que, en su opinión, pensaban que el uso de las aplicaciones de RA con las que habían interactuado durante las dos sesiones del estudio piloto podía ser útil. Para ello se utilizaron respuestas con múltiples opciones. En la segunda parte del cuestionario, se les preguntó por su opinión relativa a los aspectos técnicos y estéticos, y a la facilidad percibida en el uso de cada una de las aplicaciones.

Esta parte del cuestionario estaba conformada por 10 ítems. Cuatro de ellos pertenecientes a la dimensión "*Aspectos Técnicos y Estéticos*" y los otros seis pertenecientes a la dimensión "*Facilidad de Utilización*". Se utilizó una escala tipo Likert configurada con seis niveles de respuesta: 1 (Muy negativo/Muy en desacuerdo); 2 (Negativo/En desacuerdo); 3 (Regular negativo/Moderadamente en desacuerdo); 4 (Regular Positivo/ Moderadamente de acuerdo); 5 (Positivo/de acuerdo) y 6 (Muy positivo/Muy de acuerdo).

El cuestionario completo podía ser respondido en un tiempo máximo comprendido entre los 10-15 minutos. Así se evitaba el riesgo de que los estudiantes se cansaran y no respondieran adecuadamente a las preguntas planteadas, lo que supondría un sesgo importante en los datos obtenidos para el estudio. En el Anexo 2, se han incluido las cuatro versiones del cuestionario original adaptadas para cada una de las cuatro aplicaciones (*Cellular®*, *División Mitótica 3D*, *LandscapAR* y *SeismicAR®*), testeadas durante la realización del estudio piloto.

7.2.4.2.- Validación del instrumento

Se preguntó a los estudiantes su opinión relativa tanto a los aspectos técnicos y estéticos, como a la facilidad de utilización que habían percibido respecto a cada una de las cuatro aplicaciones que habían testeado previamente en el aula de manera individual. Para ello se utilizó como referencia, la estructura básica de un cuestionario elaborado para el desarrollo de investigaciones previas relativas a la evaluación de recursos educativos y formativos virtuales (Cabero-Almenara, Llorente-Cejudo y Gutiérrez-Castillo, 2017). Se trata de un cuestionario ya validado previamente para la realización de las citadas investigaciones. Según autores como Sáez (2017), su validez de contenido está garantizada ya que, previamente ha sido utilizado y validado en otros estudios relativos a la creación y evaluación de recursos tecnológicos educativos basados en tecnología de RA.

7.3.- Estudio de Rendimiento

7.3.1.- Diseño del Instrumento

El instrumento que se ha diseñado en el estudio para determinar el rendimiento de los estudiantes consiste en un test objetivo elaborado “*ad hoc*” en función de las necesidades específicas del nivel educativo y de la asignatura en concreto (Cortada, 1999; Sáez, 2017). La finalidad de este instrumento es poder evaluar los conocimientos adquiridos por los alumnos en función de los objetivos determinados en el currículo de la asignatura, sobre los contenidos impartidos relacionados con los conceptos clave seleccionados previamente para la realización del estudio.

Se trata de un test de elección múltiple compuesto por 10 ítems, cada uno de los cuales consta de cuatro opciones de respuesta, de la que sólo una es correcta. Teniendo en cuenta que algunos expertos educativos como Muñiz (1999), consideran que los ítems con dos o tres posibilidades de respuesta ofrecen una fiabilidad tan buena o incluso a veces mejor que los que constan de cuatro o más. Finalmente se optó por un diseño formado por cuatro respuestas por ítem y 10 ítems en total, para intentar

asemejar en la medida de lo posible la estructura de la prueba a las que habitualmente utilizan los profesores que participan en la investigación en sus clases. De las cuatro posibles respuestas, sólo una era correcta y el alumno tenía la posibilidad de rectificación antes de efectuar la entrega. Las respuestas incorrectas no penalizaban en la puntuación global. Se procuró que, en la medida de lo posible, las respuestas correspondientes a un mismo ítem fueran lo más parecidas posibles entre sí, tanto en grado de dificultad, como en longitud y en número de caracteres. Además, todas las pruebas diseñadas tenían un esquema similar en cuanto a dificultad, de manera que, de los 10 ítems, cinco de ellos presentaban una dificultad baja o media y los otros cinco presentaban una dificultad mayor. Se quiere destacar también que todos los ítems se diseñaron en base a los niveles del dominio cognitivo, conocimiento y comprensión en el marco de la Taxonomía de Bloom (Bloom, 1956).

El tiempo máximo programado para completar la prueba fue de 20 minutos, por lo que los alumnos disponían de aproximadamente dos minutos para responder a cada uno de los ítems. Se diseñó una prueba para cada concepto clave, por lo que, en total los docentes pudieron seleccionar entre cuatro pruebas de rendimiento diferentes en función del concepto elegido previamente.

Cada una de las cuatro pruebas de rendimiento diseñadas en papel (Véanse Anexos 6, 8, 10 y 12), destinadas a ser utilizadas por los grupos de control, fueron diseñadas también en formato digital como *eCuestionarios* (Véanse Anexos 7, 9, 11 y 13), destinados a los grupos experimentales, según la Tabla 6. Las versiones digitales de los cuestionarios se elaboraron *online* y se tratan de versiones adaptadas a la metodología educativa empleada en el estudio ya que, las versiones digitales, a menudo son más versátiles y eficaces que las versiones clásicas en formato papel (Cebrián y Monedero, 2016). Para su elaboración, se utilizó la herramienta *Encuestas y Formularios de Google*, ya que permite lo siguiente: su administración a distancia; el control automático del tiempo para su realización; la corrección automática de la misma indicando al alumno los errores cometidos y la nota total obtenida en el ejercicio; la recopilación de los datos

y de los resultados en tiempo real y la realización de algunos análisis estadísticos básicos de manera automática con los datos aportados.

Tabla 6

Pruebas objetivas de rendimiento en función del concepto clave impartido en clase

Conceptos Clave Representados	Prueba Rendimiento Clásica (Examen papel)	Prueba Rendimiento Digital Adaptada (eCuestionario)
Representación del relieve topográfico (curvas de nivel)	1	1
Estructura interna de la Tierra (ondas sísmicas)	1	1
Célula Eucariota (animal y vegetal)	1	1
División Celular (etapas)	1	1
TOTAL	4	4

Fuente: Elaboración Propia.

7.3.2.- Validación del Instrumento

La información obtenida con las pruebas de rendimiento solamente será válida si las técnicas y los instrumentos diseñados son precisos, ya que la validez se entiende como el grado en que una prueba o ítem mide lo que pretende medir, es decir, la pertinencia entre la información recogida y los instrumentos utilizados. Por lo tanto, la característica principal que garantiza la calidad de la información y la objetividad del proceso es la validez del instrumento diseñado para efectuar la medición (Sáez, 2017). Para poder determinar la validez de contenido, se envió un borrador de cada una de las cuatro pruebas de rendimiento diseñadas a un grupo de doce expertos en educación, para su revisión, análisis y valoración. El grupo de expertos estaba compuesto por ocho profesores de Educación Secundaria Obligatoria y cuatro profesores universitarios expertos en diseño de instrumentos, ocho de ellos con título de Licenciatura o Máster y cuatro con título de Doctor. De los doce expertos, ocho eran mujeres (67%) y cuatro

hombres (33%), todos ellos con experiencia docente y edades comprendidas entre los 32 y 64 años. Además, el 50% de los expertos participantes impartían o habían impartido clase en la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria.

Para poder seleccionar a los expertos adecuadamente, se realizó un biograma de cada uno de ellos para asegurarse de que sus especialidades eran o habían sido la impartición de docencia en la asignatura de Biología y Geología en cuarto curso de la ESO, o el diseño de instrumentos relacionados con la investigación educativa. También se efectuó un estudio de diagnóstico y evaluación de la experiencia de cada uno de ellos para poder determinar su nivel de competencia experta. Para ello, se utilizó el “Coeficiente de Competencia Experta” o “Coeficiente K”, que está siendo utilizado cada vez con más frecuencia en la investigación en diversos campos, entre ellos en la educación (Cabero y Barroso, 2013; López-Gómez, 2018).

Cada uno de los expertos, fue informado previamente sobre la contextualización y el objetivo de la prueba. Todos ellos recibieron un instrumento de validación digital creado con la herramienta *Google Forms* que contenía un breve cuestionario con información general relativa a su formación académica, especialidad educativa y edad. También contenía un documento con una copia de las cuatro pruebas originales, editable en formato *Word* para su revisión y corrección de cada uno de los ítems con sus respectivas respuestas, así como un apartado conformado con preguntas abiertas para que pudiesen añadir sus observaciones y comentarios adicionales (Véase Anexo 3).

El Coeficiente de Competencia Experta (K), está formado por la semisuma de índices parciales que se utilizan para medir el Nivel de Conocimiento y determinar el Peso de las fuentes de argumentación de cada uno de los expertos que han sido planteados inicialmente para su posible participación en el proceso de validación y se les realizó una serie de preguntas previamente.

Para determinar el Coeficiente de Competencia Experta o Coeficiente K, se ha utilizado la siguiente relación matemática:

$$K = \frac{1}{2} (K_c + K_a)$$

Siendo:

K_c = “Coeficiente de Competencia Experta”.

K_c = “Coeficiente de Conocimiento”, o información del experto sobre el problema de estudio. Para calcularlo, fue necesario que el experto valorase en una escala de 0 a 10 el nivel de información que consideraba que poseía sobre el problema de estudio. Cada una de las valoraciones efectuadas por el experto, se ajustaron para conseguir cierta normalización multiplicándolas por el coeficiente 0,1, como valor constante.

K_a = “Coeficiente de Argumentación” o de fundamentación de los criterios establecidos por los propios expertos, a través de una autoevaluación. Para su determinación, cada experto señaló cuáles eran sus principales fuentes de argumentación y en función de cada fuente seleccionada se asignó una puntuación basada en constantes numéricas tabuladas previamente según la Tabla 7. (Cabero y Barroso, 2013; Cruz-Ramírez y Martínez-Cepena, 2020).

Tabla 7

Coeficientes de argumentación (K_a), otorgados en función de las respuestas de los expertos

Fuente de argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes en sus criterios		
	A (alto)	M (medio)	B (bajo)
Análisis teóricos realizados por el experto	0,3	0,2	0,1
Experiencia obtenida	0,5	0,4	0,2
Estudios de trabajos sobre el tema, de autores españoles	0,05	0,05	0,05
Estudios de trabajos sobre el tema, de autores extranjeros	0,05	0,05	0,05
Conocimiento propio a cerca del estado del problema en el extranjero	0,05	0,05	0,05
Intuición del experto	0,05	0,05	0,05
Σ	1	0,8	0,5

Fuente: Cabero y Barroso (2013).

Los valores finales obtenidos para $K < 0,8$, corresponderán a expertos con una influencia media o baja en todas las fuentes, por lo que no han sido tenidos en cuenta y han sido rechazados en la investigación (Cabero y Barroso, 2013).

Para poder determinar el Coeficiente de Competencia Experta en el estudio, con los criterios detallados anteriormente, se efectuaron dos preguntas concretas al grupo de expertos:

La primera pregunta, efectuada para poder determinar el Coeficiente de Conocimiento, se refería al nivel y al grado de conocimiento con el que cada experto se auto valora en una escala tipo Likert comprendida del 0 al 10. En dicha escala el “0” significa desconocimiento absoluto de la cuestión evaluada y el “10” indica conocimiento pleno relativo a las siguientes cuestiones: Tipos celulares y célula eucariota; división celular; representación del terreno y mapas topográficos y estructura interna de La Tierra. Las puntuaciones obtenidas, indican que en general, los expertos participantes consideran que poseen un nivel de información aceptable respecto a la cuestión que plantea el estudio. Ya que el conjunto de los 12 expertos que un principio participaron en la investigación obtuvo una puntuación media de 6,50 a la que corresponde una desviación típica de 2,75.

La segunda pregunta, efectuada para poder determinar el Coeficiente de Argumentación, trataba de que los expertos valorasen el grado de influencia ejercido por las fuentes consultadas sobre: tipos celulares y célula eucariota; división celular; representación del terreno y mapas topográficos, y el estudio de la estructura interna de La Tierra.

Una vez se analizaron las respuestas de los expertos a las dos cuestiones planteadas y considerado el criterio de descartar a los expertos cuyo Coeficiente de Competencia Experta (K) fuese inferior a 0,80, finalmente se consideró la opinión de seis de los 12 expertos (Tabla 8).

La opinión de todos ellos, una vez analizadas sus respuestas sobre la revisión que habían efectuado a las cuatro pruebas de rendimiento, mostró una elevada relevancia

de todos los ítems propuestos. Las correcciones y los cambios que indicaron fueron básicamente relativos a aspectos ortográficos y gramaticales. Así como también algunos cambios sutiles en la redacción de algunos ítems con el objetivo de mejorar su concreción, su claridad, comprensión y representatividad. De esta manera, los cuatro instrumentos incluyeron finalmente los ítems y sus posibles respuestas respectivas que se muestran en los Anexos 6 a 12, respectivamente.

Tabla 8

Valores del Coeficiente de competencia (K), obtenidos para cada uno de los expertos. Rendimiento

Experto	Coeficiente de conocimiento (Kc)	Coeficiente de argumentación (Ka)	Coeficiente de competencia experta (K)
1	0,70	0,80	0,75
2	0,50	0,50	0,50
3	0,70	0,90	0,80
4	1,00	0,80	0,90
5	0,50	0,80	0,65
6	1,00	1,00	1,00
7	0,40	0,50	0,45
8	0,20	0,60	0,40
9	0,90	0,70	0,80
10	0,80	0,80	0,80
11	0,20	0,50	0,35
12	0,90	0,90	0,90

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio de rendimiento.

7.4.- Estudio Actitudinal

Además de los datos obtenidos a través del estudio de rendimiento, se quería conocer también la opinión de los estudiantes participantes en dicho estudio, pertenecientes a grupos de control, sobre aspectos concretos relacionados con la metodología y tecnología utilizada en el aula. Para ello, se diseñó un instrumento basado en un

cuestionario “*ad hoc*” relacionando las variables, con los objetivos y con los constructos de la investigación, buscando la relevancia de las preguntas o ítems en relación con dichos objetivos. El instrumento se denominó “Cuestionario para la medida del grado de aceptación, motivación y comprensión de conceptos clave generados en los estudiantes por el uso de una metodología basada en tecnología de Realidad Aumentada y en un sistema de evaluación adaptado”.

7.4.1.- Diseño del Instrumento

El instrumento se diseñó a medida para poder integrarlo en el proceso de investigación. Se basa en una adaptación que se efectuó de otros dos 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 elementos tecnológicos en entornos y contextos educativos.

En concreto, para poder medir el grado de aceptación de la tecnología por parte de los estudiantes respecto al uso de una metodología 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 tomó como referencia el denominado “Modelo de Aceptación de la Tecnología” o *Technology Acceptance Model (TAM)*. Dicho modelo, propuesto por Davis (1989), actualmente sigue utilizándose en diversas investigaciones en el marco de la aplicabilidad de la tecnología educativa, (Cabrero, Barroso y Gallego, 2018). El modelo *TAM*, se basa en dos premisas fundamentales que explican el grado de aceptación o de rechazo respecto a la tecnología por parte de los individuos en general. Estas dos premisas son las siguientes:

- Por una parte, los individuos, utilizarán o rechazarán el uso de una aplicación en función de si perciben y consideran que ese recurso en concreto les puede permitir ejercer mejor sus tareas y obtener un mayor rendimiento con su utilización.

- Por otra parte, aun considerando que la aplicación sea percibida como útil, su aceptación o rechazo para utilizarla dependerá también de la cantidad de esfuerzo que tengan que efectuar para poder utilizarla.

En definitiva, 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 en el desempeño de la tarea efectuada. De la misma manera que muchos sistemas han intentado motivar a los docentes a través de diversos tipos de incentivos, como ya se ha visto en la fundamentación teórica,

En el instrumento, la dimensión Grado de Aceptación de la tecnología, está compuesta a su vez por dos indicadores:

- Utilidad percibida.
- Facilidad de uso percibida.

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).

El nivel de aceptación de la tecnología está siendo estudiado por diversos autores en diferentes contextos educativos durante los últimos años. La inclusión del estudio relativo a la aceptación de la tecnología basada en la RA en esta investigación está justificada teniendo en cuenta que algunas investigaciones recientes, como las efectuados por Scherer, Siddiq y Tondeur (2020) señalan la importancia de no dar por senada la aceptación de la tecnología de manera generalizada. Estos autores, argumentan la necesidad de valorar el nivel de aceptación de la tecnología en cada estudio y comprobar la existencia de vínculos positivos entre la intención de utilizarla y el uso real que se hace de la misma, ya que esto no siempre ocurre. Aunque estos estudios se han centrado en el nivel de aceptación de la tecnología por parte de los docentes, estos hallazgos justifican la conveniencia de analizarlo también en el caso de los estudiantes.

Para poder 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 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 se adapta y se aplica a el caso concreto de estudio, basado en tecnología de RA, en el ámbito específico de la Educación Secundaria.

En el instrumento, la dimensión Nivel de Motivación generado en los estudiantes, pretende obtener información a través de cuatro indicadores:

- Atención.
- Relevancia.
- Confianza.
- Satisfacción.

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 denominamos inicialmente con el nombre de Grado de Comprensión. Dicha 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 estaba conformado por un total de tres dimensiones, con siete indicadores y 35 ítems, a los que se añadieron las siguientes variables categóricas de los estudiantes:

- Sexo.
- Edad.
- Alumno con Necesidades Educativas Especiales (ANEE).
- Nombre y tipo de centro educativo (público o concertado).
- Ubicación geográfica del centro educativo.
- Experiencia en el uso de recursos de RA.
- Uso habitual de tecnología no inmersiva en el aula.
- Uso habitual de tecnología basada en RA en el aula.
- Uso habitual de sistema de evaluación adaptado.

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:

- El contexto y la población. La muestra, pertenecía a una población de estudiantes de cuarto curso de ESO. Por lo que se adaptó el lenguaje para formular las preguntas al rango de edad y nivel educativo de los estudiantes, utilizando oraciones claras y sencillas.
- Para tratar de no influir en las respuestas dadas por los estudiantes, se redactaron los ítems con un lenguaje neutro.
- Todos los ítems, los formulamos en positivo.
- Se evitó la ambigüedad y la repetición de los mismos.
- Se incluyeron dos ítems inversos, desde el punto de vista de la puntuación de la escala utilizada.
- Se redactaron todos los ítems con oraciones enunciativas, nunca interrogativas.

- El conjunto de ítems, mantienen una estructura interna que deriva de la fundamentación teórica de la investigación.
- En la redacción de los enunciados de los ítems, se intentó evitar la utilización de adverbios de tiempo, de cantidad y de frecuencia.

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.

Respecto al número impar de posibles respuestas ofrecidas, y teniendo en cuenta el número de ítems totales que conformaban el cuestionario, se optó por incluir una respuesta central. De manera que, los alumnos que tuvieran alguna indecisión en su respuesta no se sintieran obligados a tener que decidir si le concedían un valor positivo

o negativo al ítem, con la consiguiente distracción y pérdida de tiempo que ello conlleva, lo que implicaría que muy probablemente se terminasen cansando y respondiendo de manera rápida o descuidada al resto de preguntas, lo que supondría un importante sesgo en los datos obtenidos. Por este motivo, de acuerdo con los profesores consultados, se consideró también la necesidad de establecer un tiempo máximo para la cumplimentación del cuestionario de 20 minutos, tiempo suficiente para que los alumnos pudieran responder con calma al conjunto de preguntas planteadas.

En cuanto al contenido y la presentación del mismo, con el objetivo de facilitar su cumplimentación por parte de los estudiantes, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se dividió el cuestionario en tres secciones diferentes:
 - Sección 1: Instrucciones para cumplimentar el cuestionario y aviso sobre el tratamiento y protección de datos de carácter personal. En esta sección, se procuró que la redacción de las instrucciones fuese breve, clara y sencilla, adecuando el lenguaje utilizado al nivel educativo y al rango de edad de los estudiantes.
 - Sección 2: Datos generales del estudiante. Como posibilidades de respuesta a las preguntas planteadas, se combinaron respuestas dicotómicas con respuestas de selección múltiple, evitando en todo caso la posibilidad de respuestas abiertas.
 - Sección 3: Preguntas. Se redactaron los ítems siguiendo los criterios descritos anteriormente, y se enumeraron para su correcta identificación y análisis posterior.
- Se diseñó el cuestionario con ayuda de la herramienta informática Google Forms y se envió el enlace o *link* a los profesores a través del correo electrónico.
- Se cuidó la presentación del mismo, seleccionando una combinación de imágenes, colores y formatos que resultasen atractivos a los estudiantes, teniendo en cuenta su nivel educativo y rango de edad.

- En cuanto al modo de administración, cada uno de los profesores envió a su grupo de alumnos la *URL* con el *link* del cuestionario a las correspondientes direcciones de correo electrónico de sus alumnos. Para que, en el momento concreto de efectuar la prueba, éstos pudieran acceder al mismo y cumplimentarlo bajo supervisión de su profesor en el tiempo establecido.

7.4.2.- Validación del Instrumento

El concepto de validez se entiende como el nivel en el que una prueba o sus ítems, miden lo que se desea que midan. Es decir, en el contexto concreto, la validez de un instrumento se refiere al grado de idoneidad para poder medir y recoger correctamente los datos para los que ha sido diseñado. En este sentido, la validez de contenido determina el grado en el que un conjunto de ítems de un cuestionario, se corresponden con las variables intervinientes en el estudio concreto (Sáez, 2017). En el caso concreto, 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 otro lado, 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, todos ellos con titulación académica de Doctor, con especialidades en diferentes áreas. A todos ellos, se les envió por correo electrónico una carta de presentación. En dicha carta se les explicaron los principales objetivos de la investigación y se les adjuntó un borrador con los 26 ítems que inicialmente conformaban el cuestionario actitudinal y su relación con los correspondientes indicadores y dimensiones respectivamente (Tabla 9). Además, se incluyó el enlace o *link* a un instrumento de validación que se creó con la herramienta *Google Forms*, para que pudiera ser completada por los expertos de manera ágil y

sencilla desde cualquier dispositivo informático, de manera que, facilitase el posterior tratamiento informático de los datos aportados por ellos para su análisis.

Tabla 9

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

Fuente: Elaboración propia.

El instrumento para la validación del cuestionario actitudinal que se envió a los expertos se trataba de un formulario que se denominó: *“Opinión de Expertos. Cuestionario actitudinal”* y se estructuró en dos secciones diferenciadas:

En la primera sección, se incluyeron unas breves instrucciones para la correcta cumplimentación del mismo por parte de los expertos, seguidas de los enunciados de los 26 ítems. Cada juez, tenía que valorar, para cada ítem propuesto, la relevancia, nivel de significatividad, importancia o pertinencia del ítem concreto, en relación con su dimensión correspondiente y con los objetivos del estudio respectivamente. Además, tenían que valorar también la claridad y adecuación del lenguaje utilizado en la redacción a los mismos, teniendo en cuenta el nivel educativo de los alumnos a los que posteriormente se administraría el cuestionario actitudinal.

Las valoraciones que cada experto debía realizar sobre cada uno de los ítems se efectuaron utilizando una escala tipo Likert, numerada de 1 a 5 donde: 1=Ninguna/Nada y 5=Mucha/Bastante.

Además, se incluyeron también dos preguntas abiertas, de manera que cada experto pudiera indicar su opinión sobre la conveniencia de modificar, añadir o eliminar alguno de los ítems propuestos inicialmente.

En la segunda sección del formulario, se pidió a los expertos que indicasen su grado de conocimiento sobre el tema. También se les pidió que efectuasen una autovaloración de su formación y de cuestiones relacionadas con su experiencia en el diseño, la elaboración y el análisis de test y cuestionarios actitudinales, así como otras preguntas genéricas sobre su especialidad formativa. Todo ello, con el objetivo de poder determinar su nivel de competencia experta.

El instrumento de valoración enviado a los expertos puede consultarse en el Anexo 15. La versión inicial del cuestionario conformado por 26 ítems, que se envió a los jueces expertos para su análisis, puede consultarse en el Anexo 14.

Para 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”. Siguiendo en este sentido, un procedimiento similar al que previamente se había utilizado para la selección de expertos durante la fase del estudio de rendimiento, basado en la determinación del Nivel de Conocimiento y del Peso de cada una de las fuentes de argumentación de cada uno de los jueces seleccionados inicialmente. El Coeficiente de Competencia Experta o Coeficiente K, se puede calcular numéricamente a partir de la siguiente fórmula matemática:

$$K = \frac{1}{2} (K_c + k_a)$$

Donde:

K= Corresponde al “Coeficiente de Competencia Experta” que se quiere calcular, para cada uno de los jueces participantes en esta etapa del estudio.

K_c= Corresponde al “Coeficiente de Conocimiento”, que cada uno de los jueces posee sobre la cuestión planteada en el estudio. Para su determinación, cada uno de los jueces participantes tenía que valorar el nivel de información que consideraba que tenía sobre aspectos concretos relacionados con el problema de estudio, valorándose en una escala

comprendida de 0 a 10. Para normalizar las valoraciones efectuadas por cada uno de los jueces, se utilizó como factor de conversión 0,1 como constante.

K_a = Corresponde al “Coeficiente de Argumentación”, o coeficiente de fundamentación, que se puede calcular sobre los criterios establecidos a partir de una autoevaluación efectuada por los propios jueces. Para ello, se pidió a los expertos que señalasen sus principales fuentes de argumentación, de manera que se pudiese asignar una puntuación determinada basada en valores de constantes numéricas pre establecidas y tabuladas según la Tabla 7, incluida en el apartado 7.3.2.

La primera pregunta efectuada con el objetivo de poder determinar el Coeficiente de Conocimiento (K_c), hacía mención al nivel y grado de conocimiento auto valorado por cada uno de los jueces en una escala comprendida entre 0 y 10. “0” significaba que el experto no posee ningún conocimiento y “10” supone que posee un conocimiento pleno sobre las siguientes cuestiones planteadas: psicometría, diseño, elaboración y análisis de test y cuestionarios actitudinales. Del análisis de las puntuaciones obtenidas se puede destacar que, en general, los expertos consideran que el nivel de información que poseen es elevado respecto a la pregunta planteada. Ya que el conjunto formado por los 10 expertos seleccionados inicialmente obtuvo una valoración media de 8,20 con un valor de desviación típica asociado de 0,87 lo que indica una alta homogeneidad en las puntuaciones obtenidas.

La segunda pregunta efectuada a los jueces, con el objetivo de determinar el Coeficiente de Argumentación (k_a), pretendía que los expertos respondiesen valorando el grado de influencia generado por las fuentes de conocimiento consultadas, relativas a cuestiones como: la psicometría, el diseño, la elaboración y el análisis de test y de cuestionarios actitudinales, como ya se ha comentado.

A nivel cuantitativo, una vez analizadas las respuestas enviadas por los expertos a las dos preguntas planteadas y teniendo en cuenta el criterio establecido por autores como Cabero y Barroso (2013), de descartar a los 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 10).

Tabla 10.

Valores del Coeficiente de competencia (K), obtenidos para cada uno de los expertos. Actitudinal

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

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Con el objetivo 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 actitudinal, desde un punto de vista cuantitativo, 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). Sin embargo, algunos autores como Penfield y Giacobbi (2004), señalan que el método tradicional de cálculo desarrollado por Aiken (1980), presenta algunas limitaciones relacionadas principalmente con la inadecuada asunción de normalidad en la distribución asintótica de la variable. Por lo que proponen otra versión de cálculo diferente, basada en el método *score* propuesto por (Wilson, 1927). Sin embargo, este procedimiento de cálculo es más complejo que el original e implica la posibilidad de cometer más errores (Merino y Livia, 2009). El procedimiento de evaluación de la validez de contenido por juicio de expertos a través de la utilización del coeficiente V de Aiken en su versión original, se justifica debido a su facilidad de cálculo

y a la posibilidad que ofrece este método para la valoración de los resultados mediante un proceso basado en la estadística que garantiza su objetividad (Escrura, 1988).

En el caso de estudio, se ha decidido calcular el valor del coeficiente V de Aiken, teniendo en cuenta las valoraciones efectuadas por el grupo de jueces seleccionado previamente, respecto a un ítem. Aunque también se podría haber calculado considerando las valoraciones de un solo experto respecto al conjunto de ítems, ya que, en este sentido, el procedimiento de cálculo, permite las dos posibilidades.

El coeficiente de V de Aiken se puede calcular utilizando la siguiente relación matemática:

$$V = \frac{(\sum s_i)}{n \cdot [c - 1]}$$

Donde:

s_i = Representa el valor asignado por el juez i.

n = Representa el número de jueces expertos.

c = Representa el número de valores que conforman la escala de valoración del instrumento.

En cualquier caso, el valor obtenido para el coeficiente V de Aiken, deberá estar comprendido entre 0 y 1, de manera que cuanto más alto sea dicho valor, mayor validez de contenido tendrá el ítem al que corresponde. Siendo el 1 representativo del total acuerdo entre los jueces en referencia a la puntuación más alta de validez de los contenidos evaluados, existiendo por lo tanto una relación de proporcionalidad entre ambos (Sáez, 2017).

En el caso concreto, como ya se ha argumentado anteriormente, el número de jueces considerado después de aplicar el Coeficiente de Competencia Experta (k) y de descartar a uno de ellos a través del procedimiento descrito, fue de nueve expertos.

Para el cálculo del coeficiente de V de Aiken las valoraciones asignadas por los expertos se pueden ser politómicas, con valores de 0 a 5 (Escrura, 1988). Sin embargo, la escala del formulario que se envió a los expertos estaba conformada por cinco valores (de 1 a 5). Por lo que, para poder realizar los cálculos necesarios, se tuvo que efectuar

un cambio de escala y reconvertir las puntuaciones obtenidas de cada uno de los jueces, para adaptarlas a la nueva escala de trabajo compuesta por seis valores.

Posteriormente, se calculó el valor del coeficiente de Aiken (K), en función de las respuestas de los jueces respecto a las preguntas planteadas. Por una parte, en cuanto a la pertinencia y relevancia de los ítems en relación con los objetivos del estudio y, por otra parte, en cuanto a la adecuación y claridad de los mismos en relación a la muestra, al lenguaje utilizado, a la facilidad o dificultad de comprensión, etc. De esta manera, se obtuvieron los valores mostrados específicamente en la Tabla 11, para cada uno de los casos concretos.

Hay que destacar en este punto, que uno de los nueve expertos participantes, no valoró ningún ítem en cuanto a la relevancia de los mismos. Así pues, para efectuar el cálculo y el análisis de la pertinencia y relevancia del conjunto de ítems, se consideraron las valoraciones cuantitativas efectuadas por ocho jueces.

El criterio utilizado para decidir si aceptar o rechazar un ítem concreto en función del coeficiente V de Aiken obtenido, depende del tipo de estudio. Sin embargo, se establece como norma general, la recomendación de aceptar como válidos solamente aquellos ítems que sean estadísticamente significativos a 0,05 (Escorra, 1988; Cardona, Bribiescas, Romero, y Corona, 2016). En este sentido, algunos autores como Penfield y Giacobbi (2004), señalan un valor mínimo aceptable para el coeficiente de V de Aiken durante las primeras fases del diseño del instrumento y cuando el número de jueces participantes es reducido, superior a $V = 0,5$ como valor mínimo para aceptar un ítem concreto. Mientras que otros autores como (Charter, 2003; Sáez-López, Ramón-González y Vázquez-Cano (2016); Sireci y Geisinger (1995), indican valores superiores, como mínimo $V = 0,7$ siendo adecuados en todo caso, valores por encima de $V = 0,8$ para el coeficiente V de Aiken. Siguiendo este criterio, en el caso de estudio, se optó por aceptar valores superiores en todo caso a $V = 0,7$ aplicando el método de cálculo propuesto inicialmente por Aiken (1980).

Tabla 11

Coefficientes V de Aiken obtenidos para cada uno de los 26 ítems del cuestionario inicial

Ítems	Pertinencia y Relevancia				Adecuación y Claridad			
	ΣS_i	n	c	V	ΣS_i	n	c	V
1	34	8	6	0,8	30	9	6	0,7
2	31	8	6	0,8	33	9	6	0,7
3	30	8	6	0,8	31	9	6	0,7
4	28	8	6	0,7	24	9	6	0,5
5	29	8	6	0,7	30	9	6	0,7
6	29	8	6	0,7	28	9	6	0,6
7	31	8	6	0,8	34	9	6	0,8
8	31	8	6	0,8	33	9	6	0,7
9	34	8	6	0,8	36	9	6	0,8
10	34	8	6	0,8	40	9	6	0,9
11	35	8	6	0,9	39	9	6	0,9
12	31	8	6	0,8	26	9	6	0,6
13	33	8	6	0,8	34	9	6	0,8
14	34	8	6	0,8	36	9	6	0,8
15	23	8	6	0,6	18	9	6	0,4
16	34	8	6	0,8	33	9	6	0,7
17	34	8	6	0,8	30	9	6	0,7
18	30	8	6	0,8	24	9	6	0,5
19	34	8	6	0,8	35	9	6	0,8
20	31	8	6	0,8	28	9	6	0,6
21	34	8	6	0,8	29	9	6	0,6
22	31	8	6	0,8	25	9	6	0,6
23	31	8	6	0,8	26	9	6	0,6
24	36	8	6	0,9	41	9	6	0,9
25	34	8	6	0,8	36	9	6	0,8
26	34	8	6	0,8	34	9	6	0,8

Fuente: Elaboración propia a partir de las respuestas ofrecidas por los expertos.

Del análisis cuantitativo de los valores obtenidos, se puede concluir que, en general, la pertinencia del conjunto de ítems propuestos es adecuada en la mayoría de los casos ya que, los valores obtenidos superan el valor mínimo recomendado de $V= 0,7$ para V de Aiken. No obstante, el ítem número 15 constituye una excepción, ya que corresponde con uno de los dos ítems inversos incluidos en el cuestionario inicial, y cuyo valor V de Aiken obtenido es de $V= 0,6$ ($<0,7$).

Por otra parte, se identifica un grupo de nueve ítems (4, 6, 12, 15, 18, 20, 21, 22, 23), cuya adecuación no es la correcta ya que, los valores obtenidos de V de Aiken no superan el valor mínimo considerado en el estudio ($V = 0,7$) según las valoraciones efectuadas por los expertos. De manera que se procedió a su revisión completa. Teniendo en cuenta también como fuente de información adicional los datos cualitativos aportados por los jueces, que permitieron triangular los resultados para determinar el problema, revisarlos y considerar la posibilidad de modificarlos o eliminarlos en el caso de que fuese necesario.

En este sentido, y con el fin de completar la información obtenida mediante el análisis cuantitativo de los valores aportados por los jueces, también se analizaron desde un punto de vista cualitativo, sus respuestas a dos preguntas abiertas. Estas preguntas les fueron efectuadas para que dieran su opinión acerca de la necesidad de modificar alguno de los ítems propuestos o de eliminar o añadir alguno de ellos.

Respecto a la primera pregunta formulada: *¿Considera que se debe modificar algún ítem?*, en resumen, se obtuvieron las siguientes respuestas y recomendaciones:

- La mayor parte de los ítems son relevantes.
- El texto de varios de los ítems es demasiado largo y complejo para evaluar con formato tipo Likert, por lo que sería aconsejable hacerlos más cortos y directos.
- Los ítems 4 y 5, no deben ser invertidos.
- El ítem 15 resulta confuso y difícil de entender.
- Se debe adaptar el texto, utilizando un lenguaje inclusivo.

Respecto a la pregunta planteada: *¿considera que se debería añadir o eliminar algún ítem?*, las respuestas obtenidas por parte de los expertos fueron las siguientes:

- La longitud de los ítems es correcta.
- Todos los ítems son correctos, pero se deberían añadir más preguntas para salvar el error de la redacción de las preguntas dobles.

Tabla 12*Dimensiones, indicadores e ítems del instrumento final*

Dimensiones	Indicadores	Ítems
Grado de Motivación	Atención	1-7
	Confianza	8-11
	Satisfacción	12-16
	Relevancia	17-21
Nivel de Aceptación de la Tecnología de RA	Utilidad Percibida	22-26
	Facilidad de Uso Percibida	27-30
Grado de Comprensión de conceptos clave	Facilidad Percibida para la comprensión de conceptos clave	31-35

Fuente: Elaboración propia a partir de las recomendaciones ofrecidas por el grupo de expertos.

Los resultados y las conclusiones obtenidas mediante el análisis cualitativo de las respuestas y las recomendaciones efectuadas por los expertos coinciden con los resultados del análisis cualitativo de los datos obtenidos por las valoraciones efectuadas por el conjunto de jueces. Así pues, se procedió a modificar el cuestionario actitudinal inicial, siguiendo las recomendaciones y los criterios establecidos por los expertos, obteniendo finalmente un cuestionario revisado y corregido, conformado por una estructura de tres dimensiones, siete indicadores y 35 ítems en total, como se muestra de manera resumida en la Tabla 12. El cuestionario actitudinal definitivo en formato papel, que incluye las correcciones propuestas por los expertos, puede consultarse en el Anexo 16. Igualmente, la versión digital definitiva del cuestionario actitudinal enviada online a los centros educativos, puede consultarse en el Anexo 17.

7.5.- Estudio para la determinación del nivel de formación del profesorado en tecnología educativa y en sistemas de evaluación adaptados

Con el fin de completar la información obtenida con los test de rendimiento realizados por los estudiantes, se quiso conocer también el grado concreto de formación de sus profesores en dos aspectos esenciales relacionados con los objetivos de la investigación.

Primero, en lo referente al uso de tecnología educativa en general (inmersiva, como no immersiva), y segundo, en lo referente al uso de sistemas de evaluación digitales adaptados. Para ello se decidió preguntar directamente a cada uno de los 16 docentes que habían participado en las diferentes etapas de la investigación, incluido el estudio piloto, sobre estos aspectos concretos relativos a su formación. Con este objetivo, se diseñó un instrumento basado en un cuestionario “*ad hoc*”, que denominamos “Cuestionario a Docentes de Educación Secundaria participantes en el Estudio”.

7.5.1.- Diseño del instrumento

En cuanto al diseño del instrumento, se tuvieron en cuenta diversas consideraciones:

En primer lugar, cabe destacar que, el instrumento seleccionado para preguntar a los docentes cuestiones relacionadas con su nivel formativo particular, se trata de un cuestionario estructurado en dos partes diferenciadas:

En la primera parte del cuestionario, se ofrecen unas breves instrucciones para su correcta cumplimentación, así como sobre la normativa legal vigente referente a la protección de datos de carácter personal.

La segunda parte del cuestionario estaba formada por tres ítems o preguntas cerradas, también denominadas de respuesta fija o precodificadas. Todas ellas con dos posibilidades de respuesta (Sí/No), excluyentes entre sí o dicotómicas (Sáez, 2017).

Las tres preguntas que inicialmente conformaban el cuestionario que, posteriormente se envió a expertos para su revisión, trataban sobre cuestiones relativas a su formación específica, al uso de recursos tecnológicos educativos y de sistemas de evaluación adaptados, fueron las siguientes:

- 1. Como docente, ¿ha realizado alguna vez, algún curso de formación relacionado con el uso de tecnología educativa No immersiva (uso de plataformas educativas como Classroom, utilización de pizarra digital, programas como PowerPoint, etc...)?

- 2. Como docente, ¿ha realizado alguna vez, algún curso de formación relacionado con tecnología educativa inmersiva, basada específicamente en RA?
- 3. Como docente, ¿ha realizado alguna vez, algún curso de formación relacionado con tecnología educativa inmersiva, basada específicamente en RA?

En segundo lugar, cabe destacar también que, una vez revisadas las preguntas por el grupo de expertos, posteriormente, se diseñó el cuestionario con ayuda de la herramienta informática *Google Forms*. El cuestionario final, se administró a los profesores participantes a través de su dirección de correo electrónico, enviándoles un *link* con la *URL* correspondiente. De manera que, lo pudieran cumplimentar desde cualquier dispositivo electrónico (equipo informático, o *smartphone*) y devolver posteriormente de manera ágil para su análisis.

7.5.2.- Validación del Instrumento

Para poder completar la validez de contenido, como se ha comentado anteriormente, se consultó a un grupo formado por tres expertos. Dos de ellos con experiencia en el área de metodología de la investigación y un tercero, experto en diferentes áreas relacionadas con la psicometría y la elaboración de instrumentos de medida.

La consulta se realizó a través de una entrevista estructurada. La entrevista, se efectuó a finales del mes de agosto de 2020 y debido al periodo vacacional no lectivo, a la situación excepcional de crisis sanitaria y al estado de alarma vigente en ese momento, se realizó de manera telemática a través de videoconferencia con los expertos. Se analizaron y valoraron tanto el número de preguntas, como su contenido y formulación. Previamente, a los expertos se les explicó que, la naturaleza del estudio es de índole cuantitativo ya se pretende definir la cualificación profesional de los docentes participantes en el mismo. También se les explicó que, el objetivo principal del mismo consiste en completar y triangular los datos obtenidos en los estudios de corte cualitativo efectuados en el marco de la investigación. Una vez, contextualizado el estudio y su objetivo, se analizaron tanto el número de preguntas planteadas, como la redacción de las mismas. Teniendo en cuenta que las investigaciones de corte cualitativo

trabajan con registros verbales, siguiendo las recomendaciones de algunos autores, expertos en métodos de investigación educativa como León y Montero (2015), se procedió a la anotación y al registro escrito de los principales comentarios efectuados por los expertos sobre cada una de las preguntas planteadas, relativas a aspectos relacionados con la adecuación y la pertinencia de las mismas. Esta técnica de validez es de ámbito cualitativo y aporta validez de contenido al instrumento (Sáez, 2017). Cabe resaltar, la seguridad observada en el modo de responder, en las opiniones y en los comentarios efectuados por los expertos sobre las cuestiones planteadas, lo que permite interpretar que, hubo acuerdo entre los mismos, en relación a la redacción, la adecuación y la pertinencia de las mismas. No obstante, uno de los expertos, consideraba necesario incluir más preguntas para poder ampliar la información aportada por los docentes. Sin embargo y debido tanto a las limitaciones espacio-temporales del propio proceso de investigación, como a la consideración de que la información solicitada a los docentes es suficiente para no exceder los objetivos fijados en la misma, finalmente se decidió no ampliar el número de preguntas. Otro experto, también indicó la conveniencia de acotar temporalmente el periodo al que se refieren las cuestiones sobre las que se pregunta a los docentes. Por ello, se incluyó en la redacción de las preguntas, la necesidad de que los docentes informasen de la formación recibida hasta el mes de enero de 2019, momento en el que comenzó la fase de investigación de campo en los centros educativos. Las anotaciones realizadas sobre las opiniones y comentarios efectuados por los expertos relativas a las cuestiones planteadas en la entrevista estructurada, puede verse de manera pormenorizada en el Anexo 18. El cuestionario enviado a los docentes finalmente quedó conformado por tres preguntas, formuladas y redactadas como se detalla en el Anexo 19.

Parte III. Resultados

TESIS DOCTORAL: 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.

Capítulo VIII. Análisis de datos e interpretación de resultados cuantitativos

Una vez definidos los aspectos metodológicos y los tipos de diseños que se han seleccionado para el desarrollo de cada una de las etapas del proceso de investigación, es necesaria también la definición de los tipos de análisis efectuados con los datos obtenidos en cada una de las etapas efectuadas en el estudio. Teniendo en cuenta que la investigación se enmarca dentro del ámbito educativo, la manera más habitual para efectuar el análisis de los conjuntos de datos obtenidos mediante métodos cuantitativos consiste en la utilización de técnicas estadísticas (León y Montero, 2015).

Dada la compleja naturaleza de la investigación y de los pocos antecedentes que existen relacionados con la misma en la bibliografía, al igual que se han aplicado diferentes tipos de diseño para cada una de las fases de estudio efectuadas, también se han seleccionado diferentes técnicas de análisis estadísticos en función de cada uno de los diseños y de las características concretas de los datos obtenidos en cada una de las etapas desarrolladas. El tipo concreto de técnicas que se han utilizado en cada caso, y su justificación, se describirán de manera pormenorizada en cada punto correspondiente.

Para efectuar el conjunto de los diferentes análisis de datos incluidos en el estudio, se ha utilizado la plataforma de software de análisis estadístico IBM® SPSS® *Statistics* 22, con licencia obtenida por la Universidad Camilo José Cela de Madrid.

En cuanto a los resultados, se presenta el resumen de la evidencia empírica que se ha obtenido en cada caso concreto. Para ello, se incluye en la descripción de cada uno de los estudios efectuados, un resumen de los datos originales con sus respectivos estadísticos. Se especifican las medidas resumen utilizadas y posteriormente, se informa de los valores correspondientes obtenidos. Una vez descritos los estadísticos descriptivos, se procede a informar del tipo de prueba de contraste de hipótesis aplicada

en cada caso concreto. Se incluye, cuando procede, el cálculo del tamaño del efecto, como información cuantitativa determinante.

8.1.- Estudio Piloto

El objetivo principal del estudio piloto consiste en determinar si las valoraciones efectuadas sobre cada una de las cuatro aplicaciones educativas basadas en RA evaluadas por un grupo de estudiantes presentan, en general, diferencias estadísticamente significativas entre ellas y en particular, tanto a los aspectos técnicos y estéticos, como a su facilidad de uso ($\alpha = 0,05$).

8.1.1.- Fiabilidad y validez

Como ya se ha comentado anteriormente en el Capítulo VII, para la realización del Estudio Piloto, se ha partido de un cuestionario creado previamente por los expertos educativos Cabero-Almenara, Llorente-Cejudo y Gutiérrez-Castillo, (2017) para el desarrollo de estudios anteriores, relacionados con la evaluación de recursos educativos basados en la RA. Según autores como Sáez (2017), este procedimiento tiene como principal ventaja que el instrumento ya ha sido sometido a un proceso de validación anteriormente. Esto supone que, que el instrumento ya cuenta con garantías sobre su validez para poder evaluar recursos educativos basados en RA. Sin embargo, ha sido aplicado en otros estudios y en otros contextos, motivo por el cual, se ha considerado necesario comprobar también su fiabilidad en el ámbito de este estudio.

Con el objetivo de determinar la Fiabilidad del instrumento utilizado en el estudio piloto, o lo que es lo mismo, la estabilidad y precisión tanto de la información como del procedimiento de medición y teniendo en cuenta que el instrumento que se ha utilizado se basa en un cuestionario basado en una escala politómica, se utiliza el procedimiento del *Alfa de Cronbach* para determinar el índice de consistencia interna.

El análisis de los datos obtenidos de las valoraciones efectuadas por los estudiantes para el conjunto de las escalas demuestra que, el instrumento que se ha utilizado para

la realización del Estudio Piloto tiene un nivel de consistencia interna, como mínimo aceptable, teniendo siempre en cuenta las características concretas de las escalas (Sáez, 2017). Los valores obtenidos para cada una de las dimensiones del cuestionario, así como para el conjunto del mismo, se muestran en las Tablas 13, 14 y 15 respectivamente.

I. Dimensión 1: Aspectos Técnicos

Tabla 13

Alfa de Cronbach obtenido para la dimensión: Aspectos Técnicos

Alfa de Cronbach	N de elementos
,685	4

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

II. Dimensión 2: Facilidad de Uso

Tabla 14

Alfa de Cronbach obtenido para la dimensión: Facilidad de Uso

Alfa de Cronbach	N de elementos
,681	4

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

III. Total, del conjunto de las dimensiones del cuestionario

Tabla 15

Alfa de Cronbach obtenido para el conjunto del cuestionario

Alfa de Cronbach	N de elementos
,685	4

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

8.1.2.- Estudio descriptivo

Como se señaló en el capítulo de diseño y evaluación de instrumentos, el grupo de estudiantes que participaron en el estudio piloto, estaba formado por 11 alumnos en total. Todos ellos, testearon y posteriormente evaluaron cada una de las cuatro aplicaciones educativas de manera independiente. Sin embargo, uno de los estudiantes no valoró ninguna de las dimensiones de una de las aplicaciones (*SeismicAR*[®]). Este hecho, supone lo que algunos expertos como León y Montero (2015) denominan abandono de participantes y en este caso concreto, se explica debido a que el estudiante se descuidó y dejó sin contestar esta parte del cuestionario de manera que, se ha obtenido una tasa de abandono en las respuestas relativas a la citada aplicación del 9,1% ($n = 1$).

En el proceso de análisis de los datos, en primer lugar, se van a estudiar las características principales de las variables intervinientes, a través de un análisis estadístico descriptivo de las mismas resumido en las Tablas 16 a 20 respectivamente. Se han analizado las frecuencias en las respuestas de los alumnos para cada uno de los ítems que formaban las dos dimensiones principales del instrumento: *Aspectos Técnicos y Estéticos* y *Facilidad de Utilización*, obteniendo con ello sus respectivos valores medios, así como las desviaciones típicas correspondientes en cada caso para cada una de las cuatro aplicaciones de RA evaluadas (*División Celular 3D*, *LandsCapAR*, *Cellular*[®] y *SeismicAR*[®]).

Tabla 16

Sexo de los estudiantes

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Mujer	10	90,9	90,9
	Hombre	1	9,1	100,0
	Total	11	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

Tabla 17*Edad de los estudiantes*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	15 Años	8	72,7	72,7	72,7
	16 Años	1	9,1	9,1	81,8
	17 Años	2	18,2	18,2	100,0
	Total	11	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

Tabla 18*Estudiantes repetidores*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	10	90,9	90,9	90,9
	Sí	1	9,1	9,1	100,0
	Total	11	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

Tabla 19*Estudiantes que poseen conocimientos previos de RA*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	2	18,2	18,2	18,2
	Sí	9	81,8	81,8	100,0
	Total	11	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

Tabla 20*Estudiantes con experiencia previa en aplicaciones basadas en la RA*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	6	54,5	60,0	60,0
	Sí	4	36,4	40,0	100,0
	Total	10	90,9	100,0	
Perdidos	Sistema	1	9,1		
Total		11	100,0		

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

Mediante el estudio descriptivo de los ítems correspondientes al Estudio Piloto, es posible realizar el análisis de las valoraciones efectuadas por el conjunto de estudiantes que participaron en el mismo, con un nivel de detalle elevado. Los datos obtenidos, permitirán determinar si las características de las cuatro aplicaciones seleccionadas para ser utilizadas en el proceso de desarrollo de la investigación educativa son similares. Por lo tanto, permitirán determinar si es posible utilizarlas de manera indistinta durante el proceso de investigación, en función del tipo de concepto clave que representan, sin riesgo de que se produzcan posibles sesgos relacionados con aspectos técnicos y estéticos, o con la facilidad de utilización percibida por los estudiantes.

El análisis pormenorizado de los datos obtenidos de las respuestas de los alumnos al cuestionario refleja valores promedios en las puntuaciones de las respuestas muy superiores a la media de la escala ($\bar{X} = 3,5$), en las dos dimensiones analizadas: aspectos técnicos-estéticos y facilidad de utilización, en el conjunto de los ítems. Siendo la mayor puntuación 5,30 y la menor 4,97, correspondientes a los ítems 6 y 10 respectivamente, ambos pertenecientes a la dimensión facilidad de utilización (Tabla 21).

El 50% de los ítems del cuestionario, obtuvieron valoraciones de nivel alto, con promedios comprendidos entre 5,15 y 5,30, superiores a la media total del conjunto de

los promedios (5,14), obtenidos en cada uno de los 10 ítems que conformaban el cuestionario.

Hay que destacar la elevada consideración mostrada por los estudiantes en relación con la facilidad de comprensión sobre el funcionamiento de las aplicaciones (ítem 6), así como sobre el funcionamiento del recurso, la presentación de la información digital en la pantalla y la facilidad de manejo (ítems 1, 4 y 5 respectivamente).

Tabla 21

Medias y Desviaciones Típicas obtenidas en el análisis de las respuestas de los estudiantes

Medias y Desviaciones Típicas Totales	Total de las cuatro Aplicaciones	
	Media	Desv. Típica
1. Aspectos Técnicos y Estéticos		
1.1. El funcionamiento del recurso que te hemos presentado es:	5,23	0,87
1.2. En general, la estética del recurso producido lo consideras:	5,18	0,82
1.3. En general, el funcionamiento técnico del recurso producido lo calificarías de:	5,05	1,06
1.4. En general, cómo valorarías la presentación de la información en la pantalla:	5,23	0,84
2. Facilidad de Utilización		
2.1. Cómo calificarías la facilidad de utilización y manejo del recurso que te hemos presentado:	5,23	0,96
2.2. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico del recurso que te hemos presentado:	5,30	0,82
2.3. Desde tu punto de vista, cómo valorarías el diseño general del recurso que hemos elaborado:	5,11	0,77
2.4. Desde tu punto de vista, cómo valorarías la accesibilidad/usabilidad del recurso que te hemos presentado:	5,02	0,89
2.5. Desde tu punto de vista, como valorarías la flexibilidad de utilización del material en RA que te hemos presentado:	5,05	1,08
2.6. El utilizar el recurso producido te fue divertido:	4,97	1,06

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

El 50% de los ítems del cuestionario, obtuvieron valoraciones de nivel alto, con promedios comprendidos entre 5,15 y 5,30, superiores a la media total del conjunto de los promedios (5,14), obtenidos en cada uno de los 10 ítems que conformaban el cuestionario.

Hay que destacar la elevada consideración mostrada por los estudiantes en relación con la facilidad de comprensión sobre el funcionamiento de las aplicaciones (ítem 6), así como sobre el funcionamiento del recurso, la presentación de la información digital en la pantalla y la facilidad de manejo (ítems 1, 4 y 5 respectivamente).

Valoraciones similares se obtuvieron en las respuestas obtenidas relativas a: la estética del recurso, el funcionamiento técnico, el diseño, la accesibilidad, la usabilidad y la flexibilidad de utilización del mismo (ítems 2, 3, 7, 8 y 9, respectivamente).

Se han encontrado también puntuaciones altas, aunque sensiblemente inferiores a las anteriores, en cuanto a la percepción de los estudiantes en relación con la sensación de diversión percibida al utilizar el recurso de RA (ítem 10).

En resumen, en cuanto a la dimensión relacionada con la facilidad de utilización del recurso, los estudiantes valoran más la facilidad de comprensión de un recurso educativo basado en la RA, que el hecho de que ese recurso les parezca divertido. También valoran muy positivamente los aspectos tanto técnicos como estéticos de las cuatro aplicaciones de RA que utilizaron en el aula.

En cuanto al análisis individual de las valoraciones ofrecidas por los estudiantes a cada una de las cuatro aplicaciones, cabe destacar que la valoración media más alta (5,55) se ha obtenido en la puntuación correspondiente al funcionamiento del recurso (ítem 1), de la aplicación *CelluAR*[®], perteneciente a la dimensión aspectos técnicos y estéticos.

Por otra parte, la valoración media más baja (4,60), se ha obtenido en la puntuación correspondiente a la percepción de diversión (ítem 10), de la aplicación *SeismicAR*[®], perteneciente a la dimensión facilidad de utilización del recurso.

Tabla 22*Medias y Desviaciones Típicas obtenidas para cada aplicación*

	División Celular 3D		Cellular		LandscapAR		SeismicAR	
	Media	Desv. Típica	Media	Desv. Típica	Media	Desv. Típica	Media	Desv. Típica
1. Aspectos Técnicos y Estéticos								
1.1. El funcionamiento del recurso que te hemos presentado es:	5,09	0,94	5,55	0,69	5,27	0,90	5,00	0,94
1.2. En general, la estética del recurso producido lo consideras:	5,27	0,65	5,45	0,69	5,09	1,22	4,90	0,74
1.3. En general, el funcionamiento técnico del recurso producido lo calificarías de:	4,91	1,22	5,18	0,98	5,09	1,22	5,00	0,82
1.4. En general, cómo valorarías la presentación de la información en la pantalla:	5,27	0,79	5,36	0,81	5,18	0,87	5,10	0,88
2. Facilidad de Utilización								
2.1. Cómo calificarías la facilidad de utilización y manejo del recurso que te hemos presentado:	5,18	0,87	5,36	0,81	5,09	1,22	5,30	0,95
2.2. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico del recurso que te hemos presentado:	5,45	0,69	5,36	0,50	5,09	1,14	5,30	0,95
2.3. Desde tu punto de vista, cómo valorarías el diseño general del recurso que hemos elaborado:	5,36	0,50	5,27	0,79	4,82	0,98	5,00	0,82
2.4. Desde tu punto de vista, cómo valorarías la accesibilidad/usabilidad del recurso que te hemos presentado:	4,73	0,90	5,45	0,69	4,91	1,30	5,00	0,67
2.5. Desde tu punto de vista, como valorarías la flexibilidad de utilización del material en RA que te hemos presentado:	4,82	1,17	5,36	0,92	4,82	1,33	5,20	0,92
2.6. El utilizar el recurso producido te fue divertido:	5,00	0,77	5,27	1,01	5,00	1,48	4,60	0,97

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

TESIS DOCTORAL: 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.

Los datos obtenidos mediante el análisis de la homogeneidad en las respuestas dadas a cada uno de los ítems constituyen un indicador sobre la fiabilidad de las citadas respuestas. Esto, permitirá determinar la relevancia del instrumento, para conocer cuáles son los aspectos más robustos relacionados con el uso de las aplicaciones de RA utilizadas.

El análisis de los datos obtenidos a través de las respuestas de los estudiantes, muestran valores bajos y muy bajos tanto en las desviaciones típicas relativas a las valoraciones parciales de cada uno de los ítems (comprendidos entre 0,77 y 1,08), como en el promedio del conjunto de las mismas (0,92).

Los datos analizados, indican la existencia de una homogeneidad media-alta en cuanto al conjunto de las respuestas. Esto, supone a su vez, una evidente uniformidad en cuanto a la opinión mostrada por los estudiantes en referencia a las respuestas dadas a las cuestiones planteadas sobre las aplicaciones.

El análisis efectuado sobre las respuestas dadas por los estudiantes ha permitido comprobar la funcionalidad del instrumento utilizado como herramienta válida, para poder conocer exactamente cuál es su opinión con respecto a las características técnicas y de usabilidad de las cuatro aplicaciones de RA que probaron en clase y que posteriormente se utilizarían durante el proceso de investigación.

8.1.3.- Estudio inferencial. Prueba H de Kruskal-Wallis

Debido al número reducido de estudiantes que participaron en el estudio se asume que la muestra no presenta normalidad de las poblaciones muestreadas, por lo que se ha optado por seleccionar una prueba como procedimiento alternativo a la utilización del estadístico F utilizado en ANOVA, para el análisis de las cuatro muestras independientes. La prueba no paramétrica equivalente a ANOVA para varias muestras independientes que ha sido seleccionada es la prueba de Kruskal-Wallis (Pardo y San Martín, 2015; Sáez, 2017).

Para poder aplicar la prueba de Kruskal-Wallis, se han establecido las siguientes hipótesis de trabajo:

H_0 : Las valoraciones efectuadas por los estudiantes sobre las cuatro aplicaciones de RA, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre las mismas.

H_1 : Las valoraciones efectuadas por los estudiantes sobre las cuatro aplicaciones de RA, presentan diferencias estadísticamente significativas.

En primer lugar, se analiza el conjunto de cuatro ítems que con las valoraciones de los estudiantes referentes a los aspectos técnicos y estéticos de cada una de las cuatro aplicaciones de RA que testearon previamente. En las Tablas 23 y 24, se pueden observar los valores de los rangos y del estadístico de Kruskal-Wallis (*chi-cuadrado* = 2,688), respectivamente. La Tabla 24, también muestra sus grados de libertad (*gl* = 3), así como el nivel crítico correspondiente o valor *p* (*sig. asintótica* = 0,442).

Tabla 23

Rangos correspondientes a la dimensión Aspectos Técnicos y Estéticos

	Nombre Aplicación	N	Rango promedio
Aspectos Técnicos y Estéticos	División Mitótica 3D	11	20,55
	CellulAR	11	25,91
	LandscapAR	11	23,55
	SeismicAR	10	17,60
	Total	43	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

Tabla 24

Estadísticos de prueba de Kruskal-Wallis^{a,b}. Dimensión: Aspectos Técnicos y Estéticos

	Aspectos Técnicos y Estéticos
Chi-cuadrado	2,688
gl	3
Sig. asintótica	,442

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Nombre Aplicación

Teniendo en cuenta que, en este caso de estudio, el valor que alcanza el nivel crítico es superior a 0,05, se puede aceptar la hipótesis nula. Se concluye de esta manera que las valoraciones efectuadas por los estudiantes sobre las cuatro aplicaciones de RA, en cuanto a los aspectos técnicos y estéticos se refiere, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

En segundo lugar, se analiza el conjunto de seis ítems con las valoraciones efectuadas por los estudiantes referentes a determinados aspectos relacionados con la facilidad de utilización de cada una de las cuatro aplicaciones de RA. En las Tablas 25 y 26, se pueden observar los valores de los rangos y el valor del estadístico de Kruskal-Wallis (*chi-cuadrado* = 1,198) respectivamente. La Tabla 26, también muestra sus grados de libertad (*gl* = 3) y el nivel crítico correspondiente o valor *p* (*sig. asintótica* = 0,753) para este caso.

Tabla 25

Rangos correspondientes a la dimensión a la dimensión Facilidad Utilización

	Nombre Aplicación	N	Rango promedio
Facilidad Utilización	División Mitótica 3D	11	19,59
	CellulAR	11	25,27
	LandscapAR	11	21,73
	SeismicAR	10	21,35
	Total	43	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

Tabla 26

Estadísticos de prueba de Kruskal-Wallis^{a,b}. Dimensión: Aspectos Técnicos y Estéticos

	Facilidad Utilización
Chi-cuadrado	1,198
gl	3
Sig. asintótica	,753

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Nombre Aplicación

En este segundo caso de estudio, el valor que alcanza el nivel crítico es superior a 0,05, lo que permite aceptar la hipótesis nula. Se concluye de esta manera que las valoraciones efectuadas por los estudiantes sobre las cuatro aplicaciones de RA, en cuanto a los aspectos relacionados con la facilidad de utilización, no presentan diferencias estadísticamente significativas.

En tercer lugar, también se han analizado los datos correspondientes a las valoraciones que hicieron los estudiantes referentes al conjunto de los 10 ítems que conformaban el cuestionario del estudio piloto sobre cada una de las cuatro aplicaciones de RA y que habían testeado previamente de manera independiente en el aula. En la Tabla 27, se pueden observar los rangos del conjunto de dimensiones y, la Tabla 28 se muestra el valor del estadístico de Kruskal-Wallis (*chi-cuadrado* = 1,614) obtenido. También muestra sus grados de libertad (*gl* = 3), así como el nivel crítico correspondiente o valor *p* (*sig. asintótica* = 0,656).

Tabla 27

Rangos correspondientes al conjunto de dimensiones del cuestionario

	Nombre Aplicación	N	Rango promedio
Total Aplicación	División Mitótica 3D	11	19,91
	CellularAR	11	25,41
	LandscapAR	11	23,00
	SeismicAR	10	19,45
	Total	43	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

Tabla 28

Estadísticos de prueba de Kruskal-Wallis^{a,b}, para el conjunto de dimensiones

	Total Aplicación
Chi-cuadrado	1,614
gl	3
Sig. asintótica	,656

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Nombre Aplicación

TESIS DOCTORAL: 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.

Teniendo en cuenta que, en este tercer caso de estudio general, el valor que alcanza el nivel crítico también es superior a 0,05, también se puede aceptar la hipótesis nula planteada. Se puede concluir que las valoraciones efectuadas por los estudiantes sobre las cuatro aplicaciones de RA, tanto en cuanto a aspectos técnicos y estéticos, como a facilidad de utilización de las mismas, en su conjunto, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Por lo tanto, no es necesario valorar la relevancia de las mismas determinando el tamaño del efecto.

Como método complementario para la confirmación de los resultados obtenidos anteriormente, se ha tenido en consideración también los resultados ofrecidos al aplicar a las valoraciones efectuadas por los estudiantes, la prueba de Jonckheere-Terpstra (Sáez, 2017). En los tres casos de estudio detallados anteriormente, el citado test también aporta una significación superior a 0,05, de manera que, tampoco resaltan diferencias estadísticamente significativas en las citadas valoraciones efectuadas por el grupo de estudiantes sobre las cuatro aplicaciones móviles de RA.

Los resultados obtenidos en el test de Jonckheere-Terpstra para cada uno de los tres casos de estudio planteados: ítems relacionados con los aspectos técnicos y estéticos, ítems relacionados con la facilidad de utilización y conjunto total de ítems del cuestionario, se muestran en las Tablas 29, 30 y 31 respectivamente.

Tabla 29

Prueba de Jonckheere-Terpstra^a. Dimensión: Aspectos Técnicos y Estéticos

	Aspectos Técnicos y Estéticos
Número de niveles en Nombre Aplicación	4
N	43
Estadístico J-T observado	319,000
Estadístico J-T de media	346,500
Desviación estándar del estadístico J-T	45,399
Estadístico J-T estándar	-,606
Sig. asintótica (bilateral)	,545

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

a. Variable de agrupación: Nombre Aplicación

Tabla 30*Prueba de Jonckheere-Terpstra^a. Dimensión: Facilidad de Utilización*

	Facilidad Utilización
Número de niveles en Nombre Aplicación	4
N	43
Estadístico J-T observado	349,500
Estadístico J-T de media	346,500
Desviación estándar del estadístico J-T	45,829
Estadístico J-T estándar	,065
Sig. asintótica (bilateral)	,948

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

a. Variable de agrupación: Nombre Aplicación

Tabla 31*Prueba de Jonckheere-Terpstra^a para el conjunto de dimensiones*

	Total Aplicación
Número de niveles en Nombre Aplicación	4
N	43
Estadístico J-T observado	338,000
Estadístico J-T de media	346,500
Desviación estándar del estadístico J-T	45,876
Estadístico J-T estándar	-,185
Sig. asintótica (bilateral)	,853

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio piloto.

a. Variable de agrupación: Nombre de la Aplicación

Una vez analizados los datos y las respuestas relativas a las valoraciones efectuadas por el grupo de 11 estudiantes, sobre cada una de las cuatro aplicaciones móviles basadas en tecnología de RA que previamente habían testeado en clase de manera individual, se puede concluir que, las cuatro aplicaciones móviles son equivalentes en cuanto a su capacidad para mostrar los cuatro conceptos clave específicos seleccionados previamente, pero además, todas ellas, presentan un nivel conceptual equivalente.

Por otra parte, del análisis de los datos, cabe destacar también que, teniendo en cuenta los valores obtenidos, tanto la fiabilidad como la validez de las cuatro

aplicaciones móviles seleccionadas para incluirlas como herramientas educativas en las posteriores fases de estudio, estaban garantizadas como recursos tecnológicos digitales de aprendizaje.

8.2.- Estudio de Rendimiento

A través del estudio de rendimiento, se intenta responder a las preguntas planteadas en la investigación, en relación a si una tecnología no inmersiva y una tecnología inmersiva basada en RA, utilizadas como recursos didácticos complementarios, pueden mejorar el rendimiento de los estudiantes en comparación con otras metodologías tradicionales.

En esta fase del estudio, participaron un total de 489 estudiantes. Considerando que se trata de sumas de tamaños muestrales formados por más de 30 sujetos, es asumido que se cumple el supuesto de normalidad en la distribución de las poblaciones muestreadas en esta fase del estudio (Sáez, 2017). Sin embargo, se han tenido en cuenta las calificaciones obtenidas por el conjunto de los estudiantes participantes en las pruebas de rendimiento, para comprobar analíticamente la normalidad de la distribución de los datos muestrales. En este sentido, aplicando tanto de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, como la de Shapiro-Wilk, se obtuvieron unos grados de significación $p > ,05$ (*sig.* = ,200 y *sig.* = ,685 respectivamente), lo que ha permitido comprobar la normalidad de la muestra de estudiantes seleccionada en el estudio a través de sus calificaciones. En las Figuras 30 y 31, se muestran gráficamente las características de la distribución muestral por su forma.

Es preciso señalar también que, se han identificado a los alumnos que en el momento de efectuar el estudio estaban repitiendo curso, de manera que no se han tenido en cuenta sus respuestas con el fin de evitar posibles sesgos en los resultados, al considerar que estos alumnos repetidores tenían conocimientos previos sobre los conceptos clave que se les había explicado en clase. Los datos empíricos obtenidos mediante el trabajo de campo en las pruebas de rendimiento efectuadas a los grupos de estudiantes se resumen en la Tabla 32.

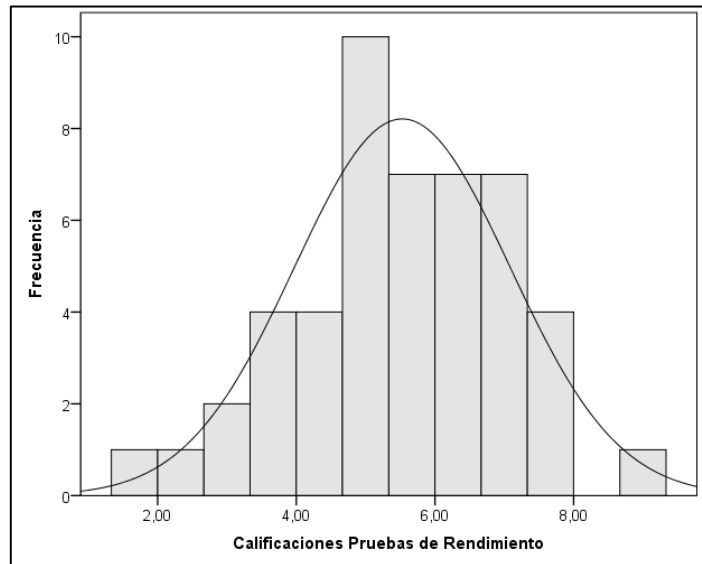


Figura 30. Histograma de distribución de la muestra de las calificaciones obtenidas por los estudiantes participantes en el estudio de rendimiento.

Fuente: Elaboración propia.

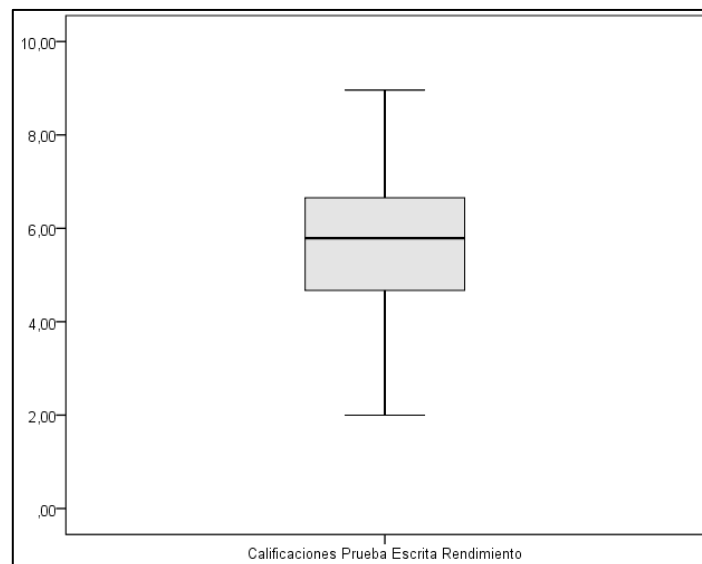


Figura 31. Diagrama de caja de distribución de la muestra de calificaciones obtenidas por los estudiantes participantes en el estudio de rendimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32

Calificaciones obtenidas por cada grupo de estudiantes en el estudio de rendimiento

COLEGIOS PARTICIPANTES	Nº de Grupos	CASO DE ESTUDIO 1 CLASE TRADICIONAL - CLASE CON TECNOLOGÍA NO INMERSIVA		CASO DE ESTUDIO 2 CLASE TRADICIONAL - CLASE CON TECNOLOGÍA RA			
		Grupo Control	Grupo Experimental	Grupo Control		Grupo Experimental	
		Nota Media	Nota Media	Nota Media	Nota Media	Nota Media del Grupo en la Evaluación Previa	Nota Media del Grupo en la Evaluación con Intervención
CEC2 ³	2	-	-	5,02	7,16	6,96	6,85
CEC3	2	-	-	6,67	7,44	-	-
CEC4	2	5,80	6,64	6,40	4,91	6,62	7,08
CEC5	1	-	-	5,33	4,55	6,27	6,64
CEC6	1	5,83	8,96	6,15	4,48	6,74	7,56
CEP7 ⁴	2	3,92	5,58	4,84	7,83	6,73	6,32
CEP8	2	-	-	4,49	4,67	5,72	5,52
CEP9	1	4,86	6,22	5,05	4,89	5,30	5,50
CEP10	2	7,56	6,33	6,74	6,44	5,19	5,05
CEP11	2	5,87	4,67	4,56	2,82	5,80	5,70
CEP12	2	3,78	5,87	1,40	2,00	4,38	3,70
CEP13	2	-	-	3,56	3,27	5,25	6,08
CEP14	2	4,95	7,19	5,79	3,73	5,91	5,73
CEP15	2	7,33	7,65	7,13	6,96	7,49	7,62
CEP16	2	6,28	5,79	-	-	-	-
NOTAS MEDIAS TOTALES⁵:		5,62	6,49	5,22	5,08	6,03	6,10

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio de rendimiento.

³ La abreviatura CEC hace referencia al término Centro Educativo Concertado.⁴ La abreviatura CEP hace referencia al término Centro Educativo Público.⁵ Se han excluido de los cálculos las calificaciones obtenidas por los estudiantes repetidores en las pruebas objetivas de rendimiento.

8.2.1.- Fiabilidad y validez

Para la realización del estudio de rendimiento y para poder evaluar cualitativamente los aprendizajes de los estudiantes relativos a los conceptos clave explicados en clase, se crearon *ad hoc*, cuatro pruebas objetivas de rendimiento equivalentes (un examen para cada uno de los conceptos clave utilizados), como ya se ha detallado en el Capítulo VII.

Finalmente, y debido a los condicionantes y limitaciones espacio-temporales, solamente fue necesario utilizar dos de ellas, que corresponden a los conceptos de División Celular y Estructura Interna de La Tierra.

Para obtener una aproximación del grado de fiabilidad de los instrumentos utilizados como pruebas objetivas para la determinación de los conocimientos adquiridos por los estudiantes, se utiliza el procedimiento de *Alfa de Cronbach*. Este procedimiento, se aplica considerando las respuestas ofrecidas por los estudiantes a las 10 preguntas planteadas en cada uno de los dos instrumentos utilizados para la evaluación de los conocimientos adquiridos por los alumnos (conceptos clave relacionados con la División Celular y con la Estructura Interna de La Tierra), administrados vía online a los grupos experimentales pertenecientes al segundo caso de estudio. El resto de los grupos, utilizaron el formato tradicional en soporte papel y sus profesores sólo entregaron las calificaciones anónimas obtenidas por sus alumnos. Los valores de Alfa de Cronbach obtenidos para cada uno de los dos instrumentos: 0,969 en el caso de la División Celular y 0,956 en el caso de la Estructura Interna de La Tierra, mostrados en las Tablas 33 y 34 respectivamente, se pueden considerar como excelentes según los criterios establecidos por algunos autores (Sáez, 2017).

Tabla 33

Valor del Alfa de Cronbach obtenido para la primera prueba de rendimiento

Alfa de Cronbach	N de elementos
,969	10

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio de rendimiento.

Tabla 34

Valor del Alfa de Cronbach obtenido para la segunda prueba de rendimiento

Alfa de Cronbach	N de elementos
,956	10

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio de rendimiento.

Las pruebas objetivas de rendimiento, han sido creadas y supervisadas con la ayuda de un grupo de docentes expertos que cuentan con varios años de experiencia en la impartición de esta asignatura y ejercen docencia tanto en centros públicos, como concertados, lo que garantiza la validez de las mismas. Además, una vez creadas, fueron sometidas a un segundo proceso de supervisión, efectuado mediante un juicio de expertos, con el objetivo de garantizar su validez de contenido, como se detalla de manera pormenorizada en el Capítulo VII.

8.2.2.- Estudio descriptivo

Del análisis de los datos facilitados por los docentes y de las respuestas de los estudiantes a las preguntas formuladas en las pruebas objetivas de rendimiento, se obtuvieron los estadísticos descriptivos que se describen en las Tablas 35, 36, 37, 38 y 39, respectivamente.

Tabla 35

Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Sexo del alumno

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Mujer	252	51,5	51,5	51,5
	Hombre	237	48,5	48,5	100,0
	Total	489	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio de rendimiento.

Tabla 36

Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Edad del alumno

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	15 Años	280	57,3	57,3	57,3
	16 Años	185	37,8	37,8	95,1
	17 o más Años	24	4,9	4,9	100,0
	Total	489	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio de rendimiento.

Tabla 37*Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Alumno repetidor*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Sí	36	7,4	7,4	7,4
	No	453	92,6	92,6	100,0
	Total	489	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio de rendimiento.

Tabla 38*Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Alumno con Necesidades Educativas Especiales*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Sí	3	0,6	0,6	0,6
	No	486	99,4	99,4	100,0
	Total	489	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio de rendimiento.

Tabla 39*Estadísticos descriptivos prueba de rendimiento. Tipo de Centro Educativo: Público o Concertado*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Público	339	69,3	69,3	69,3
	Privado Concertado	150	30,7	30,7	100,0
	Total	489	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio de rendimiento.

8.2.3.- Estudio inferencial

El estudio inferencial de los datos obtenidos a través de las respuestas ofrecidas por los estudiantes a las preguntas efectuadas en las pruebas objetivas de rendimiento, se ha estructurado en cuatro casos de estudios diferenciados, pero a la vez relacionados y complementarios.

8.2.3.1.- Primer caso de estudio. Prueba T de Student para muestras independientes

En el primer caso de estudio, se pretende determinar si el uso de una tecnología no inmersiva, utilizada como un recurso didáctico complementario en el aula, puede mejorar el rendimiento de los estudiantes en comparación con otros métodos educativos tradicionales. Para ello se compara la nota media (5,62) obtenida por los diez grupos de control que utilizaron recursos complementarios de aprendizaje tradicionales, como el libro de texto, la pizarra, etc., y la nota media (6,49) obtenida por los otros diez grupos experimentales que utilizaron el recurso tecnológico no inmersivo en clase. Cabe destacar, que los docentes informaron que el tipo de recursos tecnológicos no inmersivos utilizados fueron: Pizarras digitales, proyectores, vídeos, presentaciones multimedia elaboradas con herramientas digitales como *PowerPoint*, y programas de ordenador no inmersivos entre otros (Figura 32).

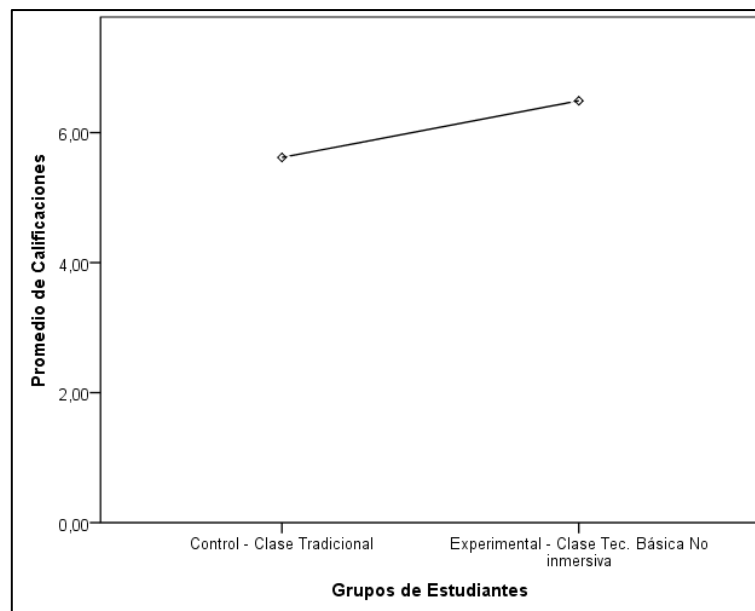


Figura 32. Gráfico de líneas: Comparación de calificaciones medias obtenidas por los Grupos de Control que utilizaron métodos tradicionales y los Experimentales que utilizaron Tecnología básica.

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar datos cuantitativos entre dos grupos que cumplen las condiciones de ser independientes o no pareados, pertenecientes a poblaciones normalmente distribuidas y con varianzas poblacionales iguales, se utiliza la prueba estadística paramétrica para datos cuantitativos denominada *T* de Student de igualdad de medias (Pardo y San Martín, 2015; Sáez, 2017).

En este caso de estudio, los grupos pertenecientes a la muestra seleccionada cumplen el supuesto de independencia ya que, tanto las observaciones efectuadas, como los datos de cada grupo se han obtenido por separado.

Considerando que se trata de sumas de tamaños muestrales formados por más de 30 sujetos, es asumido que se cumple el supuesto de normalidad en la distribución de las poblaciones muestreadas en esta fase del estudio (Sáez, 2017).

En referencia al supuesto de homogeneidad de las varianzas u homocedasticidad, es necesario comprobar previamente la igualdad de varianzas aplicando el test de Levene.

Los resultados obtenidos del análisis estadístico efectuado se resumen en las siguientes tablas. La Tabla 40 resume los estadísticos descriptivos del procedimiento de la prueba *T* de Student para muestras independientes:

Tabla 40

Estadísticas de grupo. Primer caso de estudio de rendimiento

	Control/Experimental	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Nota Prueba Escrita	Grupo Ctrl. Trad.-	10	5,6180	1,27211	,40228
	Tec.Básica				
Rendimiento	Grupo Exp. Trad.-	10	6,4900	1,20519	,38112
	Tec.Básica				

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el primer caso del estudio de rendimiento.

La Tabla 41, muestra, en primer lugar, el contraste de la hipótesis de varianzas, basado en el estadístico *F* de Levene. En este caso concreto, la probabilidad asociada al estadístico de Levene ($sig. = 0,773 > 0,05$) no permite rechazar la hipótesis relativa a la

igualdad de varianzas, de manera que puede asumirse igualdad en las varianzas poblacionales.

Tabla 41

Prueba de muestras independientes. Estadístico de Levene para el primer caso de estudio

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bil.)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Nota Prueba Escrita	Se asumen varianzas iguales	,086	,773	-1,574	18	,133	-,87200	,55414	-2,03621	,29221
	No se asumen varianzas iguales			-1,574	17,948	,133	-,87200	,55414	-2,03646	,29246

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el primer caso del estudio de rendimiento.

En segundo lugar, teniendo en cuenta los resultados citados anteriormente que permiten asumir varianzas iguales, el estadístico $T(t)$ correspondiente, obtiene un valor de 1,574. De manera que tiene asociado un nivel crítico bilateral de 0,133 superior a 0,05, por lo que se puede concluir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la nota media del conjunto de los grupos de control que ha utilizado recursos complementarios de aprendizaje tradicionales (5,62) y la nota media del conjunto de grupos experimentales (6,49), que sí utilizaron el recurso tecnológico no inmersivo: $t(18) = 1,57, p > ,05$

Al no existir diferencias estadísticamente significativas entre los conjuntos de los grupos de control y experimental, no se consideró necesario efectuar el cálculo del tamaño del efecto.

8.2.3.2.- Segundo caso de estudio. Prueba T de Student para muestras independientes

En el segundo caso de estudio, se pretende determinar si el uso de una tecnología inmersiva basada en la RA, utilizada como un recurso didáctico complementario en el aula y combinada con un sistema de evaluación digital adaptado, pueden mejorar el rendimiento de los estudiantes en comparación con otros métodos educativos tradicionales. Para ello, se compara la media (5,22) de las calificaciones obtenidas por los grupos de control que utilizaron recursos complementarios de aprendizaje tradicionales, con la media (5,08) de las calificaciones, obtenidas por los grupos experimentales que utilizaron el recurso tecnológico inmersivo en clase basado en RA combinado con un sistema de evaluación digital adaptado (Figura 33).

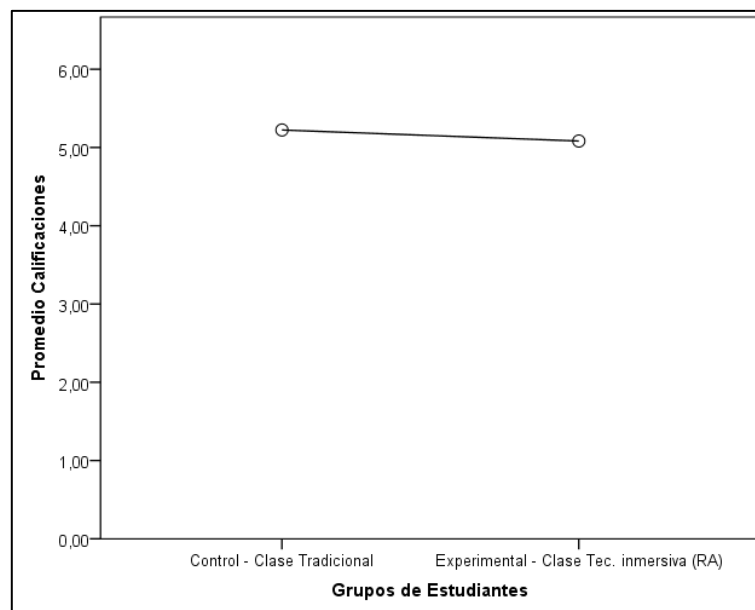


Figura 33. Gráfico de líneas: Comparación de calificaciones medias obtenidas por los Grupos de Control que utilizaron métodos tradicionales y los Experimentales que utilizaron Tecnología inmersiva (RA). Fuente: Elaboración propia.

Como en el caso anterior, para comparar datos cuantitativos entre dos grupos que cumplen las condiciones de ser independientes o no pareados, pertenecientes a poblaciones normalmente distribuidas y con varianzas poblacionales iguales, se utilizó

la prueba estadística paramétrica para datos cuantitativos denominada *T* de Student de igualdad de medias.

En este segundo caso de estudio, los grupos pertenecientes a la muestra seleccionada cumplen el supuesto de independencia ya que, tanto las observaciones efectuadas, como los datos de cada grupo se han obtenido por separado.

Teniendo en cuenta que también se trata de sumas de tamaños muestrales formados por más de 30 sujetos, es asumido que se cumple el supuesto de normalidad en la distribución de las poblaciones muestreadas en esta fase del estudio.

Referente al supuesto de homogeneidad de las varianzas u homocedasticidad, es necesario comprobar previamente la igualdad de varianzas aplicando el test de Levene a este caso concreto.

Los resultados obtenidos del análisis estadístico efectuado en este segundo caso de estudio se resumen en las siguientes tablas. La Tabla 42, ofrece un resumen de los estadísticos descriptivos del procedimiento de la prueba *T* de Student para muestras independientes:

Tabla 42

Estadísticas de grupo. Segundo caso de estudio de rendimiento

	Control/Experimental	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Nota Prueba Escrita	Grupo Ctrl. Trad.-Tec.RA	14	5,2236	1,49833	,40045
Rendimiento	Grupo Exp. Trad.-Tec.RA	14	5,0821	1,82734	,48838

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el segundo caso del estudio de rendimiento.

La Tabla 43, muestra en primer lugar, el contraste de la hipótesis de varianzas, basado en el estadístico *F* de Levene. En este segundo caso de estudio, la probabilidad asociada al estadístico *F* de Levene (*sig.* = 0,294 > 0,05) no permite rechazar la hipótesis relativa a la igualdad de varianzas, de manera que puede asumirse igualdad en las varianzas poblacionales.

Por otra parte, teniendo en cuenta los resultados citados anteriormente que permiten asumir varianzas iguales, el estadístico $T(t)$ correspondiente obtiene un valor de 0,224. De manera que tiene asociado un nivel crítico bilateral de 0,825 superior a 0,05. Por lo que se puede concluir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la media de las calificaciones (5,22) obtenidas por los grupos de control que han utilizado recursos complementarios de aprendizaje tradicionales, y la media de las calificaciones (5,08) de los grupos experimentales que utilizaron el recurso tecnológico inmersivo en clase basado en RA combinado con un sistema de evaluación digital adaptado: $t(26) = 0,22, p > ,05$

Al no existir diferencias estadísticamente significativas entre los conjuntos de los grupos de control y experimental, no procedió el cálculo del tamaño del efecto.

Tabla 43

Prueba de muestras independientes. Estadístico de Levene para el segundo caso de estudio

	Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	1,149	,294	,224	26	,825	,14143	,63156	-1,15676	1,43962
Nota Prueba Escrita									
Rendimiento									
No se asumen varianzas iguales			,224	25,039	,825	,14143	,63156	-1,15919	1,44205

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el segundo caso del estudio de rendimiento.

8.2.3.3.- Tercer caso de estudio. Prueba T de Student para muestras independientes

Como un tercer caso de estudio particular, se compara la nota media (6,49) de las calificaciones obtenidas por el conjunto de los grupos experimentales que habían utilizado tecnología no inmersiva como recurso tecnológico educativo, con la nota media (5,08) de las calificaciones obtenidas por el conjunto de los grupos experimentales que sí habían utilizado tecnología educativa inmersiva específica basada en RA combinada con un sistema de evaluación digital adaptado.

En este caso, como es evidente, los grupos cumplían con los supuestos de independencia, normalidad en la distribución de las poblaciones muestreadas y de homogeneidad de las varianzas u homocedasticidad, aunque para este último supuesto, también se comprobó previamente la igualdad de varianzas aplicando el test de Levene.

La Tabla 44, ofrece un resumen de los estadísticos descriptivos del procedimiento de la prueba T de Student para muestras independientes. Y la Tabla 45, muestra, en segundo lugar, para este tercer caso de estudio, la probabilidad asociada al estadístico F de Levene ($sig. = 0,122 > 0,05$) no permite rechazar la hipótesis relativa a la igualdad de varianzas, de manera que puede asumirse igualdad en las varianzas poblacionales también este caso.

Tabla 44

Estadísticas de grupo. Tercer caso de estudio de rendimiento

	Control/Experimental	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Nota Prueba Escrita Rendimiento	Grupo Exp. Trad.- Tec.Básica	10	6,4900	1,20519	,38112
	Grupo Exp. Trad.-Tec.RA	14	5,0821	1,82734	,48838

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el tercer caso del estudio de rendimiento.

Tabla 45

Prueba de muestras independientes. Estadístico de Levene para el tercer caso de estudio

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Nota Prueba Escrita	Se asumen varianzas iguales	2,584	,122	2,122	22	,045	1,40786	,66341	,03203	2,78369
	No se asumen varianzas iguales			2,273	21,915	,033	1,40786	,61948	,12284	2,69288

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el tercer caso del estudio de rendimiento.

Además, y teniendo en cuenta los resultados anteriores que permiten asumir igualdad de varianzas, el estadístico $T(t)$ correspondiente obtiene un valor de 2,122. De manera que tiene asociado un nivel crítico bilateral de 0,045 inferior a 0,05. Por lo tanto, en este caso concreto, se puede concluir que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre la media de las calificaciones (6,49) obtenidas por los grupos experimentales que habían utilizado recursos educativos complementarios basados en tecnología no inmersiva, y la media de las calificaciones (5,08) obtenidas por los grupos experimentales que sí habían utilizado tecnología educativa inmersiva específica, basada en RA combinada con un sistema de evaluación adaptado: $t(22) = 2,12, p > ,05$

La prueba estadística aplicada a este tercer caso de estudio (T de Student), ha permitido efectuar la comparación de grupos a través de una variable cuantitativa y concluir que la diferencia entre ellos es estadísticamente significativa. Sin embargo, este dato no aporta información sobre la intensidad de la citada diferencia.

Para poder determinar de manera concreta el valor de la diferencia entre los dos grupos de estudiantes, se utiliza la medida del efecto propuesta por Cohen (1988),

relacionando la diferencia entre las dos medias poblacionales y dividiéndola entre la desviación típica poblacional, a través de la siguiente expresión matemática:

$$\hat{\delta} = \frac{|\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2|}{\hat{\sigma}_y}$$

Donde, $\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$ representa la diferencia entre las dos medias poblacionales y $\hat{\sigma}_y$ puede estimarse a partir de la desviación típica poblacional, teniendo en cuenta los criterios establecidos en la Tabla 46 y en la Tabla 47, por Cohen (1992) y por Ferguson (2009) respectivamente, para la interpretación de los resultados obtenidos (Pardo y San Martín, 2015).

En este caso de estudio concreto, el valor correspondiente a la media de las calificaciones obtenidas por los grupos experimentales de estudiantes que utilizaron tecnología no inmersiva fue $\bar{Y}_1 = 6,49$ y la media de las calificaciones obtenidas por los grupos experimentales de estudiantes que utilizaron tecnología inmersiva basada en RA, combinada con un sistema de evaluación adaptado es: $\bar{Y}_2 = 5,08$. El promedio de los valores muestrales de las respectivas desviaciones típicas poblacionales correspondientes fue $(1,21 + 1,83) / 2 = 1,52$.

Sustituyendo los valores obtenidos en la expresión matemática propuesta por Cohen (1988), se obtiene el valor del tamaño del efecto para este caso $\hat{\delta} = 0,93$ lo que supone un *tamaño del efecto grande* según el criterio establecido por Cohen (1992) y un *efecto mínimo-moderado* según los criterios establecidos por Ferguson (2009).

Tabla 46

Valores del tamaño del efecto obtenidos según Cohen

Tamaños del efecto según Cohen	
Valores	Tamaño
0,20	Pequeño
0,50	Mediano
0,80	Grande

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos ofrecidos por Pardo y San Martín (2015).

Tabla 47*Valores del tamaño del efecto obtenidos según Ferguson*

Tamaños del efecto según Ferguson	
Valores	Intensidad
0,41	Mínima
1,15	Moderada
2,70	Fuerte

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos ofrecidos por Pardo y San Martín (2015).

8.2.3.4.- Cuarto caso de estudio. Prueba *T* de Student para muestras relacionadas

Como cuarto caso de estudio, y con el propósito de completar los datos obtenidos en el segundo caso de estudio, en el que se compara el uso de una tecnología inmersiva basada en la RA, utilizada como un recurso didáctico complementario en el aula y combinada con un sistema de evaluación digital adaptado, con el uso de otros métodos educativos tradicionales. Para ello, se comparan también las notas medias (6,03) obtenidas por los estudiantes que habían formado parte de los grupos experimentales a los que se les había aplicado la metodología innovadora y que se habían examinado con un sistema digital adaptado (media post-test o post-tratamiento), con las notas medias (6,10) obtenidas por esos mismos estudiantes en la evaluación previa a la realización del estudio y a la intervención (media pre-test o pre-tratamiento) (Figura 34).

Para poder determinar si las medias difieren significativamente y asumiendo, como en los casos anteriores, que la distribución de la variable cuantitativa es normal en los dos conjuntos de grupos que se pretender comparar, se utiliza la prueba *t* de Student o prueba *t* pareada para dos grupos relacionados. Normalmente, esta prueba se utiliza comparando las medias estimadas de la población por muestras dependientes, teniendo en cuenta que, en este caso, al tratarse de muestras de grupos relacionados, no es requisito indispensable la aplicación previa del test de Levene. Esta prueba, en particular, se utiliza normalmente para poder comparar las medias de dos variables cuantitativas (Pardo y San Martín, 2015; Sáez, 2017).

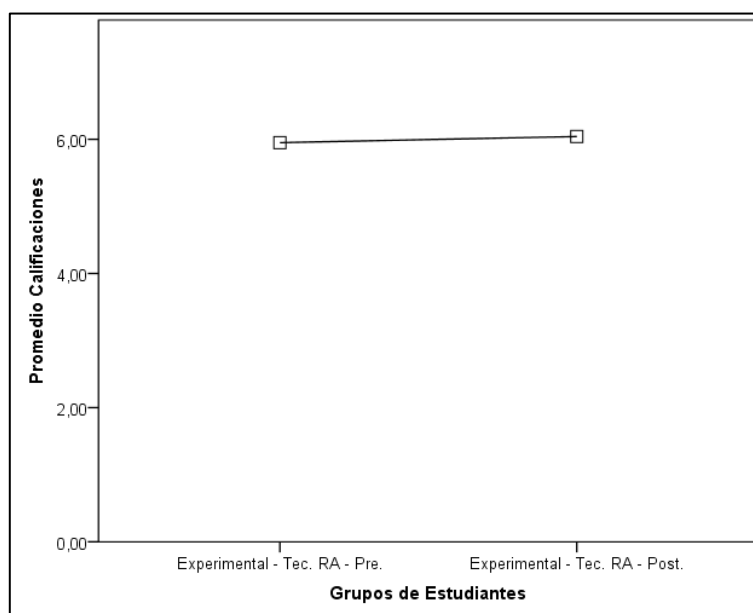


Figura 34. Gráfico de líneas: Comparación de calificaciones medias *pre-post*, obtenidas por los Grupos Experimentales antes y después del tratamiento con Tecnología inmersiva (RA).

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 48, ofrece un resumen de los estadísticos descriptivos del procedimiento de la prueba *T* de Student para muestras relacionadas.

Tabla 48

Estadísticas de muestras emparejadas. Grupo experimental del segundo caso de estudio

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Nota Evaluación Pre. Grupo Intervención	6,0277	13	,87221	,24191
	Nota Evaluación Post. Grupo Intervención	6,1038	13	1,08631	,30129

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el cuarto caso del estudio de rendimiento.

La Tabla 49, muestra el valor del coeficiente de correlación correspondiente al procedimiento de la prueba *T* de Student para muestras relacionadas.

Tabla 49*Correlaciones de muestras emparejadas del grupo experimental del segundo caso de estudio*

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Nota Evaluación Pre. Grupo Intervención & Nota Evaluación Post. Grupo Intervención	13	,917	,000

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el segundo caso del estudio de rendimiento.

En la Tabla 50, se puede observar que el estadístico $T(t)$ correspondiente al diseño realizado con los mismos sujetos, también denominado diseño de medidas repetidas (Pardo y San Martín, 2015), obtiene un valor de 0,609, de manera que tiene asociado un nivel crítico bilateral de 0,554 superior a 0,05. Por tanto, se puede concluir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la nota media pre-test (6,03) y la nota media post-test (6,10) obtenidas por el conjunto de grupos experimentales que utilizaron el recurso tecnológico inmersivo en clase basado en RA y el sistema de evaluación digital adaptado: $t(12) = 0,61, p > ,05$

Tabla 50*Prueba de muestras emparejadas para las calificaciones del grupo experimental*

		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1	Nota Evaluación Pre. Grupo Intervención - Nota Evaluación Post. Grupo Intervención	-,07615	,45055	,12496	-,34842	,19611	-,609	12	,554

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el segundo caso del estudio de rendimiento.

Al no existir diferencias estadísticamente significativas entre las calificaciones obtenidas por el grupo experimental en este caso de estudio, no se ha considerado necesario realizar el cálculo del tamaño del efecto.

8.3.- Estudio Actitudinal

Con los procedimientos desarrollados en esta fase, mediante un estudio actitudinal, se intenta responder a las siguientes preguntas planteadas en el estudio: primero, si el uso de una metodología innovadora basada en RA y en un sistema de evaluación adaptado, tienen un impacto sobre la motivación y 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 y de alumnos ANEE en particular. También se intenta determinar cuáles son las variables concretas que tienen un impacto significativo sobre factores como la motivación y el grado de aceptación de la tecnología y estudiar si esas variables también influyen sobre otros factores relacionados. Para ello, se elabora un instrumento de medida, basado en un cuestionario actitudinal cuyas características de diseño se detallaron de manera pormenorizada en el Capítulo VII.

8.3.1.- Fiabilidad y validez

8.3.1.1.- Fiabilidad

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

Analizados los resultados obtenidos e interpretado el Alfa global del instrumento mostrado en la Tabla 51, 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 $\alpha \geq 0,9$.

Tabla 51

Estadísticas de fiabilidad. Valores de Alfa de Cronbach del conjunto del cuestionario actitudinal

Alfa de Cronbach	N de elementos
,980	35

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 52

Valores de Alfa de Cronbach correspondientes a la dimensión Nivel de Motivación

Alfa de Cronbach	N de elementos
,966	21

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 53

Valores de Alfa de Cronbach correspondientes a la dimensión Grado de Aceptación de la RA

Alfa de Cronbach	N de elementos
,932	9

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 54

Valores de Alfa de Cronbach correspondientes a la dimensión Grado de Comprensión

Alfa de Cronbach	N de elementos
,930	5

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Cabe 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* que se muestran en las Tablas 52, 53 y 54 respectivamente. Todos ellos, valores de $\alpha \geq 0,9$.

8.3.1.2.- Validez. Análisis Factorial Exploratorio

Teniendo en cuenta las preguntas planteadas en el estudio y con el objetivo de establecer las posibles relaciones entre las variables y las dimensiones (factores), siguiendo los criterios de relevantes expertos como Hair, Black, Babin, y Anderson (2018) se plantea realizar un tipo de análisis estadístico denominado Análisis Factorial Exploratorio (AFE). Ya que uno de los objetivos planteados mediante el 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 la estructura subyacente. Con el fin 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 $p < 0.05$ en el primer caso y $p > 0.5$ en el segundo caso respectivamente, por lo que se pudo verificar que se cumplían las condiciones para poder efectuar el análisis factorial exploratorio (Tabla 55).

Tabla 55*Prueba de KMO y prueba de esfericidad de Bartlett*

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,956
	Aprox. Chi-cuadrado	5794,370
Prueba de esfericidad de Bartlett	gl	595
	Sig.	,000

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Una vez que se comprobó 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 explica 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 inteligible la interpretación de su significado en términos teóricos. Mediante este método, inicialmente, se obtuvieron cuatro factores principales.

Sin embargo, para la selección del número de factores concretos, y siguiendo el criterio establecido por relevantes expertos en análisis de datos como Abad, Olea, Ponsoda, y García (2011) se ha seleccionado otro método complementario al anterior, denominado método de análisis del gráfico de sedimentación o *Scree Test*, al que dio lugar el análisis factorial efectuado (Figura 35).

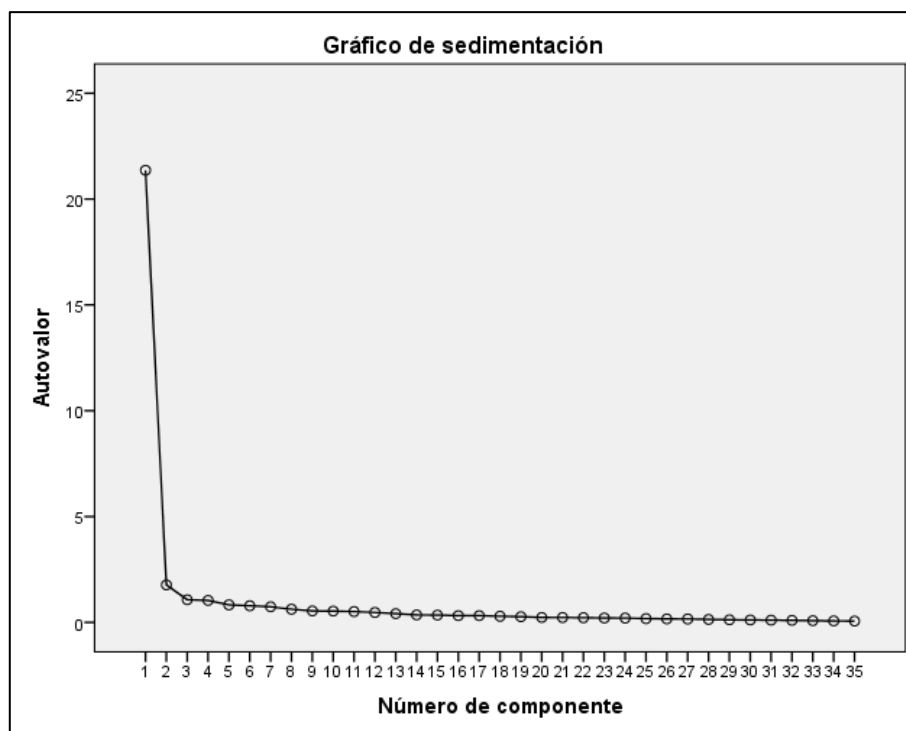


Figura 35. Gráfico de sedimentación (*Scree Test*) obtenido a partir del análisis factorial efectuado sobre las respuestas ofrecidas por los estudiantes.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Del análisis del gráfico de sedimentación, se pudo comprobar la conveniencia de extraer tres factores principales. Se considera que este número es suficiente porque reduce notablemente la cantidad de factores iniciales y explica prácticamente el 70% de la varianza (Tabla 56).

Teniendo en cuenta 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. Por otra parte, la elección de tres factores principales se justifica ya que, selección de un cuarto factor no incrementaría notablemente el ajuste del modelo, pero sí introduciría un elemento de complejidad mayor para su correcta interpretación. En concreto, de los tres factores seleccionados finalmente, el primer factor explica el 61,0%, el segundo el 5,1% y el tercero el 3,1% del total de la varianza respectivamente.

A continuación, se estudian las variables que correlacionaban más con cada uno de ellos para ponerlos nombre. Los resultados obtenidos en el análisis efectuado permiten nominar los factores (componentes) de la siguiente manera:

- Factor 1: Nivel de Motivación.
- Factor 2: Grado de Aceptación de la Tecnología de RA.
- Factor 3: Grado de Aceptación de Sistema de Evaluación Digital Adaptado (SEDA).

Posteriormente, se utilizan las puntuaciones factoriales obtenidas para contrastar las hipótesis planteadas inicialmente en el estudio.

Tabla 56

Factores principales y varianza total explicada⁶

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
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						

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

⁶ Método de extracción: análisis de componentes principales.

8.3.2.- Estudio descriptivo

En esta fase de la investigación, participaron un total de 199 estudiantes, de los 225 alumnos que utilizaron alguna de las aplicaciones de RA como recurso educativo durante el estudio de rendimiento. Esta diferencia se debe a lo que algunos expertos como León y Montero (2015) denominan abandono de participantes y se explica debido a que el día que se administró el cuestionario actitudinal, varios alumnos de diferentes centros educativos no asistieron a clase. Por lo tanto, en este caso concreto, se ha obtenido una tasa de abandono de participantes del 11,6% ($n = 26$).

Del análisis de los datos del cuestionario, se obtuvieron los estadísticos descriptivos que se describen en las Tablas 57 a 72, respectivamente.

Tabla 57

Estadísticos descriptivos. Sexo del alumno

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Mujer	87	43,7	43,7	43,7
	Hombre	112	56,3	56,3	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 58

Estadísticos descriptivos. Edad del alumno

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	15 Años	89	44,7	44,7	44,7
	16 Años	98	49,2	49,2	94,0
	17 o más Años	12	6,0	6,0	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 59*Estadísticos descriptivos. Alumno con Necesidades Educativas Especiales*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Sí	3	1,5	1,5	1,5
	No	196	98,5	98,5	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 60*Estadísticos descriptivos. Tipo de Centro Educativo: Público o Concertado*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Público	123	61,8	61,8	61,8
	Privado Concertado	76	38,2	38,2	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 61*Estadísticos descriptivos. Localidad de ubicación del Centro Educativo*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Castro Urdiales	39	19,6	19,6	19,6
	Reinosa	9	4,5	4,5	24,1
	San Mateo-Los Corrales	10	5,0	5,0	29,1
	San Vicente de la Barquera	17	8,5	8,5	37,7
	Santander	105	52,8	52,8	90,5
	Torrelavega	19	9,5	9,5	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 62*Estadísticos descriptivos. Utilización habitual de recursos de RA en el aula*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	171	85,9	85,9	85,9
	Sí	28	14,1	14,1	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 63*Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase de Ordenador o Tableta*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	111	55,8	55,8	55,8
	Sí	88	44,2	44,2	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 64*Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase del Proyector*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	61	30,7	30,7	30,7
	Sí	138	69,3	69,3	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 65*Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase de Pizarra Digital*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	129	64,8	64,8	64,8
	Sí	70	35,2	35,2	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 66*Estadísticos descriptivos. Uso habitual de Presentaciones Multimedia (PowerPoint, etc...)*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	95	47,7	47,7	47,7
	Sí	104	52,3	52,3	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 67*Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase de Vídeos*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	99	49,7	49,7	49,7
	Sí	100	50,3	50,3	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 68*Estadísticos descriptivos. Uso habitual en clase de Transparencias*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	194	97,5	97,5	97,5
	Sí	5	2,5	2,5	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 69*Estadísticos descriptivos. Conocimiento previo mediante el uso en clase de recursos de RA*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Sí	76	38,2	38,2	38,2
	No	123	61,8	61,8	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 70*Estadísticos descriptivos. Conocimiento previo mediante uso externo de aplicaciones de RA*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Sí	87	43,7	43,7	43,7
	No	112	56,3	56,3	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 71*Estadísticos descriptivos. Conocimiento previo mediante uso en clase de recursos de RV*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Sí	66	33,2	33,2	33,2
	No	133	66,8	66,8	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 72*Estadísticos descriptivos. Uso habitual de un Sistema de Evaluación Digital Adaptado*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Sí	111	55,8	55,8	55,8
	No	88	44,2	44,2	100,0
	Total	199	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

El estudio descriptivo de los ítems que conforman el cuestionario actitudinal, permite analizar con un alto nivel de detalle las valoraciones efectuadas por el conjunto de estudiantes a los que se les explicó en clase un tema teórico basado en un concepto clave de la asignatura. Para ello, se aplicó una metodología educativa innovadora, basada en la combinación de un recurso tecnológico de RA para la representación del concepto clave concreto, combinándolo con un sistema de evaluación digital y adaptado, como ya se ha detallado anteriormente.

El análisis pormenorizado de los datos obtenidos de las respuestas ofrecidas por los estudiantes revela promedios en las puntuaciones de las respuestas por encima de la media teórica de la escala ($\bar{X} = 3$), en las tres dimensiones que conforman el cuestionario actitudinal: nivel de motivación, grado de aceptación de la tecnología de RA y comprensión de conceptos clave, en el conjunto de las cuestiones planteadas (ítems 1 al 35). Siendo la mayor puntuación 3,94 y la menor 3,10, correspondientes a los ítems 27 y 21 respectivamente (Véase la Figura 36).

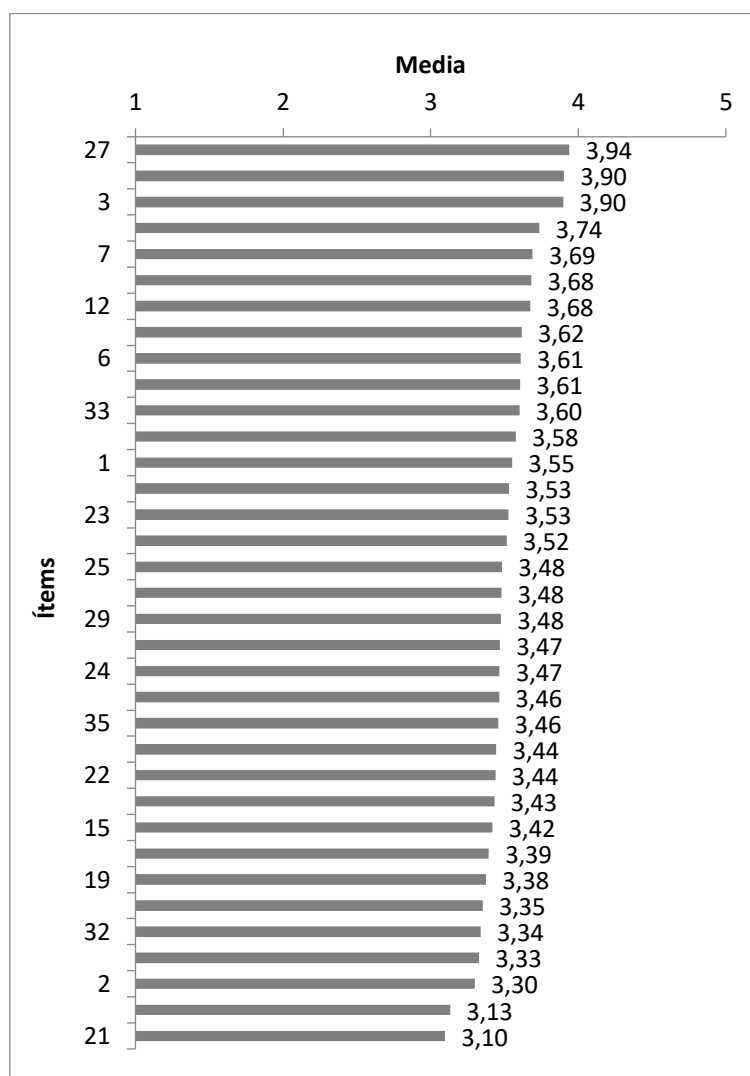


Figura 36. Medias obtenidas en las respuestas ofrecidas por los estudiantes a cada uno de los ítems del cuestionario.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Cabe destacar que el 45,71% de los ítems, obtuvieron valoraciones de nivel medio-alto (promedios comprendidos entre 3,52 y 3,94), superiores a la media total del conjunto de los promedios (que es 3,51) obtenidos en cada uno de los 35 ítems. En este sentido cabe señalar dos aspectos: primero, la consideración sobre la sencillez y facilidad de uso de la aplicación de RA percibida por los alumnos (ítems 27, 28 y 30), y segundo, la relevancia en la utilidad de este tipo de tecnología inmersiva como recurso educativo para la mejora de los aprendizajes (ítem 23), siempre que el recurso tecnológico sea fácil de utilizar (ítem 20). Estos resultados concuerdan y respaldan los datos obtenidos previamente en el análisis de las respuestas ofrecidas por el grupo de estudiantes que participaron en el estudio piloto, cuyo objetivo consistía en la valoración de los aspectos técnicos y de la facilidad de uso de las aplicaciones de RA utilizadas en la investigación.

Valoraciones similares ofrecen las respuestas dadas por los estudiantes, relativas a la su percepción sobre la utilidad de esta tecnología para captar y mejorar su atención sobre la materia estudiada (ítems 1, 3, 4, 5, 6 y 7). Tanto la percepción sobre el recurso tecnológico (ítem 10), como su experiencia posterior al utilizarlo, hacen que los estudiantes lo consideren entretenido y a la vez útil para su proceso formativo (ítems 12, 13 y 14).

Se encontraron también valoraciones sensiblemente más bajas en las respuestas dadas por los estudiantes al resto de los ítems que conforman el cuestionario, aunque es importante subrayar que el conjunto de valores obtenidos se sitúa en todos los casos por encima de la media de la escala, como ya se ha comentado anteriormente.

Cabe destacar la percepción positiva que muestran los alumnos en general con relación a la utilidad del recurso educativo basado en RA (ítems 22, 23 y 24). Lo consideran un instrumento para lograr mayores niveles de confianza y de atención. Les permite entender mejor y ampliar sus conocimientos sobre los conceptos clave de la asignatura (ítems 8 y 11), mejorar su rendimiento, y por lo tanto, sus resultados académicos, especialmente cuando la aplicación de RA esté bien diseñada y sea fácil de utilizar (ítems 2, 9, 29 y 32).

Para los estudiantes, esta percepción inicial se ha confirmado después de utilizar la aplicación informática, de manera que la confianza mostrada inicialmente, al final se ha transformado en satisfacción por la mejora producida en el proceso de comprensión del concepto clave representado en la aplicación informática y por los resultados obtenidos (ítems 15 y 16). De esta forma, los estudiantes consideran que este recurso tecnológico y su contenido es importante y relevante para la mejora de su proceso de aprendizaje (ítems 17, 18 y 19). Opinan que el uso habitual de los recursos tecnológicos inmersivos complementarios basados en RA, por parte de los docentes, redundaría en una mejora de su rendimiento académico (ítem 25). Debido principalmente, a que perciban una mayor facilidad en el grado de comprensión de los conceptos claves que les explica su profesor (ítems 31 y 33), en comparación con otras metodologías que utilizan el libro de texto o incluso tecnologías no inmersivas (ítems 34 y 35).

Similares valoraciones obtienen también el método digital adaptado que se ha aplicado a los estudiantes para la evaluación de sus conocimientos adquiridos, de manera que, los alumnos consideran importante la utilización de este sistema como método complementario al uso de un recurso de RA, para mejorar sus calificaciones académicas (ítems 21 y 26).

Del análisis de los ítems efectuado, se ha podido comprobar también la funcionalidad del cuestionario para detectar y determinar la opinión de los estudiantes 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.

A continuación, para profundizar en el análisis de las valoraciones efectuadas por los estudiantes, se ha analizado la homogeneidad en las respuestas dadas a cada uno de los ítems. Los datos obtenidos, en este caso, constituirán un indicador de la fiabilidad de las citadas valoraciones. Lo que, a su vez, permitirá determinar la relevancia del instrumento para conocer 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.

Tabla 73*Medias y desviaciones típicas obtenidas para cada uno de los ítems del cuestionario actitudinal*

Ítem	Media	Desviación estándar
1	3,55	1,24
2	3,30	1,19
3	3,90	1,10
4	3,58	1,15
5	3,90	1,13
6	3,61	1,18
7	3,69	1,05
8	3,35	1,18
9	3,33	1,22
10	3,53	1,22
11	3,39	1,15
12	3,68	1,18
13	3,61	1,20
14	3,52	1,27
15	3,42	1,17
16	3,43	1,13
17	3,44	1,16
18	3,48	1,14
19	3,38	1,18
20	3,74	1,17
21	3,10	1,29
22	3,44	1,18
23	3,53	1,17
24	3,47	1,18
25	3,48	1,15
26	3,13	1,21
27	3,94	1,10
28	3,62	1,18
29	3,48	1,16
30	3,68	1,13
31	3,47	1,18
32	3,34	1,20
33	3,60	1,15
34	3,46	1,15
35	3,46	1,22

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

En este sentido, cabe destacar que el análisis de los datos obtenidos de las respuestas de los estudiantes muestra 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 (valores comprendidos entre 1,05 y 1,29), como en el promedio del conjunto de las mismas (1,17). Todo ello, indica la existencia de una homogeneidad media en cuanto a las respuestas obtenida, lo que, a su vez, muestra 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 esta investigación (Tabla 73).

Por lo tanto, el análisis efectuado sobre las respuestas ofrecidas por los estudiantes permite comprobar la funcionalidad del cuestionario como instrumento válido para conocer su opinión. También permite 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, como uno de los objetivos fundamentales de este estudio.

8.3.3.- Estudio inferencial. ANOVA de un factor

Para efectuar el contraste de hipótesis en el estudio actitudinal se acepta un nivel de significación del 5%, asumiendo que la hipótesis nula ocurre cinco de cada 100 veces, lo que implica también que el error aceptado es del 5%, asumiendo por lo tanto un 95% en el nivel de confianza.

Con el fin de evitar el mayor número de errores posibles, se han seleccionado las pruebas estadísticas necesarias teniendo en cuenta tanto las características de las variables ya comentadas anteriormente, como de la muestra de estudiantes participantes. El cuestionario actitudinal, conformado por 35 ítems en total, fue administrado sólo a los alumnos que durante el estudio del rendimiento habían utilizado alguna de las aplicaciones de RA como recurso educativo para la comprensión de los conceptos clave seleccionados previamente. Por lo tanto, en esta fase del estudio, participaron un total de 199 estudiantes de los 489 que habían participado

anteriormente en el estudio de rendimiento. De manera que, según algunos autores como Sáez (2017), al contar con un número de participantes superior a los 30 sujetos, se puede asumir que la distribución muestral es normal. Además, teniendo en cuenta también que las escalas de medida utilizadas en el diseño del instrumento son de intervalo, se decidió utilizar pruebas paramétricas para el contraste de las hipótesis. El número de variables independientes y dependientes, así como la condición de dependencia o interdependencia de los grupos participantes, determinan el tipo de análisis concreto que se ha efectuado en cada caso concreto sobre los datos de campo obtenidos en el estudio empírico.

Para realizar el contraste de Hipótesis, se toman como variables independientes las descritas anteriormente (*Sexo, Edad del Alumno, Condición de Alumno con Necesidades Educativas Especiales, Tipo de Centro Educativo, Situación Geográfica del Centro Educativo, Uso Habitual de Tecnología no Inmersiva, Uso Habitual en Clase de Herramientas de RA, Uso en Clase de Herramientas de RV y Uso Habitual de Sistemas de Evaluación Adaptados a las Nuevas Tecnologías*) y como variables dependientes las tres puntuaciones factoriales obtenidas (*Nivel de Motivación, Grado de Aceptación de la Tecnología y Grado de Aceptación de un Sistema de Evaluación Digital Adaptado*). Para comparar datos cuantitativos con más de dos grupos, se utiliza la prueba paramétrica para datos cuantitativos denominada ANOVA de un factor (*one-way ANOVA*), completamente aleatorizado (A-CA). Esta prueba es la equivalente a la $T(t)$ de Student para dos muestras independientes, pero aplicada a casos que cuentan con más de dos muestras, teniendo en cuenta que se cumplían los supuestos específicos para poder aplicar esta prueba en particular: independencia, distribución normal de la muestra y homogeneidad de varianzas u homocedasticidad (Hair, Black, Babin, y Anderson, 2018; Pardo y San Martín, 2015).

En este sentido, el criterio de independencia se cumple ya que todas y cada una de las puntuaciones obtenidas de los estudiantes que han participado en el estudio, son independientes tanto de las de su mismo grupo, como de las del resto de los grupos. Además, se asume que el tamaño de la muestra es lo suficientemente grande para garantizar que se ha extraído de una población normal y que el estadístico F es lo

suficientemente robusto. Por otra parte, para comprobar la homocedasticidad u homogeneidad de varianzas, se sigue el criterio establecido por Sáez (2017), aplicando el estadístico de Levene, obteniendo una significación superior a 0,05 en los casos de estudio. De manera que, se acepta la hipótesis de homogeneidad o de igualdad de varianzas y se realiza la prueba, obteniendo algunas diferencias significativas o cercanas a la significación estadística $p < 0,05$ entre las variables de contraste establecidas en cada caso concreto y los tres factores obtenidos:

En la Tabla 74, se puede observar que en la variable *Edad del Alumno*, el valor o nivel crítico p asociado al estadístico F ($sig. = 0,05$) es igual que 0,05, de manera que se puede concluir que existen diferencias estadísticamente significativas, pudiendo interpretar que, la citada variable (variable independiente), influye sobre el tercer Factor (variable dependiente), denominado *Grado de Aceptación de un Sistema de Evaluación Digital Adaptado*: $F(2,157) = 3,03$, $p = ,05$. Por lo tanto, la Edad de los Estudiantes, tiene un impacto estadísticamente significativo sobre el nivel de aceptación de un sistema de evaluación adaptado.

Tabla 74

Resumen del ANOVA de un factor (procedimiento: ANOVA de un factor). Variable: Edad del Alumno

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Nivel de motivación	Entre grupos	,851	2	,426	,422	,656
	Dentro de grupos	158,149	157	1,007		
	Total	159,000	159			
Grado de aceptación de la tecnología de RA	Entre grupos	1,009	2	,505	,501	,607
	Dentro de grupos	157,991	157	1,006		
	Total	159,000	159			
Grado de aceptación de un sistema de evaluación adaptado (SEDA)	Entre grupos	5,914	2	2,957	3,032	,051
	Dentro de grupos	153,086	157	,975		
	Total	159,000	159			

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Sin embargo, un valor del estadístico F significativo, no siempre se corresponde con un resultado relevante o con un efecto importante, de manera que, para poder valorar la relevancia del resultado obtenido, es necesario proceder a calcular el tamaño del efecto. Para determinar el grado de relación entre la variable categórica (*edad*) y la variable cuantitativa o dependiente (*Grado de aceptación de un sistema de evaluación adaptado*), se ha calculado el valor de la medida de asociación llamada *eta-cuadrado* (η^2) corregida, que se muestra en la Tabla 76, a partir de los grupos de edad que se muestran en la Tabla 75. El valor obtenido de η^2 corregida, es muy parecido al resultado ofrecido por otras medidas de asociación, como la que ofrece la medida *omega-cuadrado* (ω^2) (Pardo y San Martín, 2015).

Tabla 75

Factores inter-sujetos. Variable: Edad del alumno

	Etiqueta de valor	N
Edad del Alumno	2	15 Años
	3	16 Años
	4	17 o más Años

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 76

Obtención del valor de eta-cuadrado. ANOVA de un factor (procedimiento: MLG > Univariante)⁷

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada ⁸
Modelo corregido	5,914 ⁹	2	2,957	3,032	,051	,037	6,065	,580
Interceptación	3,210	1	3,210	3,292	,072	,021	3,292	,438
Edad	5,914	2	2,957	3,032	,051	,037	6,065	,580
Error	153,086	157	,975					
Total	159,000	160						
Total corregido	159,000	159						

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

⁷ Variable dependiente: Factor 3

⁸ Se ha calculado utilizando $\alpha = ,05$

⁹ R al cuadrado = ,037 (R al cuadrado ajustada = ,025)

Para su correcta interpretación, se han tenido en cuenta los valores de referencia propuestos por Cohen (1988), para poder identificar efectos de intensidad baja (0,01), intensidad media (0,06), e intensidad alta (0,14).

En este caso de estudio, y de acuerdo con el criterio establecido por Cohen para esta clase de medidas, puede concluirse que, la intensidad de la asociación encontrada es baja-media ($0,01 < 0,025 < 0,06$).

Los resultados del análisis *post hoc* de los datos obtenidos muestran que, los grupos de alumnos de 16 años y los de 17 o más años tienen una puntuación mayor en el estadístico *F* correspondiente al factor *Grado de Aceptación de un Sistema de Evaluación Digital Adaptado*, que el resto de alumnos. Por lo que se puede concluir que, los estudiantes que tienen 16 y 17 años o más de edad presentan un mayor grado de aceptación de los sistemas de evaluación adaptados, en comparación con el resto de estudiantes con menor edad (Tablas 77 y 78).

Tabla 77

Comparaciones múltiples post-hoc: Prueba de Tukey. (ANOVA). Variable: Edad del alumno¹⁰

(I) Edad del Alumno	(J) Edad del Alumno	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
15 Años	16 Años	,13615203	,16151515	,677	-,2460175	,5183216
	17 o más Años	-,70917020	,35025790	,110	-1,5379340	,1195936
16 Años	15 Años	-,13615203	,16151515	,677	-,5183216	,2460175
	17 o más Años	-,84532223*	,34653883	,042	-1,6652861	-,0253583
17 o más Años	15 Años	,70917020	,35025790	,110	-,1195936	1,5379340
	16 Años	,84532223*	,34653883	,042	,0253583	1,6652861

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

¹⁰ Variable dependiente: Factor 3

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05

Tabla 78

Subconjuntos homogéneos. (ANOVA de un factor). HSD Tukey^{11,12,13}. Variable: Edad del alumno

Edad del Alumno	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
16 Años	83	-,1054140	
15 Años	68	,0307380	
17 o más Años	9		,7399082
Sig.		,892	1,000

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

¹¹ Se visualizan las medidas para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

¹² Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 21,760.

¹³ Se utiliza la media armónica de tamaños de grupo distintos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

En la Tabla 79, se puede observar que en la variable *Condición de Alumno ANEE*, el valor o nivel crítico p asociado al estadístico F ($sig. = 0,02$) es menor que 0,05. Existen diferencias estadísticamente significativas, pudiendo interpretar que la citada variable independiente influye sobre el segundo Factor (variable dependiente), denominado *Grado de Aceptación de la Tecnología*: $F(1,158) = 5,47, p < ,05$. Por lo tanto, la condición de *Alumno con Necesidades Educativas Especiales* tiene un impacto estadísticamente significativo sobre el *Grado de Aceptación de la Tecnología de Realidad Aumentada*.

Tabla 79

Resumen del ANOVA de un factor (procedimiento: ANOVA de un factor). Variable: ANEE

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Nivel de motivación	Entre grupos	2,074	1	2,074	2,088	,150
	Dentro de grupos	156,926	158	,993		
	Total	159,000	159			
Grado de aceptación de la Tecnología de RA	Entre grupos	5,320	1	5,320	5,469	,021
	Dentro de grupos	153,680	158	,973		
	Total	159,000	159			
Grado de aceptación de un sistema de evaluación adaptado (SEDA)	Entre grupos	2,007	1	2,007	2,020	,157
	Dentro de grupos	156,993	158	,994		
	Total	159,000	159			

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Como en el caso anterior, para determinar el grado de relación entre la variable categórica (*Condición de Alumno ANEE*) y la variable cuantitativa o dependiente (*Grado de Aceptación de la Tecnología*), se ha calculado el valor de la medida de asociación llamada *eta-cuadrado* (η^2) corregida, que se muestra en la Tabla 81, a partir de los dos grupos que se muestran en la Tabla 80.

Tabla 80

Factores inter-sujetos. Variable: Condición de Alumno ANEE

		Etiqueta de valor	N
Alumno con Necesidades Educativas Especiales	1	Sí	2
	2	No	158

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 81

Obtención del valor de eta-cuadrado. ANOVA de un factor (procedimiento: MLG > Univariante)¹⁴

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada ¹⁵
Modelo corregido	5,320 ¹⁶	1	5,320	5,469	,021	,033	5,469	,642
Interceptación	5,057	1	5,057	5,199	,024	,032	5,199	,620
ANEE	5,320	1	5,320	5,469	,021	,033	5,469	,642
Error	153,680	158	,973					
Total	159,000	160						
Total corregido	159,000	159						

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

¹⁴ Variable dependiente: Factor 2

¹⁵ Se ha calculado utilizando $\alpha = ,05$

¹⁶ R al cuadrado = ,033 (R al cuadrado ajustada = ,027)

Para su correcta interpretación, se han tenido en cuenta los valores de referencia propuestos por Cohen (1988), para poder identificar efectos de intensidad baja (0,01), intensidad media (0,06), e intensidad alta (0,14).

En este caso de estudio concreto, y de acuerdo con el mismo criterio anterior, establecido por Cohen para esta clase de medidas, puede concluirse que, la intensidad de la asociación encontrada es baja-media ($0,01 < 0,027 < 0,06$).

Además, un análisis *post hoc* revela que los estudiantes que presentan una condición de *Alumno con Necesidades Educativas Especiales* tienen una puntuación mayor en el estadístico *F* correspondiente al factor *Grado de Aceptación de la Tecnología* que el resto de alumnos. Por lo que se puede concluir que los alumnos con necesidades educativas especiales tienen un mayor grado de aceptación de la tecnología basada en la RA, en comparación con el resto de los estudiantes.

En la Tabla 82, se puede observar que en la variable *Situación Geográfica del Centro Educativo*, el valor o nivel crítico *p* asociado al estadístico *F* (*sig.* = 0,006) es menor que 0,05. De manera que existen diferencias estadísticamente significativas, pudiendo interpretar que la citada variable independiente, influye sobre el segundo Factor (variable dependiente) denominado *Grado de Aceptación de la Tecnología de RA*: $F(5,154) = 3,39, p < ,05$.

Tabla 82

Resumen del ANOVA de un factor (procedimiento: ANOVA de un factor). Variable: Sit. Centro Educativo

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Nivel de motivación	Entre grupos	3,551	5	,710	,704	,622
	Dentro de grupos	155,449	154	1,009		
	Total	159,000	159			
Grado de aceptación de la Tecnología de RA	Entre grupos	15,777	5	3,155	3,393	,006
	Dentro de grupos	143,223	154	,930		
	Total	159,000	159			
Grado de aceptación de un sist. de evaluación adaptado (SEDA)	Entre grupos	10,467	5	2,093	2,170	,060
	Dentro de grupos	148,533	154	,964		
	Total	159,000	159			

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Por lo tanto, la variable *Situación Geográfica del Centro Educativo* tiene un impacto estadísticamente significativo tanto sobre el *Grado de Aceptación de la Tecnología* como sobre el *Grado de Aceptación de un Sistema de Evaluación Digital Adaptado*, respectivamente.

Tabla 83

Factores inter-sujetos. Variable: Situación Geográfica del Centro Educativo

		Etiqueta de valor	N
Localidad de ubicación del Centro Educativo	1	Castro Urdiales	35
	3	Reinosa	6
	4	San Mateo-Los Corrales	9
	5	San Vicente de la Barquera	7
	6	Santander	87
	7	Torrelavega	16

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 84

Obtención del valor de eta-cuadrado. ANOVA de un factor (procedimiento: MLG > Univariante)¹⁷

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada¹⁸
Modelo corregido	15,777 ¹⁹	5	3,155	3,393	,006	,099	16,965	,898
Interceptación	,469	1	,469	,504	,479	,003	,504	,109
EntDemog	15,777	5	3,155	3,393	,006	,099	16,965	,898
Error	143,223	154	,930					
Total	159,000	160						
Total corregido	159,000	159						

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

¹⁷ Variable dependiente: Factor 2

¹⁸ Se ha calculado utilizando alpha = ,05

¹⁹ R al cuadrado = ,099 (R al cuadrado ajustada = ,070)

Como en los dos casos de estudio anteriores, para determinar el grado de relación entre la variable categórica (*Situación Geográfica del Centro Educativo*) y la variable cuantitativa o dependiente (*Grado de Aceptación de la Tecnología*), se ha calculado el valor de la medida de asociación llamada *eta-cuadrado* (η^2) corregida, que se muestra en la Tabla 84, a partir de los grupos que se muestran en la Tabla 83.

Como en los dos casos de estudio anteriores, para su correcta interpretación, se han tenido en cuenta los valores de referencia propuestos por Cohen (1988), con el fin de identificar efectos de intensidad baja (0,01), intensidad media (0,06), e intensidad alta (0,14).

En este caso de estudio, y de acuerdo con el mismo criterio de los casos anteriores, establecido por Cohen para esta clase de medidas, puede concluirse que, la intensidad de la asociación encontrada es media ($0,06 < 0,07 < 0,14$).

Por otra parte, un análisis *post hoc* más detallado de los datos obtenidos en este caso de estudio (Tablas 85 y 86) revela que, los alumnos de los centros educativos situados en municipios con más de 10.000 habitantes y entornos de grandes ciudades (Santander, Torrelavega y Castro Urdiales), obtienen mayores puntuaciones medias en el factor *F* en general, correspondiente al *Grado de Aceptación de la Tecnología*, en comparación con los alumnos de centros educativos situados en municipios con menor número de habitantes y en entornos de localidades más pequeñas (Reinosa, San Vicente de la Barquera y San Mateo-Los Corrales de Buelna).

Una hipótesis que explique estos resultados, puede deberse a la existencia de una posible brecha digital entre núcleos de población con una elevada densidad de población, frente a núcleos de población rurales o con una densidad población baja.

Tabla 85

Comparaciones múltiples post-hoc: Prueba de Tukey. (ANOVA). Variable: Situación del Centro Educativo²⁰

(I) Localidad de ubicación del Centro Educativo	(J) Localidad de ubicación del Centro Educativo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior

CAPÍTULO VIII. Análisis de datos e interpretación de resultados cuantitativos

	Reinosa	,54775528	,42611578	,793	-,6819873	1,7774978
	San Mateo-Corrales	,41656743	,36042624	,857	-,6235993	1,4567342
Castro Urdiales	San Vicente de la Barquera	,38748523	,39928863	,927	-,7648359	1,5398063
	Santander	,07060240	,19303302	,999	-,4864784	,6276832
	Torrelavega	-,82818856	,29102910	,056	-1,6680797	,0117026
	Castro Urdiales	-,54775528	,42611578	,793	-1,7774978	,6819873
Reinosa	San Mateo-Corrales	-,13118785	,50826954	1,000	-1,5980208	1,3356451
	San Vicente de la Barquera	-,16027005	,53652797	1,000	-1,7086550	1,3881149
	Santander	-,47715288	,40705356	,849	-1,6518831	,6975773
	Torrelavega	-1,37594384*	,46165874	,039	-2,7082610	-,0436266
San Mateo-Los Corrales	Castro Urdiales	-,41656743	,36042624	,857	-1,4567342	,6235993
	Reinosa	,13118785	,50826954	1,000	-1,3356451	1,5980208
	San Vicente de la Barquera	-,02908220	,48599864	1,000	-1,4316428	1,3734784
	Santander	-,34596503	,33767590	,909	-1,3204758	,6285458
San Vicente de la Barquera	Torrelavega	-1,24475599*	,40182235	,028	-2,4043893	-,0851227
	Castro Urdiales	-,38748523	,39928863	,927	-1,5398063	,7648359
	Reinosa	,16027005	,53652797	1,000	-1,3881149	1,7086550
	San Mateo-Corrales	,02908220	,48599864	1,000	-1,3734784	1,4316428
Santander	Santander	-,31688283	,37887907	,960	-1,4103033	,7765376
	Torrelavega	-1,21567379	,43701892	,066	-2,4768821	,0455345
	Castro Urdiales	-,07060240	,19303302	,999	-,6276832	,4864784
	Reinosa	,47715288	,40705356	,849	-,6975773	1,6518831
San Mateo-Corrales	San Mateo-Corrales	,34596503	,33767590	,909	-,6285458	1,3204758
	San Vicente de la Barquera	,31688283	,37887907	,960	-,7765376	1,4103033
	Torrelavega	-,89879096*	,26232781	,010	-1,6558520	-,1417299
Torrelavega	Castro Urdiales	,82818856	,29102910	,056	-,0117026	1,6680797
	Reinosa	1,37594384*	,46165874	,039	,0436266	2,7082610
	San Mateo-Corrales	1,24475599*	,40182235	,028	,0851227	2,4043893
	San Vicente de la Barquera	1,21567379	,43701892	,066	-,0455345	2,4768821
	Santander	,89879096*	,26232781	,010	,1417299	1,6558520

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

²⁰ Variable dependiente: Factor 2

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 86

Subconjuntos homogéneos. (ANOVA de un factor). HSD Tukey^{21,22,23}. Variable: Sit. Centro Educativo

Localidad de ubicación del Centro Educativo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Reinosa	6	-,5312589	
San Mateo-Los Corrales	9	-,4000710	
San Vicente de la Barquera	7	-,3709888	
Santander	87	-,0541060	-,0541060
Castro Urdiales	35	,0164964	,0164964
Torrelavega	16		,8446850
Sig.		,751	,229

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

²¹ Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

²² Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 11,468.

²³ Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

En la variable *Uso en Clase de Herramientas de RA*, el valor del estadístico *F* con su nivel de significación intergrupos es menor que 0,05, por lo que existen diferencias significativas. Se puede interpretar que la citada variable independiente influye sobre el tercer Factor (variable dependiente), denominado *Grado de Aceptación de Sistema de Evaluación Digital Adaptado*.

En la Tabla 87 se puede observar que en la variable *Utilización en Clase de Herramientas de RA*, el valor o nivel crítico *p* asociado al estadístico *F* (*sig.* = 0,01) es menor que 0,05. Existen diferencias estadísticamente significativas. Se puede interpretar de esta manera que la citada variable independiente influye sobre el tercer Factor (variable dependiente), denominado *Grado de Aceptación de un Sistema de Evaluación Digital Adaptado*: $F(1,158) = 6,37, p < ,05$.

Por lo tanto, la *utilización habitual en clase de recursos educativos basados en tecnología de RA*, tiene un impacto estadísticamente significativo sobre el *Grado de Aceptación de un Sistema de Evaluación Digital Adaptado*.

Tabla 87

Resumen del ANOVA de un factor (procedimiento: ANOVA de un factor). Variable: Uso en clase de RA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Nivel de motivación	Entre grupos	,364	1	,364	,363	,548
	Dentro de grupos	158,636	158	1,004		
	Total	159,000	159			
Grado de aceptación	Entre grupos	,001	1	,001	,001	,973
	Dentro de grupos	158,999	158	1,006		
	Total	159,000	159			
Grado de aceptación de un sistema de evaluación adaptado (SEDA)	Entre grupos	6,166	1	6,166	6,374	,013
	Dentro de grupos	152,834	158	,967		
	Total	159,000	159			

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Como en los tres casos de estudio anteriores, para determinar el grado de relación entre la variable categórica (*Utilización en Clase de Herramientas de RA*) y la variable cuantitativa o dependiente (*Grado de Aceptación de un Sistema de Evaluación Digital Adaptado*), se ha calculado el valor de la medida de asociación llamada *eta-cuadrado* (η^2) corregida, que se muestra en la Tabla 89, a partir de los grupos que se muestran en la Tabla 88.

Tabla 88

Factores inter-sujetos. Variable: Utilización en clase de herramientas de RA

		Etiqueta de valor	N
Conocimiento previo mediante el uso en clase de recursos de Realidad Aumentada	1	Sí	63
	2	No	97

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

Tabla 89

Obtención del valor de eta-cuadrado. ANOVA de un factor (procedimiento: MLG > Univariante)²⁴

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada ²⁵
Modelo corregido	6,166 ²⁶	1	6,166	6,374	,013	,039	6,374	,709
Interceptación	,278	1	,278	,288	,592	,002	,288	,083
ConocIntRA	6,166	1	6,166	6,374	,013	,039	6,374	,709
Error	152,834	158	,967					
Total	159,000	160						
Total corregido	159,000	159						

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio actitudinal.

²⁴ Variable dependiente: Factor 3²⁵ Se ha calculado utilizando alpha = ,05²⁶ R al cuadrado = ,039 (R al cuadrado ajustada = ,033)

Igual que en los tres casos de estudio anteriores, para su correcta interpretación, se han tenido en cuenta los valores de referencia propuestos por Cohen (1988), para poder identificar efectos de intensidad baja (0,01), intensidad media (0,06) e intensidad alta (0,14).

De acuerdo con el mismo criterio de los tres casos anteriores, establecido por Cohen para esta clase de medidas, puede concluirse que, la intensidad de la asociación encontrada en este caso de estudio es baja-media ($0,01 < 0,033 < 0,06$).

Además, un análisis *post hoc* revela que, los estudiantes que utilizan en clase recursos de RA, obtienen una puntuación mayor en el estadístico *F* correspondiente al factor *Grado de Aceptación Sistema de Evaluación Digital Adaptado*, que el resto de alumnos. Por lo tanto, se puede concluir que los alumnos que utilizan en clase recursos de RA, tienen un mayor grado de aceptación de los sistemas de evaluación adaptados, en comparación con el resto de los estudiantes.

El análisis estadístico efectuado en función del resto de las variables categóricas que se han tenido en cuenta en este estudio (*el tipo de centro educativo, el uso habitual de*

tecnología no inmersiva en el aula, el uso habitual fuera del centro educativo de herramientas de Realidad Aumentada, el uso en clase de herramientas educativas de RV y el uso habitual de sistemas de evaluación adaptados a las nuevas tecnologías) no muestran diferencias significativas, por lo que no se considera oportuno incluir el detalle completo de los resultados obtenidos del citado análisis.

Capítulo IX. Análisis de datos e interpretación de resultados cualitativos

9.1.- Estudio cualitativo relativo al nivel de formación del profesorado en tecnología educativa

Con el objetivo de completar la información obtenida a través del análisis de los datos efectuados en los dos estudios principales efectuados previamente: estudio de rendimiento y estudio actitudinal, se realizó un estudio adicional de corte cualitativo. Los resultados obtenidos mediante el análisis de los datos cualitativos se resumen a continuación.

9.1.1.- Fiabilidad y validez. Triangulación

En estudios de corte cualitativo, la fiabilidad y la validez del instrumento se traduce tanto en términos de confianza en los resultados obtenidos, como de seguridad en las conclusiones (León y Montero, 2015).

El análisis de los datos efectuado sobre los datos cualitativos registrados se basa en el cálculo de las frecuencias y de los porcentajes obtenidos de las respuestas dadas a cada una de las tres preguntas concretas planteadas a los docentes. Hay que tener en cuenta que, para tratar de maximizar las garantías de calidad en la información analizada, se han utilizado dos fuentes de datos diferenciadas: por una parte, el grupo de docentes pertenecientes a centros educativos públicos y, por otra parte, el grupo de docentes pertenecientes a centros educativos concertados. Este procedimiento, permite triangular la información obtenida de los dos grupos de profesores independientes y posteriormente comparar los resultados. Se trata, por lo tanto, de una triangulación de datos, realizada a través de las respuestas ofrecidas por los sujetos participantes.

El proceso de triangulación consiste básicamente en la utilización de dos o más métodos para obtener datos e información sobre un mismo tema de estudio y constituye un enfoque muy útil en investigaciones socioeducativas (Sáez, 2017).

El análisis de los datos obtenidos a partir de las citadas respuestas ofrecidas por los docentes a las tres preguntas planteadas, relativas a su nivel de formación profesional en tecnología educativa, obtenida a través de cursos formativos, revela altos porcentajes de coincidencia en las mismas, lo que significa un elevado acuerdo entre los docentes participantes. Todo ello, permite concluir que, la seguridad sobre los resultados obtenidos es alta, lo que a su vez justifica que, la confianza sobre los datos ofrecidos por los docentes mediante el proceso de triangulación sea elevada.

9.1.2.- Estudio descriptivo

El estudio descriptivo de las repuestas ofrecidas por los docentes que participaron en el estudio, permite determinar exactamente cuál es el nivel de formación del profesorado. En concreto, del profesorado de la asignatura de ciencias de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria, en el uso de tecnología educativa no inmersiva, inmersiva (especialmente con RA), así como en la utilización de sistemas específicos de evaluación digitales y adaptados.

El estudio descriptivo se basa en el análisis e interpretación de las frecuencias y de los porcentajes de las respuestas que los docentes dieron a cada una de las preguntas planteadas en el instrumento utilizado. Los estadísticos descriptivos de la muestra se muestran de manera pormenorizada en la Tabla 90.

Tabla 90

Estadísticos de la muestra del profesorado

		Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3
N	Válido	16	16	16
	Perdidos	0	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio relativo a la formación del profesorado.

Del análisis de las respuestas ofrecidas por el conjunto de los 16 docentes que participaron en alguna de las diferentes etapas de la investigación a cada una de las tres preguntas planteadas sobre su formación específica en el uso de tecnología educativa en el aula, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación.

A la pregunta formulada en el Ítem 1 al conjunto de los docentes, el 75,0% de los profesores ($n = 12$), respondieron haber realizado alguna vez, algún curso de formación relacionado con el uso de tecnología educativa no inmersiva, mientras que el 25,0% de los profesores ($n = 4$) respondieron que no había realizado nunca ningún curso de estas características (Véase Tabla 91). Los resultados gráficos, se muestran en la Figura 37.

Tabla 91

Respuestas ofrecidas por los docentes a la Pregunta 1

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	4	25,0	25,0	25,0
	Sí	12	75,0	75,0	100,0
	Total	16	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio relativo a la formación del profesorado.

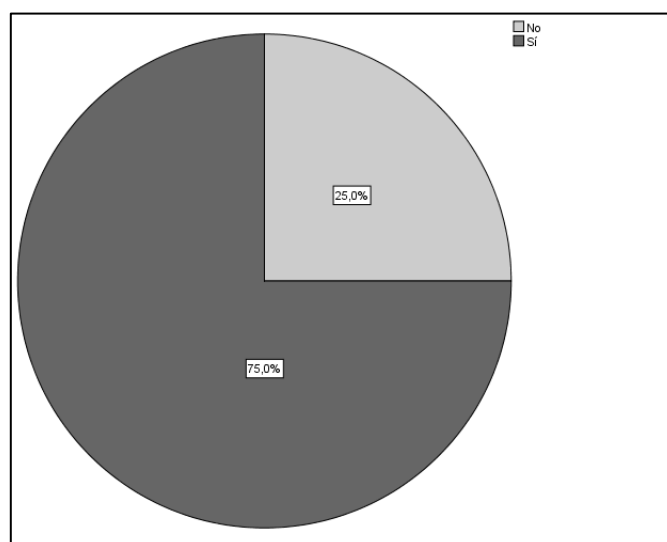


Figura 37. Porcentaje de respuestas correspondiente a la Pregunta 1.

Fuente: Elaboración propia.

A la pregunta planteada en el Ítem 2 a los docentes, el 100,0% de los profesores participantes ($n = 16$), respondieron no haber realizado nunca ningún curso de formación relacionado con tecnología inmersiva aplicada a la educación, basado específicamente en tecnología de RA (Tabla 92). (Representación gráfica en Figura 38).

Tabla 92

Respuestas ofrecidas por los docentes a la Pregunta 2

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	16	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio relativo a la formación del profesorado.

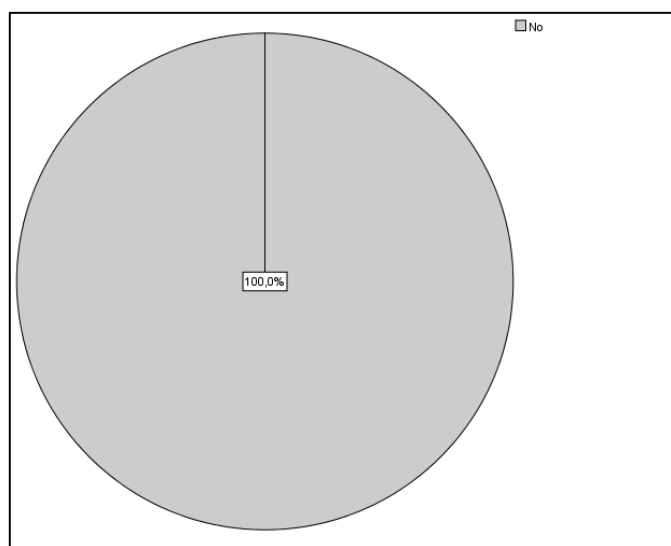


Figura 38. Porcentaje de respuestas correspondiente a la Pregunta 2.

Fuente: Elaboración propia.

A la pregunta formulada en el Ítem 3, el 93,8% de los profesores ($n = 15$), respondieron que nunca habían realizado ningún curso de formación relacionado con el uso de sistemas digitales de evaluación adaptados al uso de tecnología inmersiva en el aula. Mientras que el 6,3% de los profesores ($n = 1$) respondió que sí había realizado

alguna vez algún curso de formación en este sentido (Tabla 93). Los resultados gráficos, se muestran en la Figura 39.

Tabla 93

Respuestas ofrecidas por los docentes a la Pregunta 3

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No	15	93,8	93,8	93,8
	Sí	1	6,3	6,3	100,0
	Total	16	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el estudio relativo a la formación del profesorado.

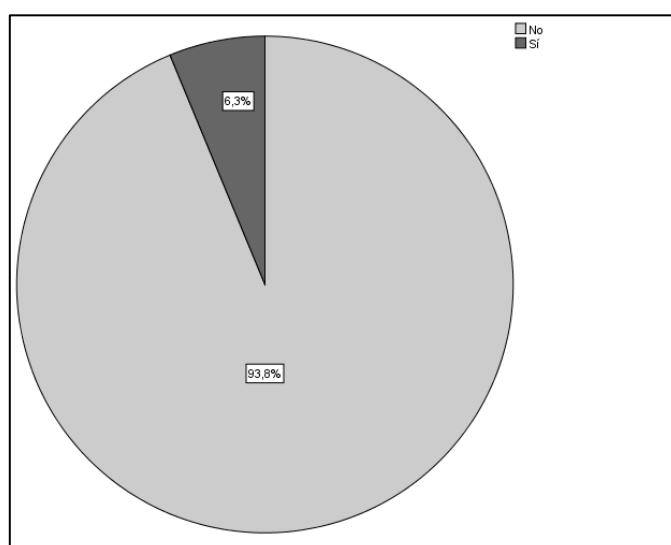


Figura 39. Porcentaje de respuestas correspondiente a la Pregunta 3.

Fuente: Elaboración propia.

9.1.3.- Interpretación de resultados cualitativos

Estos resultados revelan que la formación profesional de los docentes en tecnología educativa no inmersiva es prácticamente generalizada. No obstante, cabe destacar también que, aún hay un porcentaje importante de profesores que reconoce no haber

recibido o participado nunca en ningún curso de formación relacionado con este tipo de recursos educativos.

Por otra parte, los datos analizados revelan también que la formación profesional de los docentes en el uso de recursos educativos inmersivos basados en tecnología de RA es prácticamente inexistente. Ocurre lo mismo con la formación recibida por los docentes relativa a sistemas de evaluación adaptados al uso de recursos tecnológicos inmersivos ya que, también es prácticamente inexistente.

Hay que señalar también que, las preguntas planteadas a los docentes en el estudio cualitativo se refieren sólo y exclusivamente a su formación obtenida a través de la participación en cursos formativos. La determinación del motivo, o de los motivos concretos por los cuales los docentes no participan en los diferentes cursos oficiales que ofertan los organismos de la administración pública, no se han analizado. Tampoco se ha analizado si la oferta educativa ofrecida por los diferentes Centros de Formación del Profesorado recoge cursos suficientes o si la oferta existente está dimensionada y planificada adecuadamente. Una posible explicación a este hecho, puede ser la falta de interés o incluso la desinformación por parte de los docentes sobre este tipo de tecnologías. Otra hipótesis puede ser la falta de información sobre la impartición de cursos relacionados con tecnología inmersiva por parte de los Centros de Formación del Profesorado.

En definitiva, en este estudio no se ha analizado la causa, o las causas exactas por las cuales, los docentes no cuentan con este tipo de formación a nivel profesional, por considerar que no se trata de un dato relevante para alcanzar los objetivos planteados inicialmente en la investigación.

Parte IV. Discusión

La tecnología, utilizada como recurso educativo para la explicación de conceptos clave y la evaluación de conocimientos adquiridos, tiene un potencial de impacto positivo sobre los procesos de aprendizaje de los estudiantes en asignaturas de ciencias de Educación Secundaria Obligatoria.

Mediante el desarrollo del estudio, se ha investigado, en primer lugar, qué tipo de impacto puede llegar a producir una metodología educativa innovadora basada en la utilización de un recurso tecnológico de RA, combinada con un sistema de evaluación adaptado y, en segundo lugar, qué factores asociados influyen en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en el ámbito de las asignaturas de ciencias de la Educación Secundaria.

Los resultados de la investigación se fundamentan en el tratamiento y análisis estadístico de los datos obtenidos en cada uno de los cuatro estudios principales sobre los que se ha estructurado la misma: un estudio piloto previo, un estudio de rendimiento, un estudio actitudinal y un estudio complementario relativo al nivel de formación y al grado de capacitación del profesorado en tecnología educativa.

Este procedimiento, estructurado en diferentes etapas claramente diferenciadas entre sí, pero a la vez complementarias, ha permitido triangular los datos resultantes y completar la información para la obtención de los resultados finales.

El análisis de los datos obtenidos de las valoraciones de los estudiantes, efectuadas a través del estudio piloto, permite determinar que el instrumento utilizado presenta unas características técnicas que son adecuadas para utilizarlo en la valoración previa de las aplicaciones de RA que se utilizarían posteriormente durante el proceso de investigación. Estos resultados, respaldan los datos obtenidos en otras investigaciones relacionadas, como las efectuadas por Cabero-Almenara, Llorente-Cejudo, y Gutiérrez-Castillo (2017), en las que se ha utilizado un instrumento similar. Las valoraciones efectuadas por los estudiantes sobre las cuatro aplicaciones de RA que utilizaron en

clase es muy positiva, en relación con aspectos tanto técnicos como estéticos, pero también con otros aspectos relacionados con la facilidad de uso de los recursos utilizados. Además, los datos analizados, revelan niveles altos en los promedios de las valoraciones efectuadas por los estudiantes, con una homogeneidad media-alta asociada a las respuestas, respecto a las dos dimensiones que componen el cuestionario: características técnicas y de usabilidad. Estos resultados suponen un indicador de la uniformidad y de la fiabilidad de las citadas valoraciones respecto a las cuatro aplicaciones de RA utilizadas en clase por los estudiantes.

Los datos obtenidos en la primera fase del estudio de rendimiento sí produjeron una mejora positiva generalizada en las calificaciones cuantitativas obtenidas por los alumnos que formaron parte de los grupos experimentales. En esta primera fase se comparó: la calificación media obtenida por los estudiantes, a los que se les había explicado un concepto clave de la asignatura mediante una clase tradicional (con ayuda del libro de texto como recurso didáctico, pero sin la intervención de ningún tipo de recurso educativo tecnológico) y la calificación media obtenida por los estudiantes, a los que se les había explicado en clase ese mismo concepto clave de la asignatura con ayuda de un recurso tecnológico no inmersivo (como una presentación multimedia, una pantalla digital, etc.) Sin embargo, el hecho de que la citada diferencia en las calificaciones obtenidas no sea significativa desde un punto de vista estadístico, permite rechazar la hipótesis planteada inicialmente referente a que el uso de una metodología basada en tecnología educativa no inmersiva, puede impactar de manera significativa sobre el rendimiento de los estudiantes.

En la segunda fase del estudio de rendimiento se comparó: la calificación media obtenida por los estudiantes a los que se les había explicado un concepto clave de la asignatura mediante una clase tradicional (impartida con ayuda del libro de texto) y la calificación media obtenida por los estudiantes a los que se les habría explicado ese mismo concepto clave con ayuda de una de las aplicaciones basadas en tecnología de RA. Dichas aplicaciones fueron creadas y seleccionadas previamente y habían sido examinado a través de un sistema de evaluación digital adaptado. Se obtuvieron unas calificaciones cuantitativamente similares, de manera que no se produjeron diferencias

positivas entre las calificaciones de ambos grupos de alumnos. Es necesario resaltar, que tampoco se produjeron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las calificaciones obtenidas por los estudiantes de los grupos experimentales antes y después de efectuar la intervención. Así pues, se puede rechazar la hipótesis planteada inicialmente referente a que el uso de una metodología innovadora, basada en la combinación de tecnología de RA y de un sistema de evaluación digital adaptado, puede impactar de manera positiva y significativa sobre el rendimiento de los estudiantes en general.

Estos resultados, aparentemente, se contraponen con los resultados obtenidos durante los últimos años en diversas investigaciones en donde las ganancias en el aprendizaje y las mejoras en el rendimiento de los estudiantes representan la principal ventaja en el uso de tecnología basada en la RA en entornos educativos y en etapas de Educación Secundaria (Garzón, Pavón y Baldiris, 2019).

Cabe destacar que los datos analizados permiten observar que los estudiantes que formaron parte de los grupos experimentales, a los que se había explicado el concepto clave con ayuda de un recurso tecnológico no inmersivo, obtuvieron calificaciones significativamente más altas y con un tamaño del efecto grande, en comparación con las obtenidas por dos estudiantes de los grupos experimentales a los que se les había explicado el concepto clave con ayuda de la aplicación basada en RA. Este resultado, aparentemente, sugiere el rechazo de la hipótesis planteada referente a que el uso de una metodología innovadora basada en la combinación de tecnología de RA y de un sistema de evaluación digital adaptado, puede impactar de manera positiva y significativa sobre el rendimiento de los estudiantes en general, en comparación con el uso de otras tecnologías no inmersivas.

Cabe señalar también, que no se pudo controlar en la totalidad de los casos, el hecho de que fuese el mismo docente el que impartiese el mismo concepto clave a los estudiantes que formaban parte del grupo de control y del grupo experimental en cada caso. Aunque este hecho sí se garantizó en la mayoría de los casos gracias al esfuerzo y a la organización de los docentes participantes. Sin embargo, sí se pudo garantizar en la

totalidad de los casos, que los conceptos clave impartidos fuesen exactamente los mismos en cada caso.

Con el fin de completar los datos obtenidos, se administró a los grupos de estudiantes que previamente habían participado como grupos experimentales en el desarrollo del estudio de rendimiento y a los cuales se les había explicado en clase el concepto clave seleccionado con ayuda del recurso tecnológico basado en RA y que posteriormente se habían examinado mediante un sistema de evaluación digital adaptado, un formulario actitudinal.

El análisis de los datos obtenidos de las valoraciones de los estudiantes, efectuadas a través del cuestionario actitudinal, permite determinar que el instrumento utilizado presenta unas características técnicas que son adecuadas para utilizarlo en la valoración de una metodología educativa innovadora, basada en la utilización de recursos tecnológicos, tanto para la mejora de los procesos, como para la evaluación de los mismos.

Además, los datos analizados, revelan niveles medios-altos en los promedios de las valoraciones efectuadas por los estudiantes, con una homogeneidad media asociada a las respuestas, respecto a las tres dimensiones que componen el cuestionario: grado de aceptación del recurso tecnológico educativo basado en RA, nivel de motivación alcanzado y grado de comprensión de los conceptos clave de la asignatura estudiados. Todo ello supone un indicador de la uniformidad y de la fiabilidad de las citadas valoraciones. Sin embargo, también supone un argumento de validez para la determinación de la aceptación de la tecnología de RA por parte de los estudiantes, en consonancia con los resultados obtenidos por otras investigaciones relacionadas con este campo (Scherer, Siddiq, y Tondeur, 2020).

A la vista de los datos obtenidos del análisis de las respuestas ofrecidas por los estudiantes en esta fase del estudio se puede observar que una metodología innovadora basada en el uso de un recurso educativo de RA para la explicación de conceptos clave de la asignatura, combinada con un sistema de evaluación adaptado, influyen positivamente sobre el nivel de motivación de los estudiantes en general. Estos datos, completan los resultados obtenidos, a partir de datos cuantitativos y cualitativos, por

otros investigadores en estudios similares, efectuados en el ámbito de la Educación Secundaria (Di Serio, Ibáñez y Delgado, 2013).

En este sentido, un análisis exhaustivo de los datos permite observar que, también se genera un impacto positivo sobre el grado de aceptación de la tecnología basada en la RA en los estudiantes en general. Además, este impacto positivo es significativo en el caso concreto de los alumnos que presentan necesidades educativas especiales (ANEE), con un tamaño del efecto de intensidad baja-media. Este hecho, es debido a que esta tecnología inmersiva utilizada como recurso educativo, permite el desarrollo de habilidades de aprendizaje y aumenta el nivel de motivación de los estudiantes en general, pero también de los alumnos con necesidades educativas especiales en particular. Estos hallazgos, concuerdan con las conclusiones de estudios similares efectuados previamente por otros investigadores en este campo recientemente, que informaron en sus trabajos sobre el potencial que presenta esta tecnología inmersiva en concreto para mejorar el desarrollo de habilidades en los aprendizajes de estudiantes con necesidades especiales de apoyo educativo (Baragash, Al-Samarraie, Ahmed Ibrahim y Alfarraj, 2020).

Además, estos resultados aportan conocimiento científico al vacío existente en la bibliografía en este campo específico. También permiten completar los resultados obtenidos en investigaciones anteriores como las efectuadas por Bacca *et al.* (2014); Wu *et al.* (2013), cuyos estudios consideran las implicaciones positivas que genera la utilización de tecnología de RA con fines educativos por parte de los estudiantes con necesidades educativas especiales (ANEE).

Todo ello permite mantener la hipótesis planteada fundamentada en el principio de que una metodología innovadora, basada en la combinación de tecnología de RA y de un sistema de evaluación digital adaptado, puede impactar de manera positiva sobre factores concretos como: el nivel de motivación y el grado de aceptación de la propia tecnología de RA por parte de los estudiantes en general. Esta hipótesis concuerda con la posición mantenida por algunos estudios previos efectuados por expertos en tecnología educativa como Cabero-Almenara *et al.* (2019), relacionados con los efectos

probados sobre la mejora en la motivación y en la aceptación de esta tecnología en particular por parte de los estudiantes. Los datos obtenidos permiten completar estos estudios, concretando que el grado de aceptación de la tecnología de RA es particularmente significativo en el caso concreto de los alumnos que presenten necesidades educativas especiales (ANEE), con un tamaño del efecto de intensidad baja-media.

Los datos analizados en este estudio sobre la estructura factorial del cuestionario actitudinal, revelan la existencia de un tercer factor, relativo al grado de aceptación de los sistemas de evaluación digitales y adaptados al uso de tecnología educativa basada en RA, valorado de manera positiva por los estudiantes 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. Estos datos sugieren la incorporación de los sistemas de evaluación adaptados como parte de las estrategias metodológicas educativas que se basan en el uso de tecnología inmersiva de RA. Este hallazgo es congruente con la hipótesis propuesta por algunos expertos en tecnología digital como Livingstone (2012) 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 genera cambios metodológicos profundos. Dichos cambios se basan en habilidades concretas y estrategias específicas, relacionadas con el recurso tecnológico educativo, que de otra manera no pueden producirse ni cuantificarse con sistemas de evaluación tradicionales de forma efectiva.

En este sentido, también cabe tener en cuenta que el análisis de los datos obtenidos, evidencia, además, una valoración positiva tanto entre los estudiantes que han utilizado alguna vez en clase herramientas de RA como recurso educativo, como entre los estudiantes con edades comprendidas entre los 16 y 17 años o más, en relación al grado de aceptación de un sistema de evaluación digital adaptado.

Asimismo, los estudiantes pertenecientes a centros educativos situados en entornos urbanos y en municipios de más de 10.000 habitantes, muestran un nivel positivo de

aceptación del sistema de evaluación adaptado. Estos estudiantes también muestran un mayor grado de aceptación de la tecnología de RA como recurso educativo, superior al resto de los estudiantes, lo que puede sugerir la existencia de una brecha digital entre estudiantes de zonas urbanas y estudiantes de zonas rurales (Alalwan *et al.*, 2020).

Por lo tanto, los datos obtenidos son coherentes con la hipótesis planteada. Por lo tanto, el uso habitual en clase de tecnología educativa basada en RA, la edad de los estudiantes y la situación geográfica del centro educativo, pueden impactar de manera positiva y significativa tanto sobre el grado de aceptación de la tecnología de RA, como sobre otros factores concretos, como es el grado de aceptación de un sistema digital de evaluación adaptado.

En este contexto, es reseñable también la relación positiva que perciben los estudiantes al utilizar el recurso educativo basado en RA para mejorar su comprensión de conceptos clave, con el sistema digital adaptado y utilizado para la evaluación de los conocimientos adquiridos, como instrumentos catalizadores para la mejora del proceso de aprendizaje y de su rendimiento académico.

En referencia al análisis de la posible significación de las variables género y tipo de centro educativo, los datos analizados han puesto de manifiesto la ausencia de diferencias significativas entre las citadas variables y el conjunto de los factores relacionados con la motivación, la aceptación de la tecnología o la aceptación del sistema de evaluación digital, por parte de los estudiantes. Los resultados obtenidos explican la probable significación que tiene esta metodología en el conjunto de los estudiantes, así como la ausencia de una brecha digital relacionada con el género, al menos en el contexto educativo en el que se ha desarrollado este estudio.

Respecto a los alumnos que ya han utilizado en clase con anterioridad tecnología basada en la RA, cabe señalar que existe una relación significativa entre los citados estudiantes y su percepción para poder mejorar su rendimiento y, por lo tanto, sus resultados académicos, si sus profesores utilizasen recursos educativos complementarios basados en RA para la explicación de determinados conceptos clave.

Por otra parte, cabe destacar también que los cuatro conceptos clave seleccionados para ser explicados a los estudiantes, todos ellos pertenecientes al currículum de la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria, comparten la misma característica común. Se trata de conceptos de difícil explicación para el profesor o de difícil comprensión para los alumnos, principalmente debido a sus características de abstracción y a la necesidad de que, para poder ser comprendidos de manera sencilla, previamente tienen que poder ser visualizados espacialmente, como ya se ha comentado en el Capítulo V.

Se trata, por lo tanto, de unos conceptos clave que cumplen con unas características intrínsecas concretas. Sin embargo, son conceptos generales y habituales en las asignaturas de ciencias de estos niveles educativos.

Los datos obtenidos en este estudio permiten señalar que los estudiantes pueden entender mejor los conceptos clave que les explica el profesor en clase, con ayuda de la aplicación de RA, utilizada en este caso como un recurso educativo. Esto permite sostener la hipótesis planteada respecto a que una tecnología basada en RA, utilizada como recurso educativo complementario, puede impactar de manera positiva sobre la mejora en la comprensión, por parte de los estudiantes en general. La mejora en la comprensión no sólo de unos pocos conceptos clave concretos, sino de cualquier concepto clave incluido en el currículum de las asignaturas de ciencias de Educación Secundaria. Especialmente, la mejora en la comprensión de aquellos conceptos que posean como característica particular un componente espacial, tridimensional, abstracto, o un grado de complejidad mayor para su representación gráfica. Además, los resultados de los datos analizados, también indican la existencia de un efecto estadísticamente significativo entre el uso que hacen algunos estudiantes de aplicaciones basadas en RA en su entorno privado y su disposición para utilizar esta tecnología también con fines educativos. Este hecho evidencia la importancia de que los alumnos utilicen tecnología basada en la RA fuera de su entorno educativo, ya que puede favorecer su disposición para utilizarla también posteriormente en el aula como recurso educativo complementario, para mejorar la comprensión de los conceptos claves en sus asignaturas de ciencias.

Estos datos se pueden considerar acordes, y además amplían los resultados obtenidos en estudios de investigación similares, efectuados en este campo, como los realizados por Cai *et al.* (2017); Ibáñez *et al.* (2014); Sahin y Yilmaz (2020) para determinar el posible impacto que puede generar el uso de tecnología de RA sobre las ganancias en el aprendizaje y sobre las mejoras en los procesos cognitivos asociados, en comparación con otros métodos y recursos didácticos no inmersivos y considerados tradicionales. En dichos estudios, los investigadores utilizaron esta tecnología inmersiva con resultados positivos, para explicar conceptos marcadamente específicos y técnicos, con una dificultad especial asociada para su visualización tridimensional en el espacio, relacionados con fenómenos físicos concretos como los campos magnéticos, el electromagnetismo y la estructura del sistema solar respectivamente, en asignaturas de ciencias de Educación Secundaria.

Una revisión profunda del conjunto de los datos señalados y obtenidos en el estudio pone en evidencia la capacidad de una metodología educativa innovadora para inducir mejoras en los aprendizajes en general. Su diseño se fundamenta en la combinación de un recurso educativo basado en RA, con un sistema digital de evaluación adaptado, para impactar de manera positiva sobre el nivel de motivación y el grado de aceptación tecnológico por parte de los estudiantes, lo que debería a su vez, generar ganancias en los aprendizajes. Sin embargo, y a la luz de los resultados obtenidos, cabe reflexionar sobre el hecho de que esos mismos datos también revelan que el uso de tecnología inmersiva basada en RA como recurso educativo, no ha generado ningún tipo de impacto sobre el rendimiento de los alumnos de la muestra, en comparación con una clase tradicional, o incluso en comparación con el uso de tecnología no inmersiva, utilizada también como recurso educativo. Mientras que sí se han observado efectos positivos generados sobre el aprendizaje de los alumnos al utilizar un recurso educativo basado en tecnología no inmersiva frente a las metodologías tradicionales, aunque no fuesen significativas como ya se ha comentado.

En este orden de cosas, hay que tener en cuenta también que los datos obtenidos relacionados con el nivel de formación del profesorado revelan que la mayoría de los

docentes de los estudiantes que han participado en el estudio contaban con formación previa en tecnología educativa no inmersiva. Por el contrario, el total de los docentes participantes, no habían recibido nunca ningún tipo de formación específica relacionada con tecnología inmersiva, basada en RA y tan solo uno de ellos, había recibido formación previa relacionada específicamente con sistemas digitales de evaluación adaptados al uso de tecnología inmersiva.

Estos datos, además de ser relevantes, concuerdan con las hipótesis planteadas y amplían los resultados obtenidos por otros investigadores como Alalwan *et al.* (2020). En su investigación, evidencian una falta de comprensión generalizada, relativa a la manera adecuada de utilizar la tecnología inmersiva para optimizar sus efectos sobre los aprendizajes. Además, sugieren una notable falta de formación específica de los docentes en general, en cuanto al modo de utilización de la tecnología inmersiva para un uso correcto de la misma, debido a diversas causas.

En este sentido, expertos en educación como Scherer, Siddiq y Tondeur (2020) continúan estudiando y analizando cuáles son exactamente las principales causas que condicionan la aceptación de la tecnología por parte de los docentes en ámbitos educativos. Aunque algunos estudios recientes como el desarrollado por Marques y Pombo (2020) muestran una disposición positiva de los docentes hacia el uso académico de este tipo de tecnología educativa, parece un hecho necesario y fundamental que los profesores cuenten también con formación específica para el desarrollo tanto de habilidades concretas que posibiliten un uso correcto de los recursos tecnológicos, como de las actitudes y los conocimientos específicos para poder desarrollar las citadas habilidades, de manera que los recursos tecnológicos sean efectivos para la práctica docente.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, este estudio ofrece evidencia empírica relacionada con la falta generalizada de formación del profesorado en tecnología inmersiva. Los datos obtenidos permiten mantener provisionalmente la hipótesis planteada, relativa a que la formación específica del profesorado en tecnología educativa inmersiva puede impactar de manera positiva y significativa sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje que integran metodologías innovadoras basadas

en recursos tecnológicos inmersivos y en sistemas digitales de evaluación adaptados. Dichos datos son acordes también con la opinión de expertos educativos que defienden el planteamiento de que las mejoras en el rendimiento de los estudiantes, depende en gran medida del uso adecuado que hagan los alumnos de los recursos tecnológicos, y esto a su vez, depende también de la formación específica que tenga el profesorado relativa al uso específico de la tecnología educativa (Blázquez, *et al.* 2017).

Igualmente, estos resultados son congruentes con los planteamientos expuestos por varios expertos educativos en el ámbito de la tecnología educativa a nivel internacional, como Livingstone (2012); Nieto (2016); Spiteri y Chang Rundgren (2020). Estos expertos defienden idénticas conclusiones a las reflejadas en algunos informes internacionales relevantes, como el publicado por la OCDE (2015). Este informe plantea la posibilidad de que la “desconexión” generalizada entre el uso de la tecnología educativa y las ganancias en los aprendizajes, y por consiguiente, de las mejoras en el rendimiento de los alumnos, sea una consecuencia directa de una inadecuada aplicación de los recursos tecnológicos, generada a su vez, por la falta de formación específica en tecnología educativa por parte del profesorado. Estos planteamientos también concuerdan con otros informes relevantes publicados recientemente que, igualmente concluyen que, la tecnología en general y la tecnología inmersiva en particular, pese a presentar una notable proyección de futuro en el campo de la educación, por sí sola, no es capaz de generar un mayor impacto sobre los aprendizajes de los alumnos (Brown *et al.* 2020).

En virtud de los resultados obtenidos, se puede concluir que la tecnología de RA, aplicada de manera adecuada por parte de los profesores y utilizada como recurso educativo para mejorar la comprensión de conceptos clave en los alumnos en general, combinada con un sistema digital adaptado, diseñado para la evaluación de conocimientos adquiridos, presenta un potencial de impacto positivo sobre determinados procesos de aprendizaje de los estudiantes. Pero siempre y cuando, los docentes implicados en los procesos educativos cuenten con formación específica relativa a este tipo de tecnología inmersiva. Los hallazgos obtenidos en la investigación, permiten mantener provisionalmente la mayoría de las hipótesis planteadas

inicialmente en el estudio, referentes a la idoneidad de utilización de una metodología innovadora, adaptada a los recursos tecnológicos disponibles en la actualidad y basada en tecnología inmersiva, para la mejora de determinados procesos de enseñanza-aprendizaje en las asignaturas de ciencias en Educación Secundaria.

Parte V. Conclusiones

Actualmente la tecnología impregna, en mayor o menor medida todos los ámbitos sociales, de manera que las sociedades están cada vez más digitalizadas. Este hecho supone una ventaja para el desarrollo de la sociedad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el uso inadecuado o inapropiado de los recursos tecnológicos también genera innumerables riesgos asociados y no deseados.

Según la revisión de la bibliografía efectuada en esta investigación, el ámbito educativo no es una excepción dentro de este contexto de sociedades digitalizadas. Ya que, los recursos tecnológicos actualmente están disponibles en mayor o menor medida en casi todos los centros educativos.

Las conclusiones de varios estudios internacionales señalan que los elementos tecnológicos puedan ser útiles en el desarrollo de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, a pesar de la disposición positiva que muestran la mayoría de los docentes hacia la utilización de los recursos tecnológicos educativos en el aula es buena en general, los resultados sobre los aprendizajes no están siendo lo que cabría esperar en un principio.

En este sentido, la situación de crisis global, originada por la pandemia del COVID-19, ha puesto de manifiesto las ventajas de los recursos tecnológicos. Por ejemplo, ha permitido que los estudiantes pudieran continuar con su aprendizaje a distancia y sin necesidad de acudir a los centros educativos. Sin embargo, también ha revelado importantes limitaciones en este sentido. Esta situación ha puesto de manifiesto la utilidad de la tecnología como recurso de apoyo, pero no sustitutivo de la formación presencial, ni del profesorado.

Los recursos tecnológicos que presentan una mayor proyección de futuro en el ámbito educativo son las tecnologías inmersivas. De manera particular la Realidad Aumentada (RA) por diversas razones.

El uso de recursos tecnológicos, debido a sus características, es especialmente adecuado en asignaturas de ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria. Pero la bibliografía actual adolece de estudios basados en fuentes primarias de información que establezcan cuál es la manera más efectiva de integrarlos en los procesos educativos y qué metodologías innovadoras concretas es necesario desarrollar.

El objetivo principal de esta investigación consiste en determinar si una metodología educativa innovadora, basada en la utilización de un recurso tecnológico de RA, combinada con un sistema de evaluación digital adaptado, es eficaz para la mejora de los procesos de aprendizaje. En concreto, se trata de determinar su eficiencia para la mejora de la comprensión de los conceptos clave de la asignatura de Biología y Geología de cuarto curso de la Educación Secundaria Obligatoria y, por lo tanto, es útil para inducir mejoras sobre el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

El fundamento de este objetivo se basa en la escasez de un marco teórico concreto y en la carencia de investigaciones empíricas y específicas relacionadas. De manera que se puedan determinar qué tipo de metodologías concretas son las más apropiadas, qué características concretas deben de cumplir y cuáles son los principales factores intervinientes, para que sean efectivas en cuanto a la integración eficaz de determinados recursos tecnológicos inmersivos con fines educativos concretos. En definitiva, el objetivo de este estudio se fundamenta en la necesidad de mejorar los procesos de aprendizaje, adaptándolos al uso eficiente de los nuevos recursos y herramientas tecnológicas disponibles más adecuados en caso, para conseguir conectar tecnología y procesos educativos de manera eficaz.

En este contexto, esta investigación se ha basado en una perspectiva exploratoria, con un carácter multidisciplinar. Se ha desarrollado a través de cuatro tipos de estudios complementarios, cuyos resultados pretenden ampliar y profundizar en el conocimiento existente actualmente frente a los principales problemas teóricos y empíricos identificados en la revisión teórica.

De esta manera, la principal conclusión obtenida a través del estudio piloto que hay que destacar, es la valoración positiva efectuada por los estudiantes hacia las aplicaciones de RA como recursos tecnológicos educativos. En concreto, los estudiantes

valoran de manera positiva los aspectos tanto técnicos como estéticos, así como también, la facilidad de utilización de las aplicaciones educativas basadas en tecnología de RA que habían utilizado en clase.

Los resultados obtenidos a través del análisis de los datos ofrecidos por las respuestas de los estudiantes a las cuestiones planteadas en el estudio actitudinal concuerdan con los datos preliminares obtenidos en el estudio piloto, señalando el grado positivo de aceptación de la tecnología por parte de los estudiantes en general. Además, el grado de aceptación positivo de la tecnología de RA es especialmente significativo en el caso de aquellos alumnos que presentan necesidades educativas especiales.

En este sentido, los resultados de este estudio también revelan la relación existente entre el grado de aceptación de la tecnología y la situación geográfica del centro educativo. De manera que, evidencian la existencia de una brecha digital entre centros educativos situados en entornos con núcleos poblacionales mayores y centros educativos situados en áreas poblacionales más dispersas.

Estos hallazgos contribuyen a complementar desde una perspectiva empírica, los escasos datos disponibles en la bibliografía actualmente. Cabe señalar también, el nivel de motivación positivo mostrado por los estudiantes en general, por el uso de recursos educativos de RA. Así como también, la utilidad que perciben para mejorar la comprensión de los conceptos clave de la asignatura, con la ayuda de las aplicaciones tecnológicas basadas en esta tecnología inmersiva.

Otro de los principales resultados que apoyan la hipótesis inicial planteada en el marco de la investigación exploratoria, reside en el hallazgo de un tercer factor como constructo latente. Dicho factor está relacionado con la importancia de utilizar un sistema de evaluación digital adaptado al uso de aplicaciones de RA, para poder cuantificar de manera eficiente las ganancias en el aprendizaje y que ha sido planteado a nivel teórico en la bibliografía existente.

En este contexto, cabe señalar también que, los datos obtenidos indican que la utilización en clase de recursos educativos basados en tecnología de RA tiene un impacto

positivo sobre el grado de aceptación del sistema de evaluación digital utilizado. Este impacto, es especialmente significativo en aquellos alumnos con mayor edad.

A través del estudio de rendimiento efectuado en dos fases diferenciadas, se ha podido constatar que, la utilización de tecnología no inmersiva basada en RA como recurso educativo complementario, es capaz de inducir mejoras en el rendimiento académico de los estudiantes. Aunque los datos obtenidos también revelan que estas mejoras no son significativas. Por otra parte, los datos obtenidos en la segunda fase del estudio de rendimiento indican que el uso de recursos educativos complementarios basados en tecnologías inmersivas de RA, no parecen a priori, producir mejoras en el rendimiento de los estudiantes. Este hallazgo, parece refutar la tesis principal planteada inicialmente en la investigación.

Sin embargo, los datos obtenidos posteriormente a través del estudio sobre la formación del profesorado, en cuanto al uso de tecnología como recurso educativo complementario, revelan carencias significativas respecto a la formación recibida. Del análisis de los datos obtenidos del estudio cualitativo, se puede concluir que la mayoría de los docentes han recibido formación relacionada con el uso de tecnología educativa no inmersiva, pero ninguno de ellos ha recibido nunca formación relacionada específicamente con el uso de recursos tecnológicos inmersivos basados específicamente en RA. Además, muy pocos docentes han recibido formación sobre el uso e implementación en el aula de sistemas de evaluación digitales y adaptados a los recursos inmersivos utilizados.

Estos datos pueden aportar una posible explicación a los resultados obtenidos en la segunda fase del estudio de rendimiento. En dicha fase, no se registraron mejoras cuantitativas en los resultados académicos de los alumnos después de utilizar en clase un recurso de RA y de examinarse posteriormente mediante un sistema de evaluación adaptado. Ya que los datos obtenidos evidencian que los profesores que intervinieron en el estudio no contaban con la formación específica para el uso de recursos de RA, ni para la evaluación de los alumnos a través de sistemas digitales de evaluación adaptados.

Los hallazgos obtenidos en el estudio cualitativo pueden ser útiles para incentivar el desarrollo de políticas educativas concretas, que impliquen el diseño de acciones correctoras concretas orientadas a mejorar la formación formal de los docentes. Es necesario impartir formación a los docentes, relativa no sólo a la utilización de recursos tecnológicos, sino también al modo de integrarlos y de creación contenidos educativos basados en recursos tecnológicos, de manera que, satisfagan las necesidades educativas de los estudiantes en el contexto de una sociedad del conocimiento cada vez más digitalizada y dependiente tecnológicamente.

Por otra parte, cabe destacar la contribución activa lograda para la transferencia de conocimiento y de los resultados obtenidos en la investigación, a través del acuerdo suscrito con la compañía Editorial Editex, S. A., una de las editoriales de libros de texto más prestigiosas de España. En concreto, el objetivo de este acuerdo, consiste en permitir el uso público de las dos aplicaciones creadas con software inmersivo de RA (*Cellular*[®] y *SeismicAR*[®]), así como la divulgación de las mismas y de los resultados obtenidos en la investigación, para su integración y aprovechamiento en contextos educativos. En definitiva, se trata de transferir conocimiento e innovación a la sociedad, como resultado de la investigación científica.

La principal contribución de la investigación consiste en que los hallazgos obtenidos permiten validar empíricamente la hipótesis central del modelo teórico planteado. Esta hipótesis consiste 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. Todo ello, siempre y cuando, los docentes cuenten con formación específica sobre los recursos tecnológicos disponibles y los métodos para la selección y aplicación eficaz de la metodología concreta más adecuada en cada caso concreto.

Parte VI. Limitaciones y Prospectiva

El principal objetivo que se pretende alcanzar con el análisis de las limitaciones de la investigación consiste en informar sobre cuál es exactamente el contexto en el que se ha desarrollado la misma, de manera que, permita efectuar una correcta interpretación de los resultados obtenidos.

En este sentido, el análisis de las limitaciones aporta información útil sobre todos aquellos aspectos relativos, tanto al proceso de diseño, como a las diferentes etapas de desarrollo del estudio, que pueden ser susceptibles de mejora, de manera que sean tenidos en cuenta para que la investigación pueda ser replicada en un futuro por otros investigadores.

En el conjunto de la investigación se pueden identificar algunas limitaciones de naturaleza tanto conceptual como empírica. La dificultad que implica el diseño, desarrollo e implementación de una metodología educativa innovadora, supone que los datos obtenidos mediante el proceso de investigación no sean en absoluto irrefutables desde un punto de vista teórico.

La complejidad intrínseca del propio modelo de estudio, unida al carácter exploratorio de la investigación efectuada, implica también la existencia de algunas limitaciones en el procedimiento seguido. Este tipo de limitaciones están relacionadas con el establecimiento de las posibles relaciones entre las variables intervinientes y los tres factores obtenidos a través del análisis factorial exploratorio ya que, se ha procedido a guardar las puntuaciones factoriales de cada uno de ellos. Este procedimiento supone la existencia de una limitación conceptual, debido a que el poder teórico del modelo podría incrementarse si se adoptase un modelo de análisis basado en ecuaciones estructurales. Aunque esto supondría el desarrollo de procedimientos complejos e implicaría exceder los principales objetivos establecidos en esta tesis doctoral.

Por otra parte, y a pesar de que, en el apartado dedicado a la definición de variables de la investigación, se establece que, en la medida de lo posible, sería el mismo docente el que explicase el mismo concepto clave, tanto al grupo de control como al grupo experimental durante el desarrollo del procedimiento del estudio de rendimiento, finalmente esto no se pudo cumplir en algunos casos. Por lo tanto, no fue posible controlar esta variable en todos los casos, sobre todo, en aquellos en los que el centro educativo participaba en la investigación con un solo grupo de estudiantes. En estos casos concretos, los profesores tuvieron que solicitar la ayuda de otros profesores de refuerzo para poder desdoblar la clase y realizar el resto del procedimiento de la manera establecida.

Es necesario tener en cuenta también que las aplicaciones de RA utilizadas en la investigación se seleccionaron y crearon *ad hoc*, para simplificar el procedimiento del estudio. No obstante, sería interesante poder replicar el estudio incluyendo una fase de instrucción y creación de aplicaciones dirigida a los estudiantes y con ayuda de alguna de las plataformas existentes actualmente para la creación de recursos de RA, de manera que, fuesen los propios alumnos quienes creasen sus propios recursos. Esto permitiría estudiar la influencia de otras posibles variables intervinientes e identificar otros posibles constructos, cuyo conocimiento, aunque es necesario, excede los objetivos establecidos en la investigación.

Debido a las características intrínsecas propias del este tipo de investigaciones, a la complejidad de su diseño y al conjunto de estudios que la componen, la investigación se ha desarrollado íntegramente en centros educativos situados en la región de Cantabria. A pesar de que este diseño es adecuado desde un punto de vista metodológico como se ha argumentado, las limitaciones espacio-temporales han impedido efectuarlo también en otros territorios. Por este motivo, los resultados obtenidos son válidos en el ámbito geográfico al que pertenece la muestra. En relación con las limitaciones espacio-temporales, hay que señalar también que el estudio piloto se efectuó con una muestra de alumnos relativamente pequeña, aunque suficiente.

En este sentido, cabe destacar que la muestra de alumnos participantes en la investigación con Necesidades Educativas Especiales es muy reducida, por lo que se

considera interesante plantear la posibilidad de replicar este estudio de manera específica con una muestra de mayor tamaño de alumnos con Necesidades Educativas Especiales.

Por lo tanto, se considera interesante poder comparar los datos obtenidos en esta investigación con los que se puedan obtener de su desarrollo en otros territorios y también con otras muestras de estudiantes y profesores diferentes.

Por último, cabe señalar también que, el estudio relativo a la formación del profesorado se efectuó a comienzos del curso académico 2020/21, en un contexto de crisis originado por una pandemia global y en una situación muy complicada para los docentes desde un punto de vista profesional y laboral. Con el objetivo de que fuese breve y de asegurar la participación y la respuesta de todos los docentes, el cuestionario enviado a los profesores que habían participado previamente en la investigación incluía sólo tres ítems muy concretos. De manera que, aunque el instrumento es perfectamente válido y cumple con el objetivo propuesto en el estudio cualitativo, no se incluyeron otras variables secundarias adicionales que podían haber aportado una información complementaria al estudio.

Como se ha comentado anteriormente, en este estudio no se han analizado las causas, exactas por las cuales, los docentes no cuentan con formación profesional específica en relación al uso de recursos tecnología educativos basados en RA y en sistemas de evaluación adaptados a la utilización de tecnología inmersiva. La determinación de las causas concretas que propician esta situación podría ser un objetivo de estudio y análisis pormenorizado en futuras investigaciones que se efectúen en este campo.

Anexos

Anexo 1. Consulta a docentes sobre la programación de las Unidades Didácticas.

Unidades Didácticas que se impartirán durante la Segunda y Tercera Evaluación (Enero-Junio) del curso escolar 2018/19

Unidades Didácticas que se impartirán durante la Segunda y Tercera Evaluación (Enero-Junio) del curso escolar 2018/19

Asignatura de Biología y Geología de 4º Curso de la ESO

1. Por favor, seleccione los temas de la asignatura programados para la Segunda y Tercera evaluación:

Selecciona todos los que correspondan.

- Estructura y Dinámica de la Tierra
- Tectónica y relieve
- Historia del planeta
- Estructura y dinámica de los ecosistemas
- Actividad humana y medio ambiente
- Organización celular de los seres vivos
- Herencia y genética
- Información y manipulación genética
- Origen y evolución de la vida
- Proyectos de investigación

<https://docs.google.com/forms/d/1CxSUSQ566PkJrerfPBHEgawEIU10uQBMZPwkda7zA/edit>

1/1

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Enlace a cuestionario *online*: <https://forms.gle/dbcJ984VdtLDNKS98>

TESIS DOCTORAL: 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.

Anexo 2. Cuestionario y Encuesta del Estudio Piloto.

Cuestionario. Estudio Piloto

Aplicación: **CelluAR**

1 (Muy negativo/Muy en desacuerdo); 2 (Negativo/En desacuerdo); 3 (Regular negativo/Moderadamente en desacuerdo); 4 (Regular positivo/ Moderadamente de acuerdo); 5 (Positivo/De acuerdo); 6 (Muy Positivo/ Muy de acuerdo).

CUESTIONARIO	ESCALA					
	1	2	3	4	5	6
Aspectos Técnicos y Estéticos						
1. El funcionamiento del recurso en RA que te hemos presentado es:						
2. En general, la estética del recurso producido en RA lo consideras:						
3. En general, el funcionamiento técnico del recurso producido en RA lo calificarías de:						
4. En general, cómo valorarías la presentación de la información en la pantalla:						
Facilidad de Utilización	1	2	3	4	5	6
5. Cómo calificarías la facilidad de utilización y manejo del recurso en RA que te hemos presentado:						
6. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico del recurso en RA que te hemos presentado:						
7. Desde tu punto de vista, cómo valorarías el diseño general del recurso en RA que hemos elaborado:						
8. Desde tu punto de vista, cómo valorarías la accesibilidad/usabilidad del recurso en RA que te hemos presentado:						
9. Desde tu punto de vista, como valorarías la flexibilidad de utilización del material en RA que te hemos presentado:						
10. El utilizar el recurso en RA producido te fue divertido:						

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación: *División Celular 3D*

1 (Muy negativo/Muy en desacuerdo); 2 (Negativo/En desacuerdo); 3 (Regular negativo/Moderadamente en desacuerdo); 4 (Regular positivo/ Moderadamente de acuerdo); 5 (Positivo/De acuerdo); 6 (Muy Positivo/ Muy de acuerdo).

CUESTIONARIO	ESCALA					
Aspectos Técnicos y Estéticos	1	2	3	4	5	6
1. El funcionamiento del recurso en RA que te hemos presentado es:						
2. En general, la estética del recurso producido en RA lo consideras:						
3. En general, el funcionamiento técnico del recurso producido en RA lo calificarías de:						
4. En general, cómo valorarías la presentación de la información en la pantalla:						
Facilidad de Utilización	1	2	3	4	5	6
5. Cómo calificarías la facilidad de utilización y manejo del recurso en RA que te hemos presentado:						
6. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico del recurso en RA que te hemos presentado:						
7. Desde tu punto de vista, cómo valorarías el diseño general del recurso en RA que hemos elaborado:						
8. Desde tu punto de vista, cómo valorarías la accesibilidad/usabilidad del recurso en RA que te hemos presentado:						
9. Desde tu punto de vista, como valorarías la flexibilidad de utilización del material en RA que te hemos presentado:						
10. El utilizar el recurso en RA producido te fue divertido:						

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación: *LandscapAR*

1 (Muy negativo/Muy en desacuerdo); 2 (Negativo/En desacuerdo); 3 (Regular negativo/Moderadamente en desacuerdo); 4 (Regular positivo/ Moderadamente de acuerdo); 5 (Positivo/De acuerdo); 6 (Muy Positivo/ Muy de acuerdo).

CUESTIONARIO	ESCALA					
	1	2	3	4	5	6
Aspectos Técnicos y Estéticos						
1. El funcionamiento del recurso en RA que te hemos presentado es:						
2. En general, la estética del recurso producido en RA lo consideras:						
3. En general, el funcionamiento técnico del recurso producido en RA lo calificarías de:						
4. En general, cómo valorarías la presentación de la información en la pantalla:						
Facilidad de Utilización	1	2	3	4	5	6
5. Cómo calificarías la facilidad de utilización y manejo del recurso en RA que te hemos presentado:						
6. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico del recurso en RA que te hemos presentado:						
7. Desde tu punto de vista, cómo valorarías el diseño general del recurso en RA que hemos elaborado:						
8. Desde tu punto de vista, cómo valorarías la accesibilidad/usabilidad del recurso en RA que te hemos presentado:						
9. Desde tu punto de vista, como valorarías la flexibilidad de utilización del material en RA que te hemos presentado:						
10. El utilizar el recurso en RA producido te fue divertido:						

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación: **SeismicAR**

1 (Muy negativo/Muy en desacuerdo); 2 (Negativo/En desacuerdo); 3 (Regular negativo/Moderadamente en desacuerdo); 4 (Regular positivo/ Moderadamente de acuerdo); 5 (Positivo/De acuerdo); 6 (Muy Positivo/ Muy de acuerdo).

CUESTIONARIO	ESCALA					
Aspectos Técnicos y Estéticos	1	2	3	4	5	6
1. El funcionamiento del recurso en RA que te hemos presentado es:						
2. En general, la estética del recurso producido en RA lo consideras:						
3. En general, el funcionamiento técnico del recurso producido en RA lo calificarías de:						
4. En general, cómo valorarías la presentación de la información en la pantalla:						
Facilidad de Utilización	1	2	3	4	5	6
5. Cómo calificarías la facilidad de utilización y manejo del recurso en RA que te hemos presentado:						
6. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico del recurso en RA que te hemos presentado:						
7. Desde tu punto de vista, cómo valorarías el diseño general del recurso en RA que hemos elaborado:						
8. Desde tu punto de vista, cómo valorarías la accesibilidad/usabilidad del recurso en RA que te hemos presentado:						
9. Desde tu punto de vista, como valorarías la flexibilidad de utilización del material en RA que te hemos presentado:						
10. El utilizar el recurso en RA producido te fue divertido:						

Fuente: Elaboración propia.

Encuesta. Estudio Piloto

Señala con una X la respuesta que elijas:

Datos Generales:

Género: Mujer Varón

Edad: _____

11. ¿Estás repitiendo curso?

Sí No

12. ¿Conocías ya la Realidad Aumentada (RA)?

Sí No

13. En caso afirmativo, ¿Habías utilizado alguna vez con anterioridad alguna aplicación de RA?

Sí No

14. Señala con una X el motivo o los motivos por los que crees que estos cuatro recursos de RA pueden ser útiles después de utilizarlos en clase. Pueden ser útiles porque...

Me ayudan a fijar mi atención.

Me motivan a aprender.

Facilitan la comprensión de ciertos conceptos de la asignatura.

Me ayudan a comprender mejor las explicaciones del profesor.

Completan la información del libro de texto.

Me ayudan a repasar en mi casa.

Aumentan mi interés en la asignatura.

Otros motivos. Especifica cuáles:

Anexo 3. Formulario para la determinación del Coeficiente de Competencia Experta de los expertos participantes en la evaluación de las pruebas de rendimiento.

Encuesta Expertos

Encuesta Expertos

Formulario para la determinación del Coeficiente de Competencia Experta de los participantes en la evaluación de las pruebas de rendimiento.

***Obligatorio**

1. 1) Género:

Marca solo un óvalo.

Mujer

Hombre

2. 2) Edad

3. 3) Indique el nivel o niveles educativos en los que imparte docencia actualmente:

Selecciona todos los que correspondan.

Docente en Educación Primaria

Docente en Educación Secundaria Obligatoria

Docente en Formación Profesional

Docente Universitario

4. 4) Indique su nivel de formación académica:

Selecciona todos los que correspondan.

Licenciatura/Máster

Doctorado

<https://docs.google.com/forms/d/1oWMr1UkqJU4VMyQOYtGDVYmV4KauY24TQfmzEvNhn-E/edit>

1/4

Fuente: Elaboración propia.

Encuesta Expertos

5. 5) ¿Imparte o ha impartido clase en la asignatura de Biología y Geología de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria?:

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

6. 6) Marque con una "X" la casilla correspondiente al nivel y grado de conocimiento que usted posee acerca de las siguientes temáticas como: Tipos celulares y célula eucariota, la división celular, la representación del terreno y los mapas topográficos y el estudio de la estructura interna de la tierra, todos ellos pertenecientes al currículo de la asignatura de Biología y geología de 4º curso de ESO. Valorándolo en una escala de 0 a 10 (considerando el 0 como no tener absolutamente ningún conocimiento y el 10 el pleno conocimiento del estado de la cuestión): *

Marca solo un óvalo.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Encuesta Expertos

7. 7) Autovalore (marcando la opción elegida con una "X"), el grado de influencia que cada una de las fuentes que le presentamos a continuación ha tenido en su conocimiento y criterios sobre el tema de Tipos celulares y célula eucariota, la división celular, la representación del terreno y los mapas topográficos, y el estudio de la estructura interna de la tierra: *

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Alto
Análisis teórico realizado por usted:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Su experiencia obtenida de su actividad práctica:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estudio de trabajos sobre el tema, de autores españoles:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estudio de trabajos sobre el tema, de autores extranjeros:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Su propio conocimiento acerca del estado del problema en el extranjero:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Su intención sobre el tema abordado:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. 8) Observaciones y comentarios:

9. 9) Por favor, adjunte el archivo de Word con las correcciones efectuadas (adjúntelo igualmente en caso de no haber realizado ninguna corrección), en las pruebas de rendimiento... *

Archivos enviados:

<https://docs.google.com/forms/d/1oWMr1UkqJU4VMYQOYtGDVYmV4KauY24TQfmzEvNhn-E/edit>

3/4

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Enlace a cuestionario *online*: <https://forms.gle/LeGdWtJ48HPf6Wu37>

TESIS DOCTORAL: 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.

Anexo 4. Resumen del procedimiento de la investigación enviado a los docentes de los centros educativos participantes.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

La investigación, la vamos a desarrollar en varios centros educativos en Cantabria. Con ella, trataremos de determinar el impacto que puede tener el uso de la tecnología en el proceso educativo. En concreto, evaluaremos el impacto del uso de una herramienta de Realidad Aumentada para la explicación de determinados conceptos clave de difícil explicación y/o entendimiento en la asignatura de Biología y geología de cuarto curso de la ESO en Cantabria.

En la investigación, participan dos grupos de alumnos y dos conceptos clave de la asignatura, que en vuestro caso concreto y debido a necesidades de la programación son la Representación del Terreno y la Estructura Interna de la Tierra:

El primer concepto (la Representación del Terreno), se deberá explicar a uno de los Grupos (grupo de control), siguiendo el método tradicional de enseñanza (clase magistral y libro de texto).

Ese mismo concepto (la Representación del Terreno), se deberá explicar también al segundo Grupo (grupo experimental), siguiendo también el método tradicional, pero en esta ocasión con la ayuda de ordenador y/o pizarra digital.

En los dos casos, después de finalizar la explicación a cada grupo, se realizará un exámen escrito en papel compuesto por diez preguntas de test (que os envío adjunto) y se anotarán las respuestas correctas dadas por cada alumno.

El segundo concepto (la Estructura Interna de la Tierra), se deberá explicar al primer Grupo (grupo de control), siguiendo el método tradicional de enseñanza (clase magistral y libro de texto).

Posteriormente, ese mismo concepto (Estructura Interna de la Tierra), se explicará también al segundo Grupo de alumnos (grupo experimental), pero esta vez utilizando como ayuda la App de Realidad Aumentada, a la que tanto vosotros como profesores, como los alumnos podéis acceder para descargar en los equipos móviles e interactuar con ella, a través del siguiente enlace:

<https://www.dropbox.com/s/eobq1w457te8ju7/seismos.apk?dl=0>

Aunque ya os hice una demostración de su funcionamiento en el Colegio, adjunto os envío un Manual de la App y el marcador correspondiente para su activación.

En los dos casos, después de finalizar la explicación a cada grupo, se realizará un exámen escrito, en papel al primer grupo (que también os envío adjunto) y el mismo examen, pero utilizando el ordenador con el segundo grupo (que podréis realizar con *e-cuestionario* que os envío en el siguiente link) y una vez realizado, también se anotarán las notas de los alumnos:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScKrFIWq_BcSuYYBRck-BY1ZnjYZLSs0YAua8DyV0HQDAkv8g/viewform?usp=sf_link

El tiempo máximo para la realización de las pruebas tanto escritas como online, será de 20 minutos.

Es muy importante realizar el exámen al primer grupo, siempre antes de que el segundo grupo haya utilizado las herramientas digitales y la herramienta de Realidad Aumentada (App). Una vez finalizada la clase con la App, recoger los marcadores y no dejar que los alumnos se los lleven.

Las respuestas y las notas de los alumnos obtenidas en las cuatro pruebas (exámenes), serán totalmente anónimas y los resultados de los mismos, los podrás anotar completando el Excel que te envío adjunto.

Tanto las pruebas escritas, como la prueba online, han sido diseñadas y validadas por profesionales y expertos de la educación que colaboran con la investigación.

Aunque solo vais a utilizar una aplicación de RA, al finalizar la investigación, os enviaré las otras tres que hemos utilizado para que vosotros también podáis utilizarlas en vuestras clases cuando las necesitéis en un futuro.

Si necesitáis cualquier aclaración, por favor no dudéis en poneros en contacto conmigo a través de este correo, o de mi número de teléfono.

Un cordial saludo,

Santiago Delgado

Anexo 5. Plantilla enviada a los docentes para la toma de datos de las pruebas objetivas de rendimiento

Concepto Clave 1.

Fecha realización Prueba:					
Grupo A (CONTROL)					
Método Tradicional					
ALUMNOS	Edad	Sexo (Mujer/Hombre)	Indicar si es alumno Repetidor	Indicar si es alumno con Necesidades Educativas Especiales	RESPUESTAS CORRECTAS EN EXAMEN ESCRITO
Alumno 1					
Alumno 2					
Alumno 3					
Alumno 4					
Alumno 5					
Alumno 6					
Alumno 7					
Alumno 8					
Alumno 9					
Alumno 10					
Alumno 11					
Alumno 12					
Alumno 13					
Alumno 14					
Alumno 15					
Alumno 16					
Alumno 17					
Alumno 18					
Alumno 19					
Alumno 20					
Alumno 21					
Alumno 22					
Alumno 23					
Alumno 24					
Alumno 25					

Fecha realización Prueba:					
Grupo B (EXPERIMENTAL)					
Método Tradicional + ordenador/pizarra digital					
Indicar el recurso de apoyo utilizado en la explicación en clase (ordenador, pizarra digital, etc.):					
ALUMNOS	Edad	Sexo (Mujer/Hombre)	Indicar si es alumno Repetidor	Indicar si es alumno con Necesidades Educativas Especiales	RESPUESTAS CORRECTAS EN EXAMEN ESCRITO
Alumno 1					
Alumno 2					
Alumno 3					
Alumno 4					
Alumno 5					
Alumno 6					
Alumno 7					
Alumno 8					
Alumno 9					
Alumno 10					
Alumno 11					
Alumno 12					
Alumno 13					
Alumno 14					
Alumno 15					
Alumno 16					
Alumno 17					
Alumno 18					
Alumno 19					
Alumno 20					
Alumno 21					
Alumno 22					
Alumno 23					
Alumno 24					
Alumno 25					

Fuente: Elaboración propia.

Concepto Clave 2.

Fecha realización Prueba:					
Grupo A (CONTROL)					
<i>Método Tradicional</i>					
ALUMNOS	Edad	Sexo (Mujer/Hombre)	Indicar si es alumno Repetidor	Indicar si es alumno con Necesidades Educativas Especiales	RESPUESTAS CORRECTAS EN EXAMEN ESCRITO
Alumno 1					
Alumno 2					
Alumno 3					
Alumno 4					
Alumno 5					
Alumno 6					
Alumno 7					
Alumno 8					
Alumno 9					
Alumno 10					
Alumno 11					
Alumno 12					
Alumno 13					
Alumno 14					
Alumno 15					
Alumno 16					
Alumno 17					
Alumno 18					
Alumno 19					
Alumno 20					
Alumno 21					
Alumno 22					
Alumno 23					
Alumno 24					
Alumno 25					

Fecha realización Prueba:					
Grupo B (EXPERIMENTAL)					
<i>Método Tradicional + App de Realidad Aumentada</i>					
ALUMNOS	Edad	Sexo (Mujer/Hombre)	Indicar si es alumno Repetidor	Indicar si es alumno con Necesidades Educativas Especiales	RESPUESTAS CORRECTAS EN EXAMEN ESCRITO
Alumno 1					
Alumno 2					
Alumno 3					
Alumno 4					
Alumno 5					
Alumno 6					
Alumno 7					
Alumno 8					
Alumno 9					
Alumno 10					
Alumno 11					
Alumno 12					
Alumno 13					
Alumno 14					
Alumno 15					
Alumno 16					
Alumno 17					
Alumno 18					
Alumno 19					
Alumno 20					
Alumno 21					
Alumno 22					
Alumno 23					
Alumno 24					
Alumno 25					

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Plantilla enviada a los docentes en formato de Hoja de Cálculo a través de *email*.

TESIS DOCTORAL: 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.

Anexo 6. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes I (Biología). Versión papel

INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LA PRUEBA ESCRITA

1. Cumplimenta los datos generales del encabezado antes de empezar a contestar a las preguntas.
2. La prueba consta de diez preguntas tipo test.
3. Cada pregunta, consta de cuatro posibles respuestas, de las cuales sólo una es correcta.
4. Cada respuesta correcta puntúa 1 punto. Las respuestas incorrectas no puntúan.
5. Indica la respuesta elegida con un círculo sobre la letra correspondiente a la pregunta seleccionada.
6. Si te equivocas, tacha con una "X" la letra de la respuesta incorrecta y señala nuevamente con un círculo la letra correspondiente a la respuesta correcta.
7. No utilices lapicero, ni bolígrafo de color rojo para seleccionar las respuestas que elijas.
8. Dispones de un tiempo máximo de 20 minutos para completar el test.

PROTECCION DE DATOS

Los datos obtenidos en esta prueba escrita se utilizarán para participar en un proyecto de investigación para una Tesis Doctoral, desarrollado en la Universidad Camilo José Cela de Madrid, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos.

*La participación en este estudio es totalmente **voluntaria** y las respuestas son **completamente anónimas**, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarte y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Si tienes cualquier pregunta sobre este proyecto de investigación, puedes consultar a tu profesor, o al investigador a través del email: ingenieril2000@hotmail.es*

Entregando el test debidamente cumplimentado a tu profesor, se entiende de forma tácita que has comprendido el objetivo del estudio, que has podido preguntar y aclarar las dudas que se te hubieran planteado inicialmente y que has aceptado participar en el mismo.

Por último, queremos agradecerte sinceramente tu participación.

Fecha: _____	Edad: _____	¿Estas repitiendo curso?: No / Sí
Grupo: A / B	Género: M / H	¿Tienes Necesidades Educativas Especiales?: No / Si

NOMBRE DEL CENTRO:**NOTA:**

1.- La célula se puede definir como: (1 Punto)

- a) La unidad estructural de algunos seres vivos, ya que solo algunos seres vivos están constituidos por una o más células.
- b) La unidad fisiológica de algunos seres vivos, ya que solo en algunos organismos vivos realiza las tareas necesarias para permanecer con vida.
- c) La unidad estructural de todos los seres vivos, ya que todos están constituidos por células y es también la unidad fisiológica de todos los seres vivos, ya que realiza las tareas necesarias para permanecer con vida.
- d) La unidad estructural de todos los seres vivos, ya que todos están constituidos por células y es también la unidad fisiológica de algunos seres vivos, ya que solo en algunos realiza las tareas necesarias para permanecer con vida.

2.- Todos los tipos de células constan de los siguientes elementos en común: (1 Punto)

- a) Material genético, Citoesqueleto, y Membrana plasmática.
- b) Material genético, Citoesqueleto, y Pared Celular.
- c) Material genético, Centrosoma y Citoplasma.
- d) Material genético, Citoplasma y Membrana plasmática.

3.- Según su complejidad y organización, las células pueden clasificarse en: (1 Punto)

- a) Unicelulares y pluricelulares.
- b) Procariotas y eucariotas.
- c) Animales y vegetales.
- d) Uninucleares o plurinucleares.

4.- Las células eucariotas, se clasifican en: (1 Punto)

- a) Animales y vegetales.
- b) Unicelulares y pluricelulares.
- c) Uninucleares y plurinucleares.
- d) Bacterias y hongos.

5.- En las células eucariotas, la respiración celular se realiza en: (1 Punto)

- a) Las mitocondrias.
- b) Los lisosomas.
- c) Aparato de Golgi.
- d) Centrosoma.

6.- En las células eucariotas, el material genético se encuentra en: *(1 Punto)*

- a) Las mitocondrias.
- b) Los lisosomas.
- c) El núcleo.
- d) Aparato de Golgi.

7.- El movimiento de la célula en medios acuosos, se realiza gracias a: *(1 Punto)*

- a) La pared celular o cubierta.
- b) Al citoesqueleto o armazón.
- c) Los centriolos o al centrosoma.
- d) Los flagelos o a los cilios.

8.- Los centriolos, contenidos en el centrosoma, están presentes en: *(1 Punto)*

- a) Las células procariotas.
- b) Las células vegetales.
- c) Las células animales.
- d) Todas las células eucariotas.

9.- El citoesqueleto, el centrosoma, los cilios y flagelos, y la pared celular, se pueden clasificar como: *(1 Punto)*

- a) Orgánulos celulares membranosos.
- b) Orgánulos celulares no membranosos.
- c) Orgánulos celulares extracelulares.
- d) Orgánulos celulares productores de energía.

10.- Los orgánulos productores de energía por vía oxidativa en las células eucariotas son: *(1 Punto)*

- a) Las mitocondrias en las células animales y en las células vegetales.
- b) Los centriolos en las células animales y los cloroplastos en las células vegetales.
- c) Las vacuolas en las células vegetales y los centriolos en las células animales.
- d) Los lisosomas en las células animales y en las células vegetales.

Anexo 7. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes I (Biología). Versión online

Célula

Célula

INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LA PRUEBA ESCRITA

1. Lee las instrucciones y cumplimenta los datos generales antes de empezar a contestar a las preguntas.
2. La prueba consta de diez preguntas tipo test.
3. Cada pregunta, consta de cuatro posibles respuestas, de las cuales sólo una es correcta.
4. Indica la respuesta elegida seleccionándola y haciendo clic con el puntero del ratón.
5. Si te equivocas, vuelve a seleccionar la pregunta que crees que es correcta haciendo clic con el ratón sobre la nueva respuesta elegida.
6. Dispones de un tiempo máximo de 20 minutos para completar el test.

PROTECCIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos en esta prueba escrita se utilizarán para participar en un proyecto de investigación para una Tesis Doctoral, desarrollado en la Universidad Camilo José Cela de Madrid, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos.

La participación en este estudio es totalmente voluntaria y las respuestas son completamente anónimas, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarte y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Si tienes cualquier pregunta sobre este proyecto de investigación, puedes consultar a tu profesor, o al investigador a través del email: ingenieri2000@hotmail.es

Entregando el test debidamente cumplimentado a tu profesor, se entiende de forma tácita que has comprendido el objetivo del estudio, que has podido preguntar y aclarar las dudas que se te hubieran planteado inicialmente y que has aceptado participar en el mismo.

Por último, queremos agradecerte sinceramente tu participación.

***Obligatorio**

https://docs.google.com/forms/d/1NFLoOKnXJamloaDhG4l_GpG2wLAezcLSlhxtcQOjGXM/edit 1/6

Fuente: Elaboración propia.

TESIS DOCTORAL: 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.

Célula

1. Selecciona el nombre de tu Centro Educativo *

Marca solo un óvalo.

- Colegio Ángeles Custodios
- Colegio María Auxiliadora
- Colegio Menéndez Pelayo
- Colegio San José de Reinosa
- Colegio San José de Santander
- IES 8 de Marzo
- IES Ataulfo Argenta
- IES El Alisal
- IES Estelas de Cantabria
- IES José Hierro
- IES La Albericia
- IES Las Llamas
- IES Montesclaros
- IES Marqués de Santillana
- IES Ría del Carmen
- IES Villajunco
- Colegio Calasanz - Los Escolapios
- Colegio Castroverde

2. Edad *

Marca solo un óvalo.

- 14
- 15
- 16
- 17
- 18

https://docs.google.com/forms/d/1NFLoOKnXJamloaDhG4l_GpG2wLAezcLSlhxtcQOjGXM/edit

2/6

Fuente: Elaboración propia.

Célula

3. Grupo *

Marca solo un óvalo.

A

B

4. Sexo *

Marca solo un óvalo.

Mujer

Hombre

5. Señala si estás repitiendo curso *

Marca solo un óvalo.

Si

No

6. Indica si eres un alumno con Necesidades Educativas Especiales *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

https://docs.google.com/forms/d/1NFLoOKnXJamloaDhG4l_GpG2wLAezcLSlhxtcOOjGXM/edit 3/6

Fuente: Elaboración propia.

Célula

7. 1. La célula se puede definir como: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- La unidad estructural de algunos seres vivos, ya que solo algunos seres vivos están constituidos por una o más células.
- La unidad fisiológica de algunos seres vivos, ya que solo en algunos organismos vivos realiza las tareas necesarias para permanecer con vida.
- La unidad estructural de todos los seres vivos, ya que todos están constituidos por células y es también la unidad fisiológica de todos los seres vivos, ya que realiza las tareas necesarias para permanecer con vida.
- La unidad estructural de todos los seres vivos, ya que todos están constituidos por células y es también la unidad fisiológica de algunos seres vivos, ya que solo en algunos realiza las tareas necesarias para permanecer con vida.

8. 2. Todos los tipos de células constan de los siguientes elementos en común: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Material genético, Citoesqueleto, y Membrana plasmática.
- Material genético, Citoesqueleto, y Pared Celular.
- Material genético, Centrosoma y Citoplasma
- Material genético, Citoplasma y Membrana plasmática.

9. 3. Según su complejidad y organización, las células pueden clasificarse en: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Unicelulares y pluricelulares.
- Procariotas y eucariotas.
- Animales y vegetales.
- Uninucleares o plurinucleares.

Fuente: Elaboración propia.

Célula	
10. 4. Las células eucariotas, se clasifican en:	1 punto
<i>Marca solo un óvalo.</i>	
<input type="radio"/> Animales y vegetales.	
<input type="radio"/> Unicelulares y pluricelulares.	
<input type="radio"/> Uninucleares y plurinucleares	
<input type="radio"/> Bacterias y hongos.	
11. 5. En las células eucariotas, la respiración celular se realiza en:	1 punto
<i>Marca solo un óvalo.</i>	
<input type="radio"/> Las mitocondrias.	
<input type="radio"/> Los lisosomas.	
<input type="radio"/> Aparato de Golgi.	
<input type="radio"/> Centrosoma.	
12. 6. En las células eucariotas, el material genético se encuentra en:	1 punto
<i>Marca solo un óvalo.</i>	
<input type="radio"/> Las mitocondrias.	
<input type="radio"/> Los lisosomas.	
<input type="radio"/> El núcleo	
<input type="radio"/> Aparato de Golgi.	
13. 7. El movimiento de la célula en medios acuosos, se realiza gracias a:	1 punto
<i>Marca solo un óvalo.</i>	
<input type="radio"/> La pared celular o cubierta.	
<input type="radio"/> Al citoesqueleto o armazón.	
<input type="radio"/> Los centriolos o al centrosoma.	
<input type="radio"/> Los flagelos o a los cilios	
https://docs.google.com/forms/d/1NFLoOKnXJamloaDhG4l_GpG2wLAezcLSlhxtcOOjGXM/edit	5/6

Fuente: Elaboración propia.

Célula

14. 8. Los centriolos, contenidos en el centrosoma, están presentes en: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Las células procariotas.
 Las células vegetales.
 Las células animales.
 Todas las células eucariotas.

15. 9. El citoesqueleto, el centrosoma, los cilios y flagelos, y la pared celular, se pueden clasificar como: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Orgánulos celulares membranosos.
 Orgánulos celulares no membranosos.
 Orgánulos celulares extracelulares.
 Orgánulos celulares productores de energía.

16. 10. Los orgánulos productores de energía por vía oxidativa en las células eucariotas son: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Las mitocondrias en las células animales y en las células vegetales.
 Los centriolos en las células animales y los cloroplastos en las células vegetales.
 Las vacuolas en las células vegetales y los centriolos en las células animales.
 Los lisosomas en las células animales y en las células vegetales.

https://docs.google.com/forms/d/1NFLoOKnXJamloaDhG4l_GpG2wLAezcLSlhxtcQOjGXM/edit

6/6

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Enlace a cuestionario *online*: <https://forms.gle/gj1d246mxjTMkN3j9>

Anexo 8. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes II (Biología). Versión papel

INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LA PRUEBA ESCRITA

9. Cumplimenta los datos generales del encabezado antes de empezar a contestar a las preguntas.
10. La prueba consta de diez preguntas tipo test.
11. Cada pregunta, consta de cuatro posibles respuestas, de las cuales sólo una es correcta.
12. Cada respuesta correcta puntúa 1 punto. Las respuestas incorrectas no puntúan.
13. Indica la respuesta elegida con un círculo sobre la letra correspondiente a la pregunta seleccionada.
14. Si te equivocas, tacha con una "X" la letra de la respuesta incorrecta y señala nuevamente con un círculo la letra correspondiente a la respuesta correcta.
15. No utilices lapicero, ni bolígrafo de color rojo para seleccionar las respuestas que elijas.
16. Dispones de un tiempo máximo de 20 minutos para completar el test.

PROTECCION DE DATOS

Los datos obtenidos en esta prueba escrita se utilizarán para participar en un proyecto de investigación para una Tesis Doctoral, desarrollado en la Universidad Camilo José Cela de Madrid, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos.

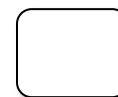
*La participación en este estudio es totalmente **voluntaria** y las respuestas son **completamente anónimas**, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarte y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Si tienes cualquier pregunta sobre este proyecto de investigación, puedes consultar a tu profesor, o al investigador a través del email: ingenieril2000@hotmail.es*

Entregando el test debidamente cumplimentado a tu profesor, se entiende de forma tácita que has comprendido el objetivo del estudio, que has podido preguntar y aclarar las dudas que se te hubieran planteado inicialmente y que has aceptado participar en el mismo.

Por último, queremos agradecerte sinceramente tu participación.

TESIS DOCTORAL: 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.

Fecha: _____	Edad: _____	¿Estas repitiendo curso?: No / Sí
Grupo: A / B	Género: M / H	¿Tienes Necesidades Educativas Especiales?: No / Si

NOMBRE DEL CENTRO:**NOTA:**

1.- En las células eucariotas, el mecanismo que se realiza mediante una sola división celular, consiste en los siguientes procesos:

- a) La mitosis y la meiosis.
- b) El estrangulamiento y el fragmoplasto.
- c) La mitosis y la citocinesis.
- d) La meiosis y la citocinesis.

2.- El proceso por el cual se produce la división del núcleo de la célula y se reparte equitativamente el material genético entre dos células hijas, se denomina:

- a) Interfase.
- b) Mitosis.
- c) Citocinesis.
- d) Telofase.

3.- El proceso de fragmentación o división del citoplasma, repartiéndose entre dos células hijas, se conoce con el nombre de:

- a) Citocinesis.
- b) Mitosis.
- c) Meiosis.
- d) Interfase.

4.- El mecanismo de división celular que se realiza mediante dos divisiones celulares consecutivas, se denomina:

- a) Citocinesis.
- b) Meiosis.
- c) Mitosis.
- d) Fragmoplasto.

5.- El proceso completo de mitosis, consta de las siguientes fases:

- a) Profase, Metafase, Anafase y Telofase.
- b) Interfase, Profase, Metafase y Anafase.
- c) Profase, Metafase, Anafase, Citofase.
- d) Interfase, Mesofase, Anafase y Telofase.

6.- Durante el proceso de Mitosis, a la etapa en la que los cromosomas se sitúan en el centro de la célula formando la placa ecuatorial, se le conoce como:

- a) Interfase.
- b) Profase.
- c) Metafase.
- d) Telofase.

7.- La duplicación del ADN, se produce:

- a) Durante el inicio de la Citocinesis.
- b) Después de la Interfase.
- c) Entre la Anafase y la Telofase.
- d) Durante la interfase, antes de iniciarse la Mitosis.

8.- A la etapa Mitótica en la que los cromosomas hijos inician el proceso de desenrollamiento y adoptan la estructura de cromatina, se le conoce como:

- a) Interfase.
- b) Profase.
- c) Metafase.
- d) Telofase.

9.- La principal diferencia que existe entre los cromosomas que se observan en la Metafase con respecto a los que se observan en Anafase es:

- a) Durante la Metafase, los cromosomas duplicados se van condensando mientras que, durante la Anafase los cromosomas hijos inician el proceso de desenrollamiento y adoptan la estructura de cromatina.
- b) Durante la Metafase, los cromosomas se sitúan en el ecuador o plano ecuatorial de la célula mientras que, durante la Anafase se rompen por el centrómero y las cromátidas se separan en polos opuestos de la célula.
- c) Durante la Metafase, los cromosomas duplicados se van condensando mientras que, durante la Anafase, ya totalmente condensados, se sitúan en el ecuador o plano ecuatorial de la célula formando la placa ecuatorial.
- d) Durante la Metafase, los cromosomas se rompen por el centrómero y las cromátidas se separan en polos opuestos mientras que, durante la Anafase los cromosomas hijos inician el proceso de desenrollamiento y adoptan la estructura de cromatina.

10.- Indica el nombre de la etapa del Ciclo Celular durante la cual, se duplican los cromosomas y los centriolos en el interior de la célula:

- a) Interfase.
- b) Profase.
- c) Anafase.
- d) Telofase.

Anexo 9. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes II (Biología). Versión online

División Celular

División Celular

INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LA PRUEBA ESCRITA

1. Lee las instrucciones y cumplimenta los datos generales antes de empezar a contestar a las preguntas.
2. La prueba consta de diez preguntas tipo test.
3. Cada pregunta, consta de cuatro posibles respuestas, de las cuales sólo una es correcta.
4. Indica la respuesta elegida seleccionándola y haciendo clic con el puntero del ratón.
5. Si te equivocas, vuelve a seleccionar la pregunta que crees que es correcta haciendo clic con el ratón sobre la nueva respuesta elegida.
6. Dispones de un tiempo máximo de 20 minutos para completar el test.

PROTECCIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos en esta prueba escrita se utilizarán para participar en un proyecto de investigación para una Tesis Doctoral, desarrollado en la Universidad Camilo José Cela de Madrid, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos.

La participación en este estudio es totalmente voluntaria y las respuestas son completamente anónimas, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarte y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Si tienes cualquier pregunta sobre este proyecto de investigación, puedes consultar a tu profesor, o al investigador a través del email: ingenieri12000@hotmail.es

Entregando el test debidamente cumplimentado a tu profesor, se entiende de forma tácita que has comprendido el objetivo del estudio, que has podido preguntar y aclarar las dudas que se te hubieran planteado inicialmente y que has aceptado participar en el mismo.

Por último, queremos agradecerte sinceramente tu participación.

***Obligatorio**

https://docs.google.com/forms/d/1CdQja6kvMAvFP5WrdWtsOuJujbq_aEBcsiW8opn9EAo/edit 1/7

Fuente: Elaboración propia.

División Celular

1. Selecciona el nombre de tu Centro Educativo *

Marca solo un óvalo.

- Colegio Ángeles Custodios
- Colegio María Auxiliadora
- Colegio Menéndez Pelayo
- Colegio San José de Reinosa
- Colegio San José de Santander
- IES 8 de Marzo
- IES Ataulfo Argenta
- IES El Alisal
- IES Estelas de Cantabria
- IES José Hierro
- IES La Albericia
- IES Las Llamas
- IES Montesclaros
- IES Marqués de Santillana
- IES Ría del Carmen
- IES Villajunco
- Colegio Calasanz - Escolapios
- Colegio Castroverde

2. Edad *

Marca solo un óvalo.

- 14
- 15
- 16
- 17
- 18

https://docs.google.com/forms/d/1CdQja6kvMAv7P5WrdWtsOuJujbq_aEBcsiW8opn9EAo/edit

2/7

Fuente: Elaboración propia.

División Celular

3. Grupo *

Marca solo un óvalo. A B

4. Sexo *

Marca solo un óvalo. Mujer Hombre

5. Señala si está repitiendo curso *

Marca solo un óvalo. Sí No

6. Indica si eres un alumno con Necesidades Educativas Especiales *

Marca solo un óvalo. Sí Nohttps://docs.google.com/forms/d/1CdQja6kvMAvFP5WrdWtsOuJujbq_aEBcsiW8opn9EAo/edit

3/7

Fuente: Elaboración propia.

División Celular

7. 1. En las células eucariotas, el mecanismo que se realiza mediante una sola división celular, consiste en los siguientes procesos: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- La mitosis y la meiosis.
 El estrangulamiento y el fragmoplasto.
 La mitosis y la citocinesis.
 La meiosis y la citocinesis.

8. 2. El proceso por el cual se produce la división del núcleo de la célula y se reparte equitativamente el material genético entre dos células hijas, se denomina: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Interfase.
 Mitosis.
 Citocinesis.
 Telofase.

9. 3. El proceso de fragmentación o división del citoplasma, repartiéndose entre dos células hijas, se conoce con el nombre de: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Citocinesis.
 Mitosis.
 Meiosis.
 Interfase.

Fuente: Elaboración propia.

División Celular

10. 4. El mecanismo de división celular que se realiza mediante dos divisiones celulares consecutivas, se denomina: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Citocinesis.
 Meiosis.
 Mitosis.
 Fragmoplasto.

11. 5. El proceso completo de mitosis, consta de las siguientes fases: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Profase, Metafase, Anafase y Telofase.
 Interfase, Profase, Metafase y Anafase.
 Profase, Metafase, Anafase, Citofase.
 Interfase, Mesofase, Anafase y Telofase.

12. 6. Durante el proceso de Mitosis, a la etapa en la que los cromosomas se sitúan en el centro de la célula formando la placa ecuatorial, se le conoce como: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Interfase.
 Profase.
 Metafase.
 Telofase.

Fuente: Elaboración propia.

División Celular

13. 7. La duplicación del ADN, se produce: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Durante el inicio de la Citocinesis.
- Después de la Interfase.
- Entre la Anafase y la Telofase.
- Durante la interfase, antes de iniciarse la Mitosis.

14. 8. A la etapa Mitótica en la que los cromosomas hijos inician el proceso de 1 punto
desenrollamiento y adoptan la estructura de cromatina, se le conoce
como:

Marca solo un óvalo.

- Interfase.
- Profase.
- Metafase.
- Telofase.

Fuente: Elaboración propia.

División Celular

15. 9. La principal diferencia que existe entre los cromosomas que se observan en la Metafase con respecto a los que se observan en Anafase es: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Durante la Metafase, los cromosomas duplicados se van condensando mientras que, durante la Anafase los cromosomas hijos inician el proceso de desenrollamiento y adoptan la estructura de cromatina.
- Durante la Metafase, los cromosomas se sitúan en el ecuador o plano ecuatorial de la célula mientras que, durante la Anafase se rompen por el centrómero y las cromátidas se separan en polos opuestos de la célula.
- Durante la Metafase, los cromosomas duplicados se van condensando mientras que, durante la Anafase, ya totalmente condensados, se sitúan en el ecuador o plano ecuatorial de la célula formando la placa ecuatorial.
- Durante la Metafase, los cromosomas se rompen por el centrómero y las cromátidas se separan en polos opuestos mientras que, durante la Anafase los cromosomas hijos inician el proceso de desenrollamiento y adoptan la estructura de cromatina.

16. 10. Indica el nombre de la etapa del Ciclo Celular durante la cual, se duplican los cromosomas y los centriolos en el interior de la célula: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Interfase.
- Profase.
- Anafase.
- Telofase.

https://docs.google.com/forms/d/1CdQja6kvMAvIP5WrdWtsOuJujbq_aEBcsiW8opn9EAo/edit

7/7

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Enlace a cuestionario *online*: <https://forms.gle/HU71qcfexfDuS773A>

Anexo 10. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes III (Geología). Versión papel

INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LA PRUEBA ESCRITA

17. Cumplimenta los datos generales del encabezado antes de empezar a contestar a las preguntas.
18. La prueba consta de diez preguntas tipo test.
19. Cada pregunta, consta de cuatro posibles respuestas, de las cuales sólo una es correcta.
20. Cada respuesta correcta puntúa 1 punto. Las respuestas incorrectas no puntúan.
21. Indica la respuesta elegida con un círculo sobre la letra correspondiente a la pregunta seleccionada.
22. Si te equivocas, tacha con una "X" la letra de la respuesta incorrecta y señala nuevamente con un círculo la letra correspondiente a la respuesta correcta.
23. No utilices lapicero, ni bolígrafo de color rojo para seleccionar las respuestas que elijas.
24. Dispones de un tiempo máximo de 20 minutos para completar el test.

PROTECCION DE DATOS

Los datos obtenidos en esta prueba escrita se utilizarán para participar en un proyecto de investigación para una Tesis Doctoral, desarrollado en la Universidad Camilo José Cela de Madrid, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos.

*La participación en este estudio es totalmente **voluntaria** y las respuestas son **completamente anónimas**, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarte y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Si tienes cualquier pregunta sobre este proyecto de investigación, puedes consultar a tu profesor, o al investigador a través del email: ingenieril2000@hotmail.es*

Entregando el test debidamente cumplimentado a tu profesor, se entiende de forma tácita que has comprendido el objetivo del estudio, que has podido preguntar y aclarar las dudas que se te hubieran planteado inicialmente y que has aceptado participar en el mismo.

Por último, queremos agradecerte sinceramente tu participación.

TESIS DOCTORAL: 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.

Fecha: _____	Edad: _____	¿Estas repitiendo curso?: No / Sí
Grupo: A / B	Género: M / H	¿Tienes Necesidades Educativas Especiales?: No / Si

NOMBRE DEL CENTRO:**NOTA:**

1.- El modelo que divide la estructura interna de la Tierra en corteza, manto y núcleo, se denomina:

- a) Modelo geodinámico terrestre.
- b) Modelo de discontinuidades terrestre.
- c) Modelo estático o geoquímico terrestre.
- d) Modelo de estratificación terrestre.

2.- El límite o discontinuidad existente entre el manto inferior y el núcleo externo de la Tierra, tiene por nombre:

- a) Discontinuidad de Mohorovicic.
- b) Discontinuidad de Gutenberg.
- c) Zona o Capa D".
- d) Discontinuidad de Wiechert-Lehmann.

3.- El modelo que divide la estructura interna de la Tierra basado en la plasticidad, rigidez o densidad (estado físico y propiedades mecánicas), debidas a las condiciones de presión y Temperatura a la que se encuentran, se denomina:

- a) Modelo geodinámico terrestre.
- b) Modelo de estratificación terrestre.
- c) Modelo geoquímico o estático terrestre.
- d) Modelo de discontinuidades terrestre.

4.- El punto de la superficie terrestre situado sobre el foco de un terremoto y a partir del cual se generan las ondas superficiales, se denomina:

- a) Frente de onda.
- b) Falla.
- c) Hipocentro.
- d) Epicentro.

5.- En un terremoto, el plano de rotura o plano de fractura de las rocas, donde se sitúa el Hipocentro y se originan las ondas sísmicas, también se llama:

- a) Epicentro.
- b) Hipocentro.
- c) Falla.
- d) Frente de onda.

6.- Según el modelo geoquímico de Tierra, las discontinuidades entre las diferentes capas se pueden detectar gracias a:

- a) La realización de sondeos geológicos y mineros en el terreno.
- b) Al estudio de las características geológicas de las rocas que afloran.
- c) A las variaciones bruscas de velocidad en la propagación de las ondas sísmicas.
- d) Al estudio de la composición del magma expulsado en los volcanes.

7.- Las Ondas sísmicas que se desplazan a una mayor velocidad por el interior terrestre y por lo tanto son las primeras en llegar desde el foco a los sismógrafos son:

- a) Las ondas P.
- b) Las ondas S.
- c) Las ondas L.
- d) Todos los tipos de ondas llegan a la vez.

8.- Las ondas que se propagan en el interior terrestre a través de los materiales sólidos, pero no a través de los materiales fluidos son:

- a) Las ondas P.
- b) Las ondas S.
- c) Las ondas L.
- d) Todos los tipos de ondas se propagan por todos los tipos de materiales.

9.- En la propagación de las Ondas P por el interior terrestre, las partículas de los materiales vibran:

- a) En varias direcciones, en un movimiento en espiral denominado rotacional.
- b) En varias direcciones simultáneamente, produciendo lo que se denomina un efecto de cizalla.
- c) Perpendicularmente a la trayectoria de avance de la onda.
- d) En la misma dirección que el avance de la onda mediante movimientos de compresión y descompresión.

10.- El campo magnético terrestre, formado por líneas de fuerza invisibles que atraviesan la Tierra y se extienden desde un polo magnético a otro, se origina debido a:

- a) La composición y estado líquido del núcleo interno.
- b) La composición de las rocas ricas en hierro presentes en el interior del manto.
- c) La composición y estado líquido del núcleo externo.
- d) La composición de las rocas ricas en magnetita presentes en la corteza terrestre.

Anexo 11. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes III (Geología). Versión online

Estructura Interna de la Tierra

Estructura Interna de la Tierra

INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LA PRUEBA ESCRITA

1. Lee las instrucciones y cumplimenta los datos generales antes de empezar a contestar a las preguntas.
2. La prueba consta de diez preguntas tipo test.
3. Cada pregunta, consta de cuatro posibles respuestas, de las cuales sólo una es correcta.
4. Indica la respuesta elegida seleccionándola y haciendo clic con el puntero del ratón.
5. Si te equivocas, vuelve a seleccionar la pregunta que crees que es correcta haciendo clic con el ratón sobre la nueva respuesta elegida.
6. Dispones de un tiempo máximo de 20 minutos para completar el test.

PROTECCIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos en esta prueba escrita se utilizarán para participar en un proyecto de investigación para una Tesis Doctoral, desarrollado en la Universidad Camilo José Cela de Madrid, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos.

La participación en este estudio es totalmente voluntaria y las respuestas son completamente anónimas, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarte y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Si tienes cualquier pregunta sobre este proyecto de investigación, puedes consultar a tu profesor, o al investigador a través del email: ingenieri12000@hotmail.es

Entregando el test debidamente cumplimentado a tu profesor, se entiende de forma tácita que has comprendido el objetivo del estudio, que has podido preguntar y aclarar las dudas que se te hubieran planteado inicialmente y que has aceptado participar en el mismo.

Por último, queremos agradecerte sinceramente tu participación.

***Obligatorio**

https://docs.google.com/forms/d/174M-EKfaD9NOEaUUret1hLTRxvgPbrQO8VW1G_dWJE4/edit 1/7

Fuente: Elaboración propia.

Estructura Interna de la Tierra

1. Selecciona el nombre de tu Centro Educativo *

Marca solo un óvalo.

- Colegio Ángeles Custodios
- Colegio María Auxiliadora
- Colegio Menéndez Pelayo
- Colegio San José de Reinosa
- Colegio San José de Santander
- IES 8 de Marzo
- IES Ataulfo Argenta
- IES El Alisal
- IES Estelas de Cantabria
- IES José Hierro
- IES La Albericia
- IES Las Llamas
- IES Montesclaros
- IES Marqués de Santillana
- IES Ría del Carmen
- IES Villajunco
- Colegio Calasanz - Escolapios
- Colegio Castroverde

2. Edad *

Marca solo un óvalo.

- 14
- 15
- 16
- 17
- 18

https://docs.google.com/forms/d/174M-EKfaD9NOEaUUret1hLTRxvgPbrQO8VW1G_dWjE4/edit

2/7

Fuente: Elaboración propia.

Estructura Interna de la Tierra

3. Grupo *

Marca solo un óvalo.

A

B

4. Sexo *

Marca solo un óvalo.

Mujer

Hombre

5. Señala si estás repitiendo curso *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

6. Indica si eres un alumno con Necesidades Educativas Especiales *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

Fuente: Elaboración propia.

Estructura Interna de la Tierra

7. 1. El modelo que divide la estructura interna de la Tierra en corteza, manto y núcleo, se denomina: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Modelo geodinámico terrestre.
 Modelo de discontinuidades terrestre.
 Modelo estático o geoquímico terrestre.
 Modelo de estratificación terrestre.

8. 2. El límite o discontinuidad existente entre el manto inferior y el núcleo externo de la Tierra, tiene por nombre: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Discontinuidad de Mohorovicic.
 Discontinuidad de Gutenberg.
 Zona o Capa D".
 Discontinuidad de Wiechert-Lehmann.

9. 3. El modelo que divide la estructura interna de la Tierra basado en la plasticidad, rigidez o densidad (estado físico y propiedades mecánicas), debidas a las condiciones de presión y Temperatura a la que se encuentran, se denomina: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Modelo geodinámico terrestre.
 Modelo de estratificación terrestre.
 Modelo geoquímico o estático terrestre.
 Modelo de discontinuidades terrestre.

Fuente: Elaboración propia.

Estructura Interna de la Tierra

10. 4. El punto de la superficie terrestre situado sobre el foco de un terremoto y a partir del cual se generan las ondas superficiales, se denomina: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Frente de onda.
 Falla.
 Hipocentro.
 Epicentro.

11. 5. En un terremoto, el plano de rotura o plano de fractura de las rocas, donde se sitúa el Hipocentro y se originan las ondas sísmicas, también se llama: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Epicentro.
 Hipocentro.
 Falla.
 Frente de onda.

12. 6. Según el modelo geoquímico de Tierra, las discontinuidades entre las diferentes capas se pueden detectar gracias a: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- A la realización de sondeos geológicos y mineros en el terreno.
 Al estudio de las características geológicas de las rocas que afloran.
 A las variaciones bruscas de velocidad en la propagación de las ondas sísmicas.
 Al estudio de la composición del magma expulsado en los volcanes.

Fuente: Elaboración propia.

Estructura Interna de la Tierra

13. 7. Las Ondas sísmicas que se desplazan a una mayor velocidad por el interior terrestre y por lo tanto son las primeras en llegar desde el foco a los sismógrafos son: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Las ondas P.
 Las ondas S.
 Las ondas L.
 Todos los tipos de ondas llegan a la vez.

14. 8. Las ondas que se propagan en el interior terrestre a través de los materiales sólidos, pero no a través de los materiales fluidos son: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Las ondas P.
 Las ondas S.
 Las ondas L.
 Todos los tipos de ondas se propagan por todos los tipos de materiales.

15. 9. En la propagación de las Ondas P por el interior terrestre, las partículas de los materiales vibran: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- En varias direcciones, en un movimiento en espiral denominado rotacional.
 En varias direcciones simultáneamente, produciendo lo que se denomina un efecto de cizalla.
 Perpendicularmente a la trayectoria de avance de la onda.
 En la misma dirección que el avance de la onda mediante movimientos de compresión y descompresión.

Fuente: Elaboración propia.

Estructura Interna de la Tierra

16. 10. El campo magnético terrestre, formado por líneas de fuerza invisibles que atraviesan la Tierra y se extienden desde un polo magnético a otro, se origina debido a: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- La composición y estado líquido del núcleo interno.
 - La composición de las rocas ricas en hierro presentes en el interior del manto.
 - La composición y estado líquido del núcleo externo.
 - La composición de las rocas ricas en magnetita presentes en la corteza terrestre.
-

https://docs.google.com/forms/d/174M-EKfaD9NOEaUUret1hLTRxvgPbrQO8VW1G_dWjE4/edit

7/7

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Enlace a cuestionario *online*: <https://forms.gle/9nwxqdiabSth79ck7>

Anexo 12. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes IV (Geología). Versión papel

INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LA PRUEBA ESCRITA

25. Cumplimenta los datos generales del encabezado antes de empezar a contestar a las preguntas.
26. La prueba consta de diez preguntas tipo test.
27. Cada pregunta, consta de cuatro posibles respuestas, de las cuales sólo una es correcta.
28. Cada respuesta correcta puntúa 1 punto. Las respuestas incorrectas no puntúan.
29. Indica la respuesta elegida con un círculo sobre la letra correspondiente a la pregunta seleccionada.
30. Si te equivocas, tacha con una "X" la letra de la respuesta incorrecta y señala nuevamente con un círculo la letra correspondiente a la respuesta correcta.
31. No utilices lapicero, ni bolígrafo de color rojo para seleccionar las respuestas que elijas.
32. Dispones de un tiempo máximo de 20 minutos para completar el test.

PROTECCION DE DATOS

Los datos obtenidos en esta prueba escrita se utilizarán para participar en un proyecto de investigación para una Tesis Doctoral, desarrollado en la Universidad Camilo José Cela de Madrid, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos.

*La participación en este estudio es totalmente **voluntaria** y las respuestas son **completamente anónimas**, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarte y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Si tienes cualquier pregunta sobre este proyecto de investigación, puedes consultar a tu profesor, o al investigador a través del email: ingenieril2000@hotmail.es*

Entregando el test debidamente cumplimentado a tu profesor, se entiende de forma tácita que has comprendido el objetivo del estudio, que has podido preguntar y aclarar las dudas que se te hubieran planteado inicialmente y que has aceptado participar en el mismo.

Por último, queremos agradecerte sinceramente tu participación.

TESIS DOCTORAL: 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.

Fecha: _____	Edad: _____	¿Estas repitiendo curso?: No / Sí
Grupo: A / B	Género: M / H	¿Tienes Necesidades Educativas Especiales?: No / Si

NOMBRE DEL CENTRO:**NOTA:**

1.- Un mapa topográfico se puede definir como:

- Una representación reducida del relieve de una determinada zona, proyectada sobre un plano en tres dimensiones.
- Una representación aumentada del relieve de una determinada zona, proyectada sobre un plano en tres dimensiones.
- Una representación reducida del relieve de una determinada zona, proyectada sobre un plano en dos dimensiones.
- Una representación aumentada del relieve de una determinada zona, proyectada sobre un plano en dos dimensiones.

2.- En los mapas topográficos el Norte se sitúa en:

- En el extremo superior del mapa.
- En el extremo inferior del mapa.
- En el extremo derecho del mapa.
- En el extremo izquierdo del mapa.

3.- Las curvas de nivel de un mapa son:

- Líneas cerradas que unen puntos con diferente altitud sobre el nivel del mar.
- Líneas cerradas que unen puntos con la misma altitud sobre el nivel del mar.
- Líneas cerradas o abiertas que unen puntos con igual altitud sobre el nivel del mar.
- Líneas cerradas o abiertas que unen puntos con distinta altitud sobre el nivel del mar.

4.- Se denomina equidistancia a:

- La diferencia de altura entre dos curvas de nivel consecutivas y cada mapa tiene una propia.
- La diferencia de altura entre dos curvas de nivel consecutivas y es la misma para todos los mapas.
- La diferencia de distancia entre dos puntos que unen una misma curva de nivel y cada mapa tiene una propia.
- La diferencia de distancia entre dos puntos iguales dentro de una misma curva de nivel y es común en todos los mapas.

5.- La leyenda de un mapa, proporciona información sobre:

- La historia del mapa.
- Los símbolos y colores utilizados en el mapa.
- La equidistancia utilizada en el mapa.
- La institución que ha creado la cartografía.

6.- La proporción entre la dimensión real del terreno y la dimensión representada en el mapa topográfico, se denomina:

- a) Perfil topográfico.
- b) Equidistancia.
- c) Escala.
- d) Diferencia de cota.

7.- Un perfil topográfico entre dos o más puntos es:

- a) Un resumen de las principales características topográficas generales del área representada en el plano.
- b) Un resumen de las principales características de las curvas de nivel del conjunto del área representada en el plano.
- c) Una representación del terreno en tres dimensiones que permite visualizar cómo es el relieve y cuáles son sus características principales.
- d) Una representación del terreno en dos dimensiones que permite visualizar cómo es el relieve y cuáles son sus características principales.

8.- Una curva de nivel cerrada, rodeada de curvas de nivel cerradas con menor cota sucesivamente, representa:

- a) Una depresión del terreno.
- b) Una montaña.
- c) Una planicie.
- d) Un valle.

9.- En un plano, una mayor pendiente en una ladera, se representa con:

- a) Curvas de nivel muy abiertas.
- b) Curvas de nivel muy cerradas.
- c) Curvas de nivel muy próximas.
- d) Curvas de nivel muy separadas.

10.- La principal diferencia entre un plano con escala 1:50.000 y otro con escala 1:250.000 es:

- a) A escala 1:50.000 se representa una mayor extensión y con menor nivel de detalle.
- b) A escala 1:50.000 se representa una mayor extensión, pero con menor nivel de detalle.
- c) A escala 1:50.000 se representa una menor extensión y con menor nivel de detalle.
- d) A escala 1:50.000 se representa una menor extensión, pero con mayor nivel de detalle.

Anexo 13. Prueba objetiva de rendimiento para los estudiantes IV (Geología). Versión online

Representación del Relieve

Representación del Relieve

INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LA PRUEBA ESCRITA

1. Lee las instrucciones y cumplimenta los datos generales antes de empezar a contestar a las preguntas.
2. La prueba consta de diez preguntas tipo test.
3. Cada pregunta, consta de cuatro posibles respuestas, de las cuales sólo una es correcta.
4. Indica la respuesta elegida seleccionándola y haciendo clic con el puntero del ratón.
5. Si te equivocas, vuelve a seleccionar la pregunta que crees que es correcta haciendo clic con el ratón sobre la nueva respuesta elegida.
6. Dispones de un tiempo máximo de 20 minutos para completar el test.

PROTECCIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos en esta prueba escrita se utilizarán para participar en un proyecto de investigación para una Tesis Doctoral, desarrollado en la Universidad Camilo José Cela de Madrid, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos.

La participación en este estudio es totalmente voluntaria y las respuestas son completamente anónimas, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarte y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Si tienes cualquier pregunta sobre este proyecto de investigación, puedes consultar a tu profesor, o al investigador a través del email: ingenieril2000@hotmail.es

Entregando el test debidamente cumplimentado a tu profesor, se entiende de forma tácita que has comprendido el objetivo del estudio, que has podido preguntar y aclarar las dudas que se te hubieran planteado inicialmente y que has aceptado participar en el mismo.

Por último, queremos agradecerte sinceramente tu participación.

***Obligatorio**

<https://docs.google.com/forms/d/1V-Dzhn1u7OXmuCvVjo4L3Gr41Qp8DZ4saShXxErDCrU/edit> 1/7

Fuente: Elaboración propia.

Representación del Relieve

1. Selecciona el nombre de tu Centro Educativo *

Marca solo un óvalo.

- Colegio Ángeles Custodios
- Colegio María Auxiliadora
- Colegio Menéndez Pelayo
- Colegio San José de Reinosa
- Colegio San José de Santander
- IES 8 de Marzo
- IES Ataulfo Argenta
- IES El Alisal
- IES Estelas de Cantabria
- IES José Hierro
- IES La Albericia
- IES Las Llamas
- IES Montesclaros
- IES Marqués de Santillana
- IES Ría del Carmen
- IES Villajunco
- Colegio Calasanz - Los Escolapios
- Colegio Castroverde

2. Edad *

Marca solo un óvalo.

- 14
- 15
- 16
- 17
- 18

Fuente: Elaboración propia.

Representación del Relieve

3. Grupo *

Marca solo un óvalo.

A

B

4. Sexo *

Marca solo un óvalo.

Mujer

Hombre

5. Señala si estás repitiendo curso *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

6. Indica si eres un alumno con Necesidades Educativas Especiales *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

Fuente: Elaboración propia.

Representación del Relieve

7. 1. Un mapa topográfico se puede definir como: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Una representación reducida del relieve de una determinada zona, proyectada sobre un plano en tres dimensiones.
- Una representación aumentada del relieve de una determinada zona, proyectada sobre un plano en tres dimensiones.
- Una representación reducida del relieve de una determinada zona, proyectada sobre un plano en dos dimensiones.
- Una representación aumentada del relieve de una determinada zona, proyectada sobre un plano en dos dimensiones.

8. 2. En los mapas topográficos el Norte se sitúa en: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- En el extremo superior del mapa.
- En el extremo inferior del mapa.
- En el extremo derecho del mapa.
- En el extremo izquierdo del mapa.

9. 3. Las curvas de nivel de un mapa son: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Líneas cerradas que unen puntos con diferente altitud sobre el nivel del mar.
- Líneas cerradas que unen puntos con la misma altitud sobre el nivel del mar.
- Líneas cerradas o abiertas que unen puntos con igual altitud sobre el nivel del mar.
- Líneas cerradas o abiertas que unen puntos con distinta altitud sobre el nivel del mar.

Fuente: Elaboración propia.

Representación del Relieve

10. 4. Se denomina equidistancia a: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- La diferencia de altura entre dos curvas de nivel consecutivas y cada mapa tiene una propia.
- La diferencia de altura entre dos curvas de nivel consecutivas y es la misma para todos los mapas.
- La diferencia de distancia entre dos puntos que unen una misma curva de nivel y cada mapa tiene una propia.
- La diferencia de distancia entre dos puntos iguales dentro de una misma curva de nivel y es común en todos los mapas.

11. 5. La leyenda de un mapa, proporciona información sobre: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- La historia del propio mapa.
- Los símbolos y colores utilizados en el mapa.
- La equidistancia utilizada en el mapa.
- La institución que ha creado el mapa.

12. 6. La proporción entre la dimensión real del terreno y la dimensión representada en el mapa topográfico, se denomina: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Perfil topográfico.
- Equidistancia.
- Escala.
- Diferencia de cota.

Fuente: Elaboración propia.

Representación del Relieve

13. 7. Un perfil topográfico entre dos o más puntos es: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Un resumen de las principales características topográficas generales del área representada en el plano.
- Un resumen de las principales características de las curvas de nivel del conjunto del área representada en el plano.
- Una representación del terreno en tres dimensiones que permite visualizar cómo es el relieve y cuáles son sus características principales.
- Una representación del terreno en dos dimensiones que permite visualizar cómo es el relieve y cuáles son sus características principales.

14. 8. Una curva de nivel cerrada, rodeada de curvas de nivel cerradas con menor cota sucesivamente, representa: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Una depresión del terreno.
- Una montaña.
- Una planicie.
- Un valle.

15. 9. En un plano, una mayor pendiente en una ladera, se representa con: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- Curvas de nivel muy abiertas.
- Curvas de nivel muy cerradas.
- Curvas de nivel muy próximas.
- Curvas de nivel muy separadas.

Fuente: Elaboración propia.

Representación del Relieve

16. 10. La principal diferencia entre un plano con escala 1:50.000 y otro con escala 1:250.000 es: 1 punto

Marca solo un óvalo.

- A escala 1:50.000 se representa una mayor extensión y con menor nivel de detalle.
- A escala 1:50.000 se representa una mayor extensión, pero con menor nivel de detalle.
- A escala 1:50.000 se representa una menor extensión y con menor nivel de detalle.
- A escala 1:50.000 se representa una menor extensión, pero con mayor nivel de detalle.
-

<https://docs.google.com/forms/d/1V-Dzhn1u7OXmuCvVjo4L3Gr41Qp8DZ4saShXxErDCrU/edit>

7/7

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Enlace a cuestionario *online*: <https://forms.gle/qiKBezjhPU65qUtw6>

Anexo 14. Cuestionario Actitudinal. Versión inicial propuesta al grupo de expertos

DIM	INDICADORES	ÍTEMS
Nivel de Motivación	Atención	1. La aplicación de Realidad Aumentada que he utilizado en clase, me permite fijar mi atención en el concepto que explica, por lo que pienso que puede ayudarme a obtener una mejor nota en el examen.
		2. Esta metodología que utiliza Realidad Aumentada me llama la atención porque me ayuda a comprender mejor los conceptos clave que explica.
		3. Esta metodología, me llama la atención porque me parece útil para mi formación académica.
		4. El contenido de la aplicación de Realidad Aumentada que he utilizado es tan impreciso que me ha resultado difícil mantener mi atención. (Invertido)
	Confianza	5. Cuando descargué la aplicación de Realidad Aumentada, tuve la impresión de que me iba a ayudar a entender mejor el concepto que explica.
		6. Cuando utilicé la aplicación, tuve la seguridad de que podría aprobar sin problemas un examen sobre el concepto clave que explica.
		7. Después de utilizar la aplicación, tuve la seguridad de que era útil para aprender lo que necesito sobre el concepto que explica.
	Satisfacción	8. Disfruté utilizando esta aplicación de Realidad Aumentada porque me parece útil y amena.
		9. Estoy contento por poder aprender con esta aplicación porque me ha ayudado a comprender de manera satisfactoria el concepto que explica.
		10. Me siento satisfecho de los resultados académicos obtenidos después de utilizar esta aplicación.
	Relevancia	11. Pienso que es importante disponer de una aplicación de Realidad Aumentada como la que he utilizado en clase para poder entender mejor algunos conceptos clave de la asignatura.
		12. El contenido de la aplicación que he utilizado me parece importante y su comprensión me ayudará a mejorar la nota del examen.
		13. Considero que para que una aplicación de Realidad Aumentada como la que he utilizado en clase sea relevante en mi aprendizaje, también tiene que ser fácil de utilizar.
Grado de Aceptación	Utilidad Percibida	14. El uso de esta aplicación de Realidad Aumentada, me permite entender mejor algunos conceptos clave importantes.
		15. Estoy convencido de que la comprensión de conceptos clave no será mejor por mi parte, por muy útil que sea la aplicación de Realidad Aumentada que utilice en clase. (Invertido)
		16. El uso de aplicaciones de Realidad Aumentada para la explicación de algunos conceptos clave, me motivaría en el proceso de formación.
		17. Pienso que puedo tener mejores resultados si los profesores utilizaran aplicaciones de Realidad Aumentada como la que he utilizado en clase, para explicar algunos conceptos clave.
	Facilidad de Uso Percibida	18. Ha sido fácil aprender a utilizar la aplicación de Realidad Aumentada para entender el concepto que explica, lo que me ayudará a hacer un buen examen.
		19. La sencillez de uso de la aplicación hace que sea fácil comprender el concepto clave que muestra.
Grado de Comprensión	Facilidad Percibida para entender conceptos clave	20. Pienso que la aplicación que he utilizado en clase es fácil de usar y por eso estoy satisfecho con ella.
		21. Pienso que, si el profesor utiliza en clase aplicaciones de Realidad Aumentada como recurso de apoyo para facilitar a los alumnos la comprensión de algunos conceptos clave de la asignatura, mejorarán mis resultados académicos.
		22. Con la ayuda de la aplicación de Realidad Aumentada que he utilizado en clase, he comprendido mejor el concepto clave que explica, por lo que obtendré mejores notas en el examen.
		23. Pienso que esta metodología que combina una herramienta de Realidad Aumentada para explicar algunos conceptos clave con un sistema de evaluación online adaptado, me ayudará a mejorar mis resultados académicos.
		24. Esta tecnología, me ayuda a entender de manera clara lo que el profesor me está explicando.
		25. He entendido mejor el concepto explicado con la ayuda de la aplicación de Realidad Aumentada que si hubiese utilizado sólo el libro de texto.
26. Estoy seguro de que puedo entender mejor algunos conceptos clave con una aplicación de Realidad Aumentada como la que he utilizado en clase, que con un vídeo o una presentación multimedia.		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15. Formulario para la valoración de los expertos de los ítems iniciales del cuestionario actitudinal y la determinación del Coeficiente de Competencia Experta

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

3. 2. Esta metodología que utiliza Realidad Aumentada me llama la atención porque me ayuda a comprender mejor los conceptos clave que explica.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. 3. Esta metodología, me llama la atención porque me parece útil para mi formación académica.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

<https://docs.google.com/forms/d/1OBnoaELQhQqK5e3P0awjgJJgtUZTfsb2AFqw5vbsv1A/edit> 2/16

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

7. 4. El contenido de la aplicación de Realidad Aumentad que he utilizado es tan impreciso que me ha resultado difícil mantener mi atención.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. 5. Cuando descargué la aplicación de Realidad Aumentada, tuve la impresión de que me iba a ayudar a entender mejor el concepto que explica.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

11. 6. Cuando utilicé la aplicación, tuve la seguridad de que podría aprobar sin problemas un examen sobre el concepto clave que explica.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. 7. Después de utilizar la aplicación, tuve la seguridad de que era útil para aprender lo que necesito sobre el concepto que explica.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

15. 8. Disfruté utilizando esta aplicación de Realidad Aumentada porque me parece útil y amena.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17. 9. Estoy contento por poder aprender con esta aplicación porque me ha ayudado a comprender de manera satisfactoria el concepto que explica.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

19. 10. Me siento satisfecho por los resultados académicos obtenidos después de utilizar esta aplicación.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

21. 11. Pienso que es importante disponer de una aplicación de Realidad Aumentada como la que he utilizado en clase para poder entender mejor algunos conceptos clave de la asignatura.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

23. 12. El contenido de la aplicación que he utilizado me parece importante y su comprensión me ayudará a mejorar la nota del examen.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

24. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

25. 13. Considero que para que una aplicación de Realidad Aumentada como la que he utilizado en clase sea relevante en mi aprendizaje, también tiene que ser fácil de utilizar.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

26. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

<https://docs.google.com/forms/d/1OBnoaELQhQqK5e3P0awjgJJgtUZTfsb2AFqw5vbsv1A/edit>

7/16

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

27. 14. El uso de esta aplicación de Realidad Aumentada, me permite entender mejor algunos conceptos clave importantes.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

28. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

29. 15. Estoy convencido de que la comprensión de conceptos clave no será mejor por mi parte, por muy útil que sea la aplicación de Realidad Aumentada que utilice en clase.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

30. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

31. 16. El uso de aplicaciones de Realidad Aumentada para la explicación de algunos conceptos clave, me motivaría en el proceso de formación.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

32. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

33. 17. Pienso que puedo tener mejores resultados si los profesores utilizaran aplicaciones de Realidad Aumentada como la que he utilizado en clase, para explicar algunos conceptos clave.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

34. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

35. 18. Ha sido fácil aprender a utilizar la aplicación de Realidad Aumentada para entender el concepto que explica, lo que me ayudará a hacer un buen examen.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

36. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

37. 19. La sencillez de uso de la aplicación hace que sea fácil comprender el concepto clave que muestra.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

38. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

39. 20. Pienso que la aplicación que he utilizado en clase es fácil de usar y por eso estoy satisfecho con ella.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

40. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

41. 21. Pienso que, si el profesor utiliza en clase aplicaciones de Realidad Aumentada como recurso de apoyo para facilitar a los alumnos la comprensión de algunos conceptos clave de la asignatura, mejorarán mis resultados académicos.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

42. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

43. 22. Con la ayuda de la aplicación de Realidad Aumentada que he utilizado en clase, he comprendido mejor el concepto clave que explica, por lo que obtendré mejores notas en el examen.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

44. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

45. 23. Pienso que esta metodología que combina una herramienta de Realidad Aumentada para explicar algunos conceptos clave con un sistema de evaluación online adaptado, me ayudará a mejorar mis resultados académicos.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

46. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

47. 24. Esta tecnología, me ayuda a entender de manera clara lo que el profesor me está explicando.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

48. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

49. 25. He entendido mejor el concepto explicado con la ayuda de la aplicación de Realidad Aumentada que si hubiese utilizado sólo el libro de texto.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

50. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

51. 26. Estoy seguro de que puedo entender mejor algunos conceptos clave con una aplicación de Realidad Aumentada como la que he utilizado en clase, que con un vídeo o una presentación multimedia.

RELEVANCIA

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<hr/>				
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<hr/>				

52. CLARIDAD

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<hr/>				
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<hr/>				

53. b) Después de analizar los diferentes ítems que conforman este cuestionario, ¿considera que se debería de modificar algún ítem? (En caso afirmativo, indique cuál o cuáles, así como la modificación propuesta):

54. c) ¿Considera que se debería añadir o eliminar algún ítem? (En caso afirmativo, indique cuál o cuáles y el motivo):

Fuente: Elaboración propia.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

Competencia Experta

55. 1. Indique el grado de conocimiento que posee acerca de las siguientes cuestiones: Psicometría, diseño, elaboración y análisis de test y cuestionarios actitudinales. Valorando en una escala comprendida de 0 a 10 (considerando 0= ningún conocimiento en absoluto y 10= conocimiento pleno sobre estos temas).

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

56. 2. Realice una autovaloración sobre el nivel de influencia que cada una de las siguientes fuentes ha tenido en su formación y conocimiento sobre los temas de Psicometría, diseño, elaboración y análisis de test y cuestionarios actitudinales.

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Alto
Análisis teórico realizado por usted	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiencia obtenida de su actividad práctica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estudios de trabajos sobre el tema, de autores españoles	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estudios de trabajos sobre el tema, de autores extranjeros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Su conocimiento propio sobre el estado la cuestión en el extranjero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Su intuición sobre el tema abordado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

<https://docs.google.com/forms/d/1OBnoaELQhQqK5e3P0awjgJJgtUZTfsb2AFqw5vbsv1A/edit>

15/16

Fuente: Elaboración propia.

TESIS DOCTORAL: 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.

Opinión Expertos. Cuestionario actitudinal

57. 3. Indique su nivel de formación académica:

Selecciona todos los que correspondan.

Licenciatura/Máster

Doctorado

58. 4. Indique el nombre de su Máster o Doctorado (Educación, Psicología, etc.):

59. 5. Especifique su especialidad (experto/a, etc.):

<https://docs.google.com/forms/d/1OBnoaELQhQqK5e3P0awjgJJgtUZTfsb2AFqw5vbsv1A/edit>

16/16

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Enlace a cuestionario *online*: <https://forms.gle/NfkVk6QGNBDS9vct9>

Anexo 16. Cuestionario Actitudinal. Versión final revisada por los expertos

DIM	INDICADORES	ÍTEMES
Grado de Motivación	Atención	1. La aplicación de Realidad Aumentada (RA) que he utilizado en clase, me ha ayudado a fijar la atención en el concepto que explica.
		2. La aplicación de RA que he utilizado en clase, puede ayudarme a obtener una mejor nota en el examen.
		3. Esta metodología que utiliza una aplicación de RA me llama bastante la atención.
		4. Esta metodología que utiliza RA me ayuda a comprender los conceptos que explica.
		5. En general, esta metodología me parece interesante.
		6. El uso de esta metodología, me parece útil para mi formación académica.
		7. El contenido de la aplicación de RA que he utilizado me parece bastante preciso.
	Confianza	8. Cuando descargué la aplicación de RA, tuve la impresión de que me iba a ayudar a entender mejor el concepto que explica.
		9. Tengo la seguridad de que podría aprobar sin problemas un examen sobre el concepto clave que explica la aplicación de RA.
		10. Mientras utilizaba la aplicación, tuve la sensación de que podría ser útil.
		11. Cuando utilicé la aplicación, tuve la seguridad de que aprendería lo que necesito sobre el concepto que explica.
	Satisfacción	12. La aplicación de RA que he utilizado en clase me parece útil y amena.
		13. En general, disfruté utilizando esta aplicación de RA.
		14. Estoy contento por poder aprender con esta aplicación de RA.
		15. La aplicación me ha ayudado a comprender de manera satisfactoria el concepto que explica.
	Relevancia	16. Considero satisfactorios los resultados académicos obtenidos después de utilizar esta aplicación.
		17. Pienso que es importante disponer de una aplicación de RA como la que he utilizado en clase para poder entender mejor algunos conceptos clave de la asignatura.
		18. El contenido de la aplicación que he utilizado me parece importante.
		19. Pienso que la comprensión del contenido de la aplicación de RA me ayudará a mejorar la nota del examen.
		20. Considero que para que una aplicación de RA como la que he utilizado en clase sea relevante en mi aprendizaje, también tiene que ser fácil de utilizar.
		21. Me parece importante hacer el examen online.
Grado de Aceptación	Utilidad Percibida	22. El uso de esta aplicación de RA, me permite entender mejor algunos conceptos clave importantes.
		23. Considero que en general, la aplicación de RA que he utilizado en clase puede ser útil.
		24. El uso de aplicaciones de RA para la explicación de algunos conceptos clave, me motivaría en el proceso de formación.
		25. Pienso que puedo tener mejores resultados si los profesores utilizan aplicaciones de RA como la que he utilizado en clase.
	Facilidad de Uso Percibida	26. Pienso que puedo sacar mejor nota si hago el examen online.
		27. Ha sido fácil aprender a utilizar la aplicación de RA.
Grado de Comprensión	Facilidad Percibida para entender conceptos clave	28. La sencillez de uso de la aplicación me ha facilitado la comprensión del concepto clave que explica.
		29. Considero que cuando la aplicación de RA que utilizo en clase es fácil de manejar, pueden mejorar mis resultados en el examen.
		30. Considero satisfactoria la facilidad de uso de la aplicación de RA que he utilizado en clase.
		31. Tengo la seguridad de que, la utilización en clase de aplicaciones de RA como recurso de apoyo, puede facilitarme la comprensión de conceptos clave de la asignatura.
		32. La aplicación de RA que he utilizado en clase, puede facilitarme la mejora de mis resultados académicos.
		33. Esta tecnología, me ayuda a entender de manera clara lo que el profesor me está explicando.
		34. He entendido mejor el concepto explicado con la ayuda de la aplicación de RA que si hubiese utilizado sólo el libro de texto.
		35. He comprendido mejor el concepto explicado con la ayuda de la aplicación de RA que si hubiese utilizado sólo un vídeo.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS DOCTORAL: 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.

Anexo 17. Cuestionario Actitudinal. Versión *online* enviada a los centros educativos

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE GENERADOS EN LOS ESTUDIANTES POR EL USO DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN TECNOLOGÍA DE REALIDAD AUMENTADA Y EN UN SISTEMA DE EVALUACIÓN ADAPTADO

INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR EL CUESTIONARIO

1. Por favor, lee las instrucciones y cumplimenta los datos generales antes de empezar a contestar a las preguntas.
2. El cuestionario consta de 35 ítems (preguntas), sobre la metodología que has utilizado en clase y que está relacionada con conceptos clave de la asignatura y combina la utilización de una Aplicación para dispositivos móviles basada en tecnología de Realidad Aumentada y un exámen online adaptado.
3. Tienes que valorar cada ítem, respondiendo en una escala de 1 a 5, siendo 1 el valor mínimo (que indica COMPLETO DESACUERDO) y 5 el valor máximo (que indica COMPLETO ACUERDO).
4. Lee atentamente cada pregunta, e indica la respuesta elegida seleccionándola y haciendo clic con el puntero del ratón sobre el número que elijas de la escala.
5. Si te equivocas, vuelve a seleccionar la respuesta que consideres adecuada haciendo clic de nuevo con el puntero del ratón sobre el número de la escala que quieres seleccionar realmente.
6. El cuestionario consta de tres páginas: instrucciones, datos generales y preguntas. Cuando finalices cada una de ellas, haz clic con el ratón sobre el botón "Siguiente" para continuar.
7. Necesitarás como máximo 20 minutos para rellenar el cuestionario en el Colegio.

PROTECCIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos en este cuestionario se utilizarán para participar en un proyecto de

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNlhFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNlxQtjsY_a5d6U8A/edit

1/14

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

investigación de una Tesis Doctoral, desarrollado en la Universidad Camilo José Cela de Madrid, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos.

La participación en este estudio es totalmente voluntaria y las respuestas son completamente anónimas, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarte y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales. Si tienes cualquier pregunta sobre este proyecto de investigación, puedes consultar a tu profesor, o al investigador a través del email: ingenieril2000@hotmail.es

En ningún caso tienes obligación de participar, pero nos sería de gran ayuda que lo hicieras.

Entregando el cuestionario debidamente cumplimentado a tu profesor, se entiende de forma tácita que has comprendido el objetivo del estudio, que has podido preguntar y aclarar las dudas que se te hubieran planteado inicialmente y que has aceptado voluntariamente participar en el mismo.

Por último, queremos agradecerte sinceramente tu participación.

***Obligatorio**

Datos Generales

Por favor, señala la respuesta o respuestas que consideres adecuadas en cada caso:

1. Sexo: *

Marca solo un óvalo.

- Mujer
 Hombre

2. Edad: *

Marca solo un óvalo.

- 14
 15
 16
 17 o más

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

3. Indica si eres un alumno o alumna con Necesidades Educativas Especiales: *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

4. Elige el nombre de tu centro educativo: *

Marca solo un óvalo.

- Colegio Castroverde
 Colegio Los Escolapios
 Colegio María Auxiliadora-Los Salesianos
 Colegio Menéndez Pelayo
 Colegio San José
 IES 8 de Marzo
 IES Ataúlfo Argenta
 IES El Alisal
 IES Estelas de Cantabria
 IES José Hierro
 IES La Albericia
 IES Las Llamas
 IES Marqués de Santillana
 IES Ría del Carmen
 IES Villajunco

5. Indica si el centro educativo donde estudias es público o concertado: *

Marca solo un óvalo.

- Público
 Privado Concertado

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNlhFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNixQtjsY_a5d6U8A/edit

3/14

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

6. Selecciona la localidad donde se encuentra tu centro educativo: *

Marca solo un óvalo.

- Castro Urdiales
- Muriedas-Camargo
- Reinosa
- San Mateo-Los Corrales
- San Vicente de la Barquera
- Santander
- Torrelavega

7. Indica el tipo de tecnología que utiliza tu profesor para explicar en clase los contenidos de la asignatura habitualmente: *

Selecciona todos los que correspondan.

- No utiliza recursos tecnológicos
- Ordenador o Tableta
- Proyector
- Pizarra Digital
- Presentaciones multimedia (PowerPoint, etc.)
- Vídeos
- Transparencias

8. ¿Habías utilizado alguna otra vez fuera del colegio, tecnología basada en Realidad Aumentada?: *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNlhFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNlxQtjsY_a5d6U8A/edit

4/14

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

9. ¿Utilizas o has utilizado alguna otra vez en clase recursos de Realidad Aumentada?: *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

10. ¿Utilizas o has utilizado alguna vez en clase recursos de Realidad Virtual?: *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

11. ¿Utilizas o has utilizado alguna otra vez en clase el ordenador o la tableta para hacer exámenes online?: *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

Cuestionario

A continuación, te presentamos una serie de enunciados con el objetivo de valorar el Grado de Aceptación, Motivación y Comprensión de conceptos clave de la asignatura, generados por el uso de una metodología basada en Realidad Aumentada y un sistema de evaluación adaptado. Para ello, tienes que valorar cada una de las siguientes cuestiones en una escala de 1 a 5, siendo 1 el valor mínimo (que indica COMPLETO DESACUERDO) y 5 el valor máximo (que indica COMPLETO ACUERDO):

12. 1. La aplicación de Realidad Aumentada (RA) que he utilizado en clase, me ha ayudado a fijar la atención en el concepto que explica.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

13. 2. La aplicación de RA que he utilizado en clase, puede ayudarme a obtener una mejor nota en el examen.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. 3. Esta metodología que utiliza una aplicación de RA me llama bastante la atención.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

15. 4. Esta metodología que utiliza RA me ayuda a comprender los conceptos que explica.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. 5. En general, esta metodología me parece interesante.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNlhFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNlxQtjsY_a5d6U8A/edit

6/14

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

17. 6. El uso de esta metodología, me parece útil para mi formación académica.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. 7. El contenido de la aplicación de RA que he utilizado me parece bastante preciso.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

19. 8. Cuando descargué la aplicación de RA, tuve la impresión de que me iba a ayudar a entender mejor el concepto que explica.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. 9. Tengo la seguridad de que podría aprobar sin problemas un examen sobre el concepto clave que explica la aplicación de RA.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNihFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNixQtjsY_a5d6U8A/edit

7/14

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

21. 10. Mientras utilizaba la aplicación, tuve la sensación de que podría ser útil.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. 11. Cuando utilicé la aplicación, tuve la seguridad de que aprendería lo que necesito sobre el concepto que explica.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

23. 12. La aplicación de RA que he utilizado en clase me parece útil y amena.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

24. 13. En general, disfruté utilizando esta aplicación de RA.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNlhFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNlxQtjsY_a5d6U8A/edit

8/14

Fuente: Elaboración propia.

TESIS DOCTORAL: 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.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

25. 14. Estoy contento por poder aprender con esta aplicación de RA.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

26. 15. La aplicación me ha ayudado a comprender de manera satisfactoria el concepto que explica.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

27. 16. Considero satisfactorios los resultados académicos obtenidos después de utilizar esta aplicación.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

28. 17. Pienso que es importante disponer de una aplicación de RA como la que he utilizado en clase para poder entender mejor algunos conceptos clave de la asignatura.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

29. 18. El contenido de la aplicación que he utilizado me parece importante.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

30. 19. Pienso que la comprensión del contenido de la aplicación de RA me ayudará a mejorar la nota del examen.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

31. 20. Considero que para que una aplicación de RA como la que he utilizado en clase sea relevante en mi aprendizaje, también tiene que ser fácil de utilizar.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

32. 21. Me parece importante hacer el examen online.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNlhFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNlxQtjsY_a5d6U8A/edit

10/14

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

33. 22. El uso de esta aplicación de RA, me permite entender mejor algunos conceptos clave importantes.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

34. 23. Considero que en general, la aplicación de RA que he utilizado en clase puede ser útil.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

35. 24. El uso de aplicaciones de RA para la explicación de algunos conceptos clave, me motivaría en el proceso de formación.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

36. 25. Pienso que puedo tener mejores resultados si los profesores utilizan aplicaciones de RA como la que he utilizado en clase.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNihFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNixQtjsY_a5d6U8A/edit

11/14

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

37. 26. Pienso que puedo sacar mejor nota si hago el examen online.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

38. 27. Ha sido fácil aprender a utilizar la aplicación de RA.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

39. 28. La sencillez de uso de la aplicación me ha facilitado la comprensión del concepto clave que explica.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

40. 29. Considero que cuando la aplicación de RA que utilizo en clase es fácil de manejar, pueden mejorar mis resultados en el examen.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNlhFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNlxQtjsY_a5d6U8A/edit

12/14

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

41. 30. Considero satisfactoria la facilidad de uso de la aplicación de RA que he utilizado en clase.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

42. 31. Tengo la seguridad de que, la utilización en clase de aplicaciones de RA como recurso de apoyo, puede facilitarme la comprensión de conceptos clave de la asignatura.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

43. 32. La aplicación de RA que he utilizado en clase, puede facilitarme la mejora de mis resultados académicos.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

44. 33. Esta tecnología, me ayuda a entender de manera clara lo que el profesor me está explicando.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fuente: Elaboración propia.

CUESTIONARIO PARA LA MEDIDA DEL GRADO DE ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS CLAVE ...

45. 34. He entendido mejor el concepto explicado con la ayuda de la aplicación de RA que si hubiese utilizado sólo el libro de texto.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

46. 35. He comprendido mejor el concepto explicado con la ayuda de la aplicación de RA que si hubiese utilizado sólo un vídeo.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

https://docs.google.com/forms/d/1qnoNlhFW7IEv1Zzmy4n5EZLRQahNlxQtjsY_a5d6U8A/edit

14/14

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Enlace a cuestionario *online*: <https://forms.gle/qU7KHPwvTXAJ9E846>

TESIS DOCTORAL: 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.

Anexo 18. Anotaciones realizadas en la entrevista estructurada sobre las respuestas de los expertos a las cuestiones planteadas relativas a los ítems del cuestionario para la determinación del nivel de formación del profesorado

ANOTACIONES EFECTUADAS EN LA ENTREVISTA ESTRUCTURADA EFECTUADA A EXPERTOS REGISTRO DE LAS RESPUESTAS VERBALES				
Fecha: Agosto de 2020				
Preguntas Planteadas	Expertos	OPINIÓN DE LOS EXPERTOS SOBRE LAS PREGUNTAS PLANTEADAS		
		Pertinencia	Adecuación y relevancia	Comentarios y sugerencias efectuados por los expertos sobre cada una de las preguntas
	EXPERTO 1	Sí	Sí	-
PREGUNTA A DOCENTES PROPUESTA 1	EXPERTO 2	Sí	No	Es necesario definir el período de formación por el que se pregunta a los docentes.
	EXPERTO 3	Sí	Sí	-
	EXPERTO 1	Sí	Sí	-
PREGUNTA A DOCENTES PROPUESTA 2	EXPERTO 2	Sí	No	Es necesario definir el periodo de formación por el que se pregunta a los docentes.
	EXPERTO 3	Sí	Sí	-
	EXPERTO 1	Sí	Sí	-
PREGUNTA A DOCENTES PROPUESTA 3	EXPERTO 2	Sí	No	Es necesario definir el periodo de formación por el que se pregunta a los docentes.
	EXPERTO 3	Sí	Sí	-

OTROS COMENTARIOS Y SUGERENCIAS REALIZADAS POR LOS EXPERTOS:

El tercer experto plantea la posibilidad de incluir más preguntas concretas relativas a la formación de los docentes, para poder concretar y completar la información aportada.

Fuente: Elaboración propia a partir de las respuestas verbales ofrecidas por los expertos.

Anexo 19. Cuestionario para la determinación del nivel de formación del profesorado participante en la investigación, en tecnología educativa y en sistemas de evaluación digitales

Cuestionario a Docentes de Educación Secundaria participantes en el Estudio

Cuestionario a Docentes de Educación Secundaria participantes en el Estudio

INSTRUCCIONES

1. Por favor, lea las instrucciones y cumplimente los datos generales antes de empezar a contestar a las preguntas.
2. El cuestionario consta de 3 ítems (preguntas), y se refieren única y exclusivamente a la formación que como Docente (cursos, seminarios, etc.), hubiera realizado "antes del día 1 de enero de 2019".

PROTECCIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos en este cuestionario se enmarcan dentro del Estudio efectuado en su Centro Educativo para la realización de la Tesis Doctoral, cuyo objetivo es el de determinar el impacto que tiene el uso de la tecnología en determinados procesos educativos. La participación en este estudio es totalmente voluntaria y las respuestas son completamente anónimas, por lo que no se solicita ningún dato que pueda identificarle/la, y toda la información se tratará de acuerdo a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales.

***Obligatorio**

1. Como docente, antes del mes de enero de 2019, ¿había realizado alguna vez, algún curso de formación relacionado con el uso de tecnología educativa No inmersiva (uso de plataformas educativas como Classroom, utilización de pizarra digital, programas como PowerPoint, etc...)? *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

2. Como docente, antes del mes de enero de 2019, ¿había realizado alguna vez, algún curso de formación relacionado con tecnología educativa inmersiva, basada específicamente en Realidad Aumentada? *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

https://docs.google.com/forms/d/1uR8PS3rKaUlalaPm_1FwOaqRNlJCADwN7efqx3vDRAk/edit

1/2

Fuente: Elaboración propia.

TESIS DOCTORAL: 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.

Cuestionario a Docentes de Educación Secundaria participantes en el Estudio

3. 3. Como docente, antes del mes de enero de 2019, ¿había realizado alguna vez, algún curso de formación relacionado con el uso de sistemas digitales de evaluación adaptados específicamente al uso de tecnología inmersiva en el aula?

*

Marca solo un óvalo.

Sí

No

https://docs.google.com/forms/d/1uR8PS3rKaUlalaPm_1FwOaqRNljCADwN7efqx3vDRAk/edit

2/2

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Enlace a cuestionario *online*: <https://forms.gle/FuzXmcosimzyMpp67>

Referencias

- Abad, F., Olea, J., Ponsoda, V., y García, C. (2011). *Medición en ciencias sociales y de la salud*. Madrid: Síntesis.
- Adams Becker, S., Brown, M., Dahlstrom, E., Davis, A., DePaul, K., Diaz, V., y Pomerantz, J. (2018). *NMC Horizon Report: 2018 Higher Education Edition*. Louisville, CO: EDUCAUSE, 2018. <https://library.educause.edu>
- 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-Samarraie, 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>
- Alexander, B., Ashford-Rowe, K., Barajas-Murphy, N., Dobbin, G., Knott, J., McCormack, M., Pomerantz, J., Seilhamer, R. y Weber, N. (2019). *EDUCAUSE Horizon Report 2019: Higher Education Edition*. Louisville: EDUCAUSE. <https://library.educause.edu>
- 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>
- Álvarez, I. (2019). El Derecho del ciberespacio. Una aproximación. *IDP. Revista de Internet, Derecho y Política*(30), 1-13. <https://dx.doi.org/10.7238/idp.v0i30.3201>
- Anderson, J. (2010). *ICT Transforming Education*. Bangkok : UNESCO Bangkok. <http://www.unesco.org>
- Anderson, L., y Krathwohl, D. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing. A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York : Addison Wesley Longman, Inc.
- Angrist, J., y Lavy, V. (1999). Using Maimonides' Rule To Estimate The Effect Of Class Size On Scholastic Achievement. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(2), 533-575. <https://doi.org/10.1162/003355399556061>

TESIS DOCTORAL: 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.

- Angrist, J., y Lavy, V. (2001). Does Teacher Training Affect Pupil Learning? Evidence from Matched Comparisons in Jerusalem Public Schools. *Journal of Labor Economics*, 19(2), 343-369. <https://doi.org/10.1086/319564>
- Angrist, J., y Lavy, V. (2002). New Evidence on Classroom Computers and Pupil Learning. *Economic Journal*, 112(482), 735-765. <https://doi.org/10.1111/1468-0297.00068>
- Anthes, C., García-Hernández, R., Wiedemann, M., y Kranzlmüller, D. (2016). State of the art of virtual reality technology. (págs. 1-19). Big Sky, MT: 2016 IEEE Aerospace Conference. <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500674>
- Archer, K., Savage, R., Sanghera-Sidhu, S., Wood, E., Gottardo, A., y Chen, V. (2014). Examining the effectiveness of technology use in classrooms: A tertiary meta-analysis. *Computers and Education*, 78, 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.06.001>
- ARIZONA K12 Center. (2021). *Arizona Technology Integration Matrix*. <https://www.azk12.org>
- Area, M. (2008). La innovación pedagógica con TIC y el desarrollo de las competencias informacionales y digitales. *Investigación en la Escuela*(64), 5-17. <https://doi.org/10.12795/IE.2008.i64.01>
- Arnold, B. (2014). Gamification in Education. *Proceedings of the American society of business and behavioral sciences*, 21(1), 32-39. <http://asbbs.org>
- Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- 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. <https://www.jstor.org>
- Baragash, R., Al-Samarraie, H., Ahmed Ibrahim, A., y Alfarraj, O. (2020). Augmented reality in special education: a meta-analysis of single-subject design studies. *European Journal of Special Needs Education*, 35(3), 382-397. <https://doi.org/10.1080/08856257.2019.1703548>
- Barroso, J., Cabero, J., García, F., Calle, F., Gallego, Ó., y Casado, I. (2017). Diseño, producción, evaluación y utilización educativa de la Realidad Aumentada. Sevilla, Andalucía, España: Secretariado de Recursos Audiovisuales y Nuevas Tecnologías Universidad de Sevilla. <https://grupotecnologiaeducativa.es>
- Berlinski, S., y Busso, M. (2017). Challenges in educational reform: An experiment on active learning in mathematics. *Economics Letters*(156), 172-175. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2017.05.007>

- Bhutta, Z., Umm-e-Hani, S., y Tariq, I. (2016). The next problems to solve in Augmented Reality. *IEEE Xplore. 2015 International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICICT.2015.7469490>
- Blázquez, F., Alonso, L., y Yuste, R. (2017). *La evaluación en la era digital*. Madrid: Síntesis.
- Bloom, B. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook 1: Cognitive Domain* (2nd ed.). Michigan: Addison Wesley Publishing Company.
- Boyles, B. (2017). *Virtual Reality and Augmented Reality in Education*. New York, NY: Center for Teaching Excellence, United States Military Academy West Point. <https://www.westpoint.edu>
- Bressler, D., y Bodzin, A. (2013). A mixed methods assessment of students' flow experiences during a mobile augmented reality science game. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(6), 505-517. <https://doi.org/10.1111/jcal.12008>
- Broll, W., Lindt, I., Herbst, I., Ohlenburg, J., Braun, A.-K., y Wetzel, R. (2008). Toward Next-Gen Mobile AR Games. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 28(4), 40-48. <https://doi.org/10.1109/mcg.2008.85>
- 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>
- Bulman, G., y Fairlie, R. (2016). Technology and Education: Computers, Software, and the Internet. En E. Hanushek, S. Machin, y L. Woessmann, *Handbook of the Economics of Education* (Vol. 5, págs. 239-280). Oxford : Elsevier.
- Bursali, H., y Yilmaz, R. (2019). Effect of Augmented Reality Applications on Secondary School Students' Reading Comprehension and Learning Permanency. *Computers in Human Behavior*, 95, 126-135. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.035>
- Cabero, J. (1998). Impacto de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en las organizaciones educativas. En M., Lorenzo, J. A Ortega, y T. Sola (Coords.), *Enfoques en la organización y dirección de instituciones educativas formales y no formales* (pp. 197-206). Granada: Grupo Editorial Universitario.
- Cabero-Almenara, J. (2018). La Realidad Aumentada, una tecnología emergente en la educación. En J. Cabero-Almenara, I. de la Horra Villacé, y J. Sánchez Bolado (Coords.), *La Realidad Aumentada como herramienta educativa. Aplicación a la Educación Infantil, Primaria, Secundaria y Bachillerato* (pp. 3-20). Madrid: Paraninfo.

- 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., y García, F. (2016). *Realidad Aumentada. Tecnología para la formación*. Madrid: Síntesis.
- 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. <https://tecnologia-ciencia-educacion.com>
- Cabero, J., Leiva, J., Moreno, N., Barroso, J., y López, E. (2016). *Realidad Aumentada y educación. Innovación en contextos formativos* (1ª ed.). Barcelona: 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>
- Cabero-Almenara, J., Llorente-Cejudo, C., y Gutiérrez-Castillo, J. (2017). Evaluación por y desde los usuarios: objetos de aprendizaje con Realidad Aumentada. *Revista De Educación a Distancia (RED)*, 17(53). <https://revistas.um.es>
- 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>
- Cai, S., Wang, X., y Chiang, F.-K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 37, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018>
- Cardona, J., Bribiescas, F., Romero, R., y Corona, R. (2016). Design, Adaptation and Content Validity Process of a Questionnaire: A Case Study. *International Journal of Management*, 7(7), 204-216. <http://www.iaeme.com>
- Cascales-Martínez, A., Martínez-Segura, M.-J., Pérez-López, D., y Contero, M. (2017). Using an Augmented Reality Enhanced Tablet System to Promote Learning of Mathematics: A Case Study with Students with Special Educational Needs. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13(2), 355-380. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00621a>
- Castells, M., Flecha, R., Freire, P., Giroux, H., Macedo, D., y Willis, P. (1994). *Nuevas perspectivas críticas en educación*. Barcelona: Ediciones Paidós.
- Cebrián, D., y Monedero, J. (2016). Evaluación educativa con tecnologías. En M.-J. Gallego-Arrufat, y M. Raposo-Rivas (Coords.), *Formación para la educación con tecnologías* (pp. 135-147). Madrid: Pirámide.

- Cebrián, V. (2016). Recursos educativos abiertos (OER/REA). En M.-J. Gallego-Arrufat, y M. Raposo-Rivas (Coords.), *Formación para la educación con tecnologías* (pp. 153-162). Madrid: Pirámide.
- Charter, R. (2003). A Breakdown of Reliability Coefficients by Test Type and Reliability Method, and the Clinical Implications of Low Reliability. *Journal of General Psychology*, 130(3), 290-304. <https://doi.org/10.1080/00221300309601160>
- Cheng, K.-H., y Tsai, C.-C. (2013). Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research. *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 449–462. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9405-9>
- Churches, A. (2009). Bloom's Digital Taxonomy. <http://edorigami.wikispaces.com>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2ª ed.). New York, NY: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155-159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Colás, P., y de Pablos, J. (2012). Aplicaciones de las tecnologías de la información y la comunicación en la investigación cualitativa. *Revista Española de Pedagogía*, 70(251), 77-92. <https://revistadepedagogia.org>
- Colás, M., De Pablos, J., y Ballesta, J. (2018). Incidencia de las TIC en la enseñanza en el sistema educativo español: una revisión de la investigación. *Revista de Educación a Distancia*, 18(56). <https://revistas.um.es>
- Cortada, N. (1999). *Teorías Psicométricas y Construcción de Test* (1ª ed.). Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Cox, M., y Marshall, G. (2007). Effects of ICT: Do we know what we should know? *Education and Information Technologies*, 12(2), 59-70. <https://doi.org/10.1007/s10639-007-9032-x>
- Cristia, J., Czerwonko, A., y Garofalo, P. (2014). Does technology in schools affect repetition, dropout and enrollment? Evidence from Peru. *Journal of Applied Economics*, 7(1), 89-112. [https://doi.org/10.1016/S1514-0326\(14\)60004-0](https://doi.org/10.1016/S1514-0326(14)60004-0)
- Cruz-Ramírez, M., y Martínez-Cepena, M. (2020). Origen y desarrollo de un índice de competencia experta: el coeficiente k. *Revista Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social*(19), 40-56. <http://relmis.com.ar>
- Davara, L. (2019). Formación TIC (redes sociales, internet, ciberseguridad, big data, etc.) en casa, en el colegio, en la universidad y en la empresa: características, razón de ser y contenido. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 89-110. <https://doi.org/10.51302/tce.2019.243>

- 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>
- De la Torre, J., Martín-Dorta, N., Saorín, J., Carbonell, C., y Contero, M. (2013). Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional. *RED. Revista de Educación a Distancia*(37). <https://revistas.um.es/red/article/view/234041>
- Dede, C. (2008). Theoretical Perspectives Influencing the Use of Information Technology in Teaching and Learning. En J. Voogt, Y G. Knezek (Ed.), *International Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education* (pp. 43-59). New York, NY: Springer.
- Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K., y Dixon, D. (2011). Gamification: Using Game Design Elements in Non-Gaming Contexts. *Proceedings of the CHI 2011 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2425-2428). Vancouver, BC, Canada: ACM.
- Di Serio, Á., Ibáñez, M., y Delgado, C. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers & Education*, 68, 586-596. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002>
- Enrui, L., Li, Y., Cai, S., y Li, X. (2018). The Effect of Augmented Reality in Solid Geometry Class on Students' Learning Performance and Attitudes. *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV 2018: Smart Industry & Smart Education*. 47 (pp. 549-558). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95678-7_61
- Escurra, L. (1988). Cuantificación de la validez de contenido por criterio de jueces. *Revista de Psicología*, 6(1-2), 103-111. <http://revistas.pucp.edu.pe>
- Falck, O., Mang, C., y Woessmann, L. (2015). Virtually No Effect? Different Uses of Classroom Computers and their Effect on Student Achievement. *IZA Discussion Paper*(8939). <http://ftp.iza.org>
- Ferguson, C. (2009). An effect size primer: A guide for clinicians and researchers. *Professional Psychology: Research and Practice*, 40(5), 532-538. <https://doi.org/10.1037/a0015808>
- 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>
- Fombona, J., y Vázquez-Cano, E. (2017). Posibilidades de utilización de la Geolocalización y Realidad Aumentada en el ámbito educativo. *Educación XXI*, 20(2), 319-342. <https://doi.org/10.5944/educxx1.19046>

- Ford, S., y Minshall, T. (2019). 3D printing in education: a literature review. *Additive Manufacturing*, 25, 131-150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Fryer, R. (2013). Teacher Incentives and Student Achievement: Evidence from New York City Public Schools. *Journal of Labor Economics*, 31(2), 373-407. <https://www.journals.uchicago.edu>
- Fuchs, T., y Wössmann, L. (2004). Computers and student learning: bivariate and multivariate evidence on the availability and use of computers at home and at school. *Brussels Economic Review*, 47(3/4), 359-389. <https://ideas.repec.org>
- Gallego, M. J., y de La Cruz, G. A. (2016). Alfabetización tecnológica en la sociedad del conocimiento. En M-J. Gallego-Arrufat, y M. Raposo-Rivas (Coords.), *Formación para la educación con tecnologías* (pp. 69-82). Madrid: Pirámide.
- Gandolfi, E., Ferdig, R., y Immel, Z. (2018). Educational Opportunities for Augmented Reality. En, J. Voogt, G. Knezek, R. Christensen, y K-W. Lai (Ed.), *Second Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education. Springer International Handbooks of Education* (pp. 967-979). Cham: Springer.
- García, F. (2016). Tipos de Realidad Aumentada. En, J. Cabero, y F. García (Coords.), *Realidad Aumentada. Tecnología para la formación* (pp. 25-42). Madrid: Síntesis.
- García, F., Casado, I., y Gallego, Ó. (2016). La construcción de recursos de Realidad Aumentada (I). En, J. Cabero, y F. García, (Coords.), *Realidad Aumentada. Tecnología para la formación* (pp. 43-55). Madrid: Síntesis.
- García-Saenz, A., Sánchez, A., Espinosa, A., Valentin, A., Aragonés, N., Llorca, J., Amiano, P., Martín, V., Guevara, M., Capelo, R., Tardón, A., Peiró-Perez, R., Jiménez-Moleón, J., Roca-Barceló, A., Pérez-Gómez, B., Dierssen-Sotos, T., Fernández-Villa, T., Moreno-Iribas, C., Moreno, V., García-Pérez, J. *et al.* (2018). Evaluating the Association between Artificial Light-at-Night Exposure and Breast and Prostate Cancer Risk in Spain (MCC-Spain Study). *Environmental Health Perspectives*, 126(4), 1-11. <https://doi.org/10.1289/EHP1837>
- Garzón, J., Pavón, J., y Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality. *Virtual Reality*, 23, 447-459. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., y Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778-798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>
- Giannini, S., Jenkins, R., y Saavedra, J. (2021). Misión: Recuperar la educación en 2021. *UNESCO*. <https://es.unesco.org>

- Goolsbee, A., y Guryan, J. (2006). The Impact of Internet Subsidies in Public Schools. *Review of Economics and Statistics*, 88(2), 336-347. <https://doi.org/10.1162/rest.88.2.336>
- Gutiérrez, E. (2016). Plataformas para el aprendizaje, PLE y MOOC. En M. Gallego-Arrufat, y M. Raposo-Rivas, *Formación para la educación con tecnologías* (pp. 183-190). Madrid: Pirámide.
- Haag, S., Cummings, M., y McCubbrey, D. (2004). *Management Information Systems for the Information Age* (cuarto ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Hair, J., Black, W., Babin, B., y Anderson, R. (2018). *Multivariate Data Analysis* (8ª ed.). Andover: 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>
- Hargreaves, A. (2003). *Enseñar en la sociedad del conocimiento*. Barcelona: Octaedro.
- Hattie, J. (2009). *A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Oxon and New York, NY: Routledge.
- Hattie, J., y Yates, G. (2014). *Visible Learning and the Science of How We Learn*. Oxon and New York, NY: Routledge.
- Huang, H.-M., y Liaw, S.-S. (2018). An Analysis of Learners' Intentions Toward Virtual Reality Learning Based on Constructivist and Technology Acceptance Approaches. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 19(1). <https://doi.org/10.19173/irrodl.v19i1.2503>
- Huang, J., Kinatader, M., Dunn, M., Wojciech, J., Yang, X.-D., Y Cooper, E. (2019). An augmented reality sign-reading assistant for users with reduced vision. *PLoS ONE*, 14(1), 1-9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210630>
- Hurtado, M., y Soto, F. (2005). *Tecnologías de ayuda en contextos escolares*. Murcia: Servicio de Publicaciones y Estadística.
- Ibáñez, M., Di Serio, Á., Villarán, D., y Delgado, C. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impacto on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.004>
- Jewitt, C., Hadjithoma-Garstka, C., Clark, W., Banaji, S., y Selwyn, N. (2010). *School use of learning platforms and associated technologies*. London: Institute of Education. University of London.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., y Freeman, A. (2014). *NMC Horizon Report: 2014 Higher Education Edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium.

- Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., y Hall, C. (2016). *NMC Informe Horizon 2016 Edición Superior de Educación*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- Johnson, H., McNally, S., Rolfe, H., Ruiz-Valenzuela, J., Savage, R., Vousden, J., y Wood, C. (2019). Teaching Assistants, Computers and Classroom Management. *Labour Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2019.02.006>
- Jorgenson, D., y Stiroh, K. (2000). Raising the Speed Limit: U.S. Economic Growth in the Information Age. *Brookings Papers on Economic Activity*, 125-210. <https://www.brookings.edu>
- Kamarainen, A., Metcalf, S., Grotzer, T., Browne, A., Mazzuca, D., M. Shane, T., y Dede, C. (2013). EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. *Computers & Education*, 68, 545-556. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.018>
- Keller, J. (2010). *Motivational Design for Learning and Performance. The ARCS Model Approach*. New York, NY: Springer.
- Khan, S. (2012). *The one world schoolhouse : Education Reimagined* . New York, NY: Twelve.
- Kim, K., Hwang, J., Zo , H., y Hwansoo, L. (2014). Understanding users' continuance intention toward smartphone augmented reality applications. *Information Development*, 32(2), 161-174. <https://doi.org/10.1177/0266666914535119>
- Kinateder , M., Ronchi, E., Nilsson, D., Kobes, M., Müller, M., Pauli, P., y Mühlberger, A. (2014). Virtual Reality for Fire Evacuation Resea. (pp. 313-321). Warsaw: Federated Conference on Computer Science and Information Systems.
- Kirikkaya, E., y Başgöl, M. (2019). The effect of the use of Augmented Reality applications on the academic success and motivation of 7th grade students. *Journal of Baltic Science Education*, 18(3), 362-378. <https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.362>
- Korn, O., Funk, M., y Schmidt, A. (2015). Towards a Gamification of Industrial Production. A Comparative Study in Sheltered Work Environments . *7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems EICS 2015* (pp. 84-93). Duisburg, Alemania: ACM.
- Kozma, R. (2005). National policies that connect ICT-based education reform to economic and social development. *Human Technology*, 1(2), 117-156. <https://humantechnology.jyu.fi>
- Lanier, J. (2018). *Ten Arguments for Deleting Your Social Media Accounts Right Now*. New York: Henry Holt and Co.
- Lee, H. (2013). 3D Holographic Technology and Its Educational Potential. *TechTrends*, 57(4), 34-39. <https://doi.org/10.1007/s11528-013-0675-8>

TESIS DOCTORAL: 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.

- León, O., y Montero, I. (2015). *Métodos de investigación en Psicología y Educación. Las tradiciones cuantitativa y cualitativa* (4ª ed.). Madrid: McGraw-Hill.
- Leuven, E., Lindahl, M., Oosterbeek, H., y Webbink, D. (2007). The Effect of Extra Funding for Disadvantaged Pupils on Achievement. *The Review of Economics and Statistics*, 89(4), 721-736. <https://doi.org/10.1162/rest.89.4.721>
- Livingstone, S. (2012). Critical reflections on the benefits of ICT in education. *Oxford Review of Education*, 38(1), 9-24. <https://doi.org/10.1080/03054985.2011.577938>
- López-Gómez, E. (2018). El método Delphi en la investigación actual en educación: una revisión teórica y metodológica. *Educación XXI*, 21(1), 17-40. <https://doi.org/10.5944/educXX1.15536>
- Lozano, R. (2011). De las TIC a las TAC: tecnologías del aprendizaje y del conocimiento. *Anuario ThinkEPI*, 5, 45-47. <http://www.thinkepi.net>
- Lu, S.-J., y Liu, Y.-C. (2015). Integrating augmented reality technology to enhance children's learning in marine education. *Environmental Education Research*, 21(4), 525-541. <https://doi.org/10.1080/13504622.2014.911247>
- Machin, S., McNally, S., y Silva, O. (2007). New Technology in Schools: Is There a Payoff?. *The Economic Journal*, 117(522), 1145-1167. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2007.02070.x>
- Marques, M., y Pombo, L. (2020). Game-Based Mobile Learning with Augmented Reality: Are Teachers Ready to Adopt It? En, M. Rehm, J. Saldien, y S. Manca (Ed.), *Project and Design Literacy as Cornerstones of Smart Education* (Vol. 158, pp. 207-218). Singapur: Springer.
- Martínez-Figueira, M. (2016). Atención a la diversidad con tecnologías. En, M. J. Gallego-Arrufat, y M. Raposo-Rivas (Coords.), *Formación para la educación con tecnologías* (pp. 53-64). Madrid: Pirámide.
- Martín-Gutiérrez, J., Fabiani, P., Benesova, W., Meneses, M., y Mora, C. (2015). Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education. *Computers in Human Behavior*, 51, 752-761. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.093>
- McEwan, P. (2015). Improving Learning in Primary Schools of Developing Countries: A Meta-Analysis of Randomized Experiments. *Review of Educational Research*, 85(3), 353-394. <https://doi.org/10.3102/0034654314553127>
- Merino, C., y Livia, J. (2009). Intervalos de confianza asimétricos para el índice la validez de contenido: Un programa Visual Basic para la V de Aiken. 25(1), 169-171. <https://revistas.um.es>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., y Kishino, F. (1994). Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*. 2351, pp. 282-292. Boston, MA: SPIE.

- Mishra, P., y Koehler, M. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054. <https://www.tcrecord.org>
- Mueller, S. (2018). *MIT Computer Science & Artificial Intelligence Lab*. <https://www.csail.mit.edu>
- Muñiz, J. (1999). *Teoría Clásica de los Test* (1ª ed.). Madrid: Ediciones Pirámide.
- Muñoz, L., Antón, P., y San Agustín, A. (2017). *Informe Anual del Sector TIC y de los Contenidos en España 2017*. Madrid: Observatorio Nacional de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. <https://www.ontsi.red.es/>
- 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 (Coords.), *Las tecnologías en educación. Hacia la calidad educativa* (pp. 17-33). Madrid: Síntesis.
- O'Neill, C. (2018). *Armas de destrucción matemática. Como el Big Data aumenta la desigualdad y amenaza la democracia*. Madrid: Capitan Swing.
- 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>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2019). *Trends Shaping Education 2019*. París: OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/trends_educ-2019-en
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Para crecer sanos, los niños tienen que pasar menos tiempo sentados y jugar más. Nuevas directrices de la OMS sobre actividad física, sedentarismo y sueño para niños menores de 5 años*. <https://www.who.int/es/news-room/detail/24-04-2019-to-grow-up-healthy-children-need-to-sit-less-and-play-more>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2019). *Las TIC en la educación*. <https://es.unesco.org>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). *Volver a encauzar la educación: el aprendizaje digital durante la pandemia de COVID-19*. Obtenido de <https://es.unesco.org>
- Pardo, A., y San Martín, R. (2015). *Análisis de datos en ciencias sociales y de la salud II* (2ª ed.). Madrid: Síntesis.
- Parente, D. (2016). Gamificación en la Educación. En, R. Contreras, y J. Eguia (Ed.), *Gamificación en las aulas universitarias* (pp. 11-21). Barcelona: InCom-UAB.

- Pascual-Seva, N., Sebastiá-Frasquet, M., Esteve, C., Asensio-Cuesta, S., Babiloni, M-E., Palomares, M-T., Portalés, A., y Vargas, M. (2015). Tecnologías de la información y la comunicación (TICs) para la gamificación. *Congreso In-Red 2015* . Valencia: UPV. <http://dx.doi.org/10.4995/INRED2015.2015.1594>
- Passey, D., Rogers, C., Machell, J., y McHug, G. (2004). *The Motivational Effect of ICT on Pupils*. London: Department of Educational Research. Lancaster University.
- Pellas, N., Fotaris, P., Kazanidis, I., y Wells, D. (2019). Augmenting the learning experience in primary and secondary school. *Virtual Reality*, 23(4), 329–346. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0347-2>
- Penfield, R., y Giacobbi, P. (2004). Applying a Score Confidence Interval to Aiken's Item Content-Relevance Index. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 8(4), 213-225. https://doi.org/10.1207/s15327841mpee0804_3
- Prendes, C. (2015). Realidad Aumentada en educación: Análisis de experiencias prácticas. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*(46), 187-203. doi:<https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i46.12>
- Prieto, M. (2016). Prólogo. En, M. Rodríguez, E. Nieto, y R. Sumozas (Coords.), *Las tecnologías en educación. Hacia la calidad educativa* (pp. 13). Madrid: Síntesis.
- Puentedura, R. (2014). Learning, Technology, and the SAMR Model: Goals, Processes, and Practice. <http://hippasus.com/blog/archives/date/2014/06>
- Puerto Mendoza, A. (2015). *Introducción al Derecho de internet. Régimen jurídico básico de los contenidos digitales*. Madrid: Centro de Estudios Financieros (CEF). UDIMA.
- Puig Punyet, E. (2016). *La gran adicción. Cómo sobrevivir sin Internet y no aislarse del mundo*. Barcelona: Arpa y Alfil Editores.
- Rouse, C., Krueger, A., y Markman, L. (2004). Putting Computerized Instruction to the Test: A Randomized Evaluation of a “Scientifically-Based” Reading Program. *Economics of Education Review*, 23(4), 323-338. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2003.10.005>
- Ruiz-Ariza, A., Casuso, R., Suarez-Manzano, S., y Martínez-López, E. (2018). Effect of augmented reality game Pokémon GO on cognitive performance and emotional intelligence in adolescent young. *Computers & Education*, 116, 49-63. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.09.002>
- Sáez, J. (2017). *Investigación educativa. Fundamentos teóricos, procesos y elementos prácticos* (1ª ed.). Madrid: 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>

- Sahin, D., y Yilmaz, R. (2020). The effect of Augmented Reality Technology on middle school students'. *Computers & Education*, 144(103710). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103710>
- Sánchez-García , J., y Toledo-Morales, P. (2017). Tecnologías convergentes para la enseñanza: Realidad Aumentada, BYOD, Flipped Classroom. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 17(55). <https://doi.org/10.6018/red/55/8>
- Savage, R., Abrami, P., Piquette, N., Wood, E., Deleveaux, G., Sanghera-Sidhu, S., y Burgos, G. (2013). A (Pan-Canadian) cluster randomized control effectiveness trial of the ABRACADABRA web-based literacy program. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 310-328. <https://doi.org/10.1037/a0031025>
- Scherer, R., Siddiq, F., y Tondeur, J. (2020). All the same or different? Revisiting measures of teachers'. *Computers & Education*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103656>
- Sirakaya, M., y Alsancak Sirakaya, D. (2018). Trends in Educational Augmented Reality Studies: A Systematic Review. *Malaysian Online Journal of Educational Technology*, 6(2), 60-74. <https://doi.org/10.17220/mojet.2018.02.005>
- Sirakaya, M., y Alsancak, D. (2020). Augmented reality in STEM education: a systematic review. *Interactive Learning Environments*. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1722713>
- Sireci, S., y Geisinger, K. (1995). Using Subject-Matter Experts to Assess Content Representation: An MDS Analysis. 19(3), 241-255. <https://doi.org/10.1177/014662169501900303>
- Spiteri, M., y Chang Rundgren, S.-N. (2020). Literature Review on the Factors Afecting Primary Teachers' Use of Digital Technology. *Technology, Knowledge and Learning*, 25(1), 115–128. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9376-x>
- Sulaiman, R., Al-Samarraie, H., Moody, L., y Zaqout, F. (2020). Augmented Reality and Functional Skills Acquisition Among Individuals With Special Needs: A Meta-Analysis of Group Design Studies. *Journal of Special Education Technology*, 1-8. <https://doi.org/10.1177/0162643420910413>
- 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>
- Tawil, S. (2020). *Six months into a crisis: reflections on international efforts to harness technology to maintain the continuity of learning*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org>
- Trucano, M. (2005). *Knowledge Maps: ICT in Education*. Washington, DC: infoDev / World Bank.

TESIS DOCTORAL: 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.

- Ubieto, J., Almirall, R., Borrás, F., Ramírez, L., y Vilá, F. (2019). *Del padre al iPad. Familias y redes en la era digital*. Barcelona: Ned Ediciones.
- Villalustre, L., y del Moral, M. (2016). *Experiencias interactivas con realidad aumentada en las aulas*. Barcelona: Octaedro.
- Waldegg, G. (2002). El uso de las nuevas tecnologías para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 4(1), 95-116. <https://redie.uabc.mx>
- Wilson, E. (1927). Probable inference, the law of succession, and statistical inference. *Journal of the American Statistical Association*, 22(158), 209-212. <https://doi.org/10.2307/2276774>
- Wilson, M., Ritzhaupt, A., y Cheng, L. (2020). The impact of teacher education courses for technology integration on pre-service teacher knowledge: A meta-analysis study. *Computers & Education*, 156. doi:10.1016/j.compedu.2020.103941
- Wojciechowski, R., y Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers and Education*, 68, 570-585. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.014>
- Wu, H.-K., Lee, S.-Y., Chang, H.-Y., y Liang, J.-C. (2013). Current Status, Opportunities and Challenges of Augmented Reality in Education. *Computers and Education*, 62, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>
- Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. Shoshana Zuboff. New York, NY: PublicAffairs.

