

Universidad Autónoma de Madrid

Facultad de Formación del Profesorado y
Educación



Mundos Virtuales y Reales. Estudio de la
integración de la Realidad Aumentada y
Virtual en educación formal.

TESIS DOCTORAL

Juan B. Bonnín de Góngora
Director: Melchor Gómez García

Madrid, 2017

Esta tesis está dedicada a mi familia, en especial para mis hijos y esposa.

*Enseñar es recordarles a los demás
que saben tanto como tú.*

Richard Bach

Debo mi más profunda gratitud a mi supervisor el Dr. Melchor Gómez, por su continua inspiración y apoyo desde el esbozo inicial hasta el documento final.

Agradezco de todo corazón a Soledad, Sergio y Moussa, por su inestimable ayuda en la realización de las pruebas para esta investigación, siempre amables y positivos.

Gracias a los participantes en las actividades de la Universidad Autónoma de Madrid y del Centro Universitario La Salle, por su cooperación y entusiasmo en la realización de las diferentes pruebas.

A Huawei, por la ayuda prestada para poder hacer las pruebas necesarias para esta tesis, y en especial a Sergio Martínez por su apoyo incondicional en este proyecto.

A mi hija Claudia por su ayuda en la revisión de los textos.

Gracias a todos los que han creído que en algún momento llegaría a la meta.

Índice

Índice	1
Índice de Tablas	5
Índice de Gráficos	6
Índice de Ilustraciones	9
Capítulo 1. Introducción	13
Capítulo 2. Las TIC en el siglo XXI	19
2.1 TIC y Sociedad: el auge de Internet	19
2.1.1 La educación básica como motor para las TIC	20
2.1.2 Situación de la brecha digital	23
2.1.3 Elementos de la ciudadanía digital	27
2.2 Perfil de las TIC en España.....	29
2.2.1 Cómo usamos las TIC	33
2.3 Las TIC en educación	35
2.3.1 Competencias básicas en el ámbito de las TIC	37
2.4 Síntesis del Capítulo	39
Capítulo 3. Teléfonos inteligentes y educación	41
3.1 El teléfono móvil va a la escuela	41
	1

3.1.1 Metodología educativa y los teléfonos inteligentes	44
3.1.2 Aprendizaje móvil	48
3.2 Los teléfonos móviles en la actualidad	53
3.2.1 Sistemas operativos	53
3.2.2 Fragmentación de los dispositivos móviles	55
3.3 Ecosistema de aplicaciones	58
3.3.1 Categorías de aplicaciones	60
3.3.2 Uso de las aplicaciones	63
3.4 Síntesis del capítulo	64
 Capítulo 4. Mundos Virtuales y Reales	 65
4.1 Mundos físicos y sintéticos	65
4.2 Breve historia de la Realidad Aumentada y Virtual	71
4.3 Realidad Aumentada	84
4.3.1 Sistemas de Realidad Aumentada	87
4.3.2 Modos de interacción RA	92
4.3.3 Usos de la Realidad Aumentada	97
4.3.4 Dispositivos para Realidad Aumentada	101
4.4 Realidad Virtual	124
4.4.1 Realidad Virtual e inmersión	126
4.4.2 Usos de la Realidad Virtual	128
4.4.3 Dispositivos para RV	132
4.5 Tecnologías de la Realidad Mixta y Educación	136
4.5.1 Realidad Aumentada en Educación	141
4.5.2 Realidad Virtual en Educación	147
4.6 La Realidad Mixta como apoyo a la discapacidad	148
4.7 Síntesis del capítulo	152
 Capítulo 5. Métodos de investigación.....	 153

5.1 Objetivos	153
5.2 Diseño de la investigación	161
5.3 Participantes	167
5.4 Instrumentos de recogida de datos.....	171
5.4.1 Cuestionarios	172
5.4.2 Instrumentos cualitativos	176
5.5 Variables de la investigación	178
5.6 Desarrollo de los experimentos	185
5.6.1 Medios necesarios para llevar a cabo la intervención	186
5.6.2 Diseño de los experimentos	187
5.6.3 Selección de los contenidos pedagógicos	188
5.6.4 Hardware para los experimentos	194
5.6.5 Aplicaciones para la realización de las actividades	196
5.6.6. Metodología educativa	206
5.6.7. Realización de los experimentos	207
5.7 Síntesis del Capítulo	210
Capítulo 6. Análisis de datos	211
6.1 Contraste de la hipótesis principal	212
6.2 Contraste de la hipótesis entre Grupos en Matemáticas	222
6.3 Desempeño por género	229
6.4 Dimensión Uso del Móvil	233
6.5 Dimensión Motivación	240
6.6 Dimensión Realidad Aumentada	253
6.7 Dimensión Realidad Virtual	259
6.8 Dimensión de la Realidad Mixta	268
6.9 Actitud hacia las diferentes tecnologías empleadas	272
Síntesis del Capítulo	275

Capítulo 7. Conclusiones y discusión.....	277
7.1 Conclusiones	277
7.2 Discusión	278
Bibliografía	283
Apéndices.....	308
Acrónimos utilizados	308
Cuestionarios digitales	309

Índice de Tablas

Tabla 1: Sistemas para el desarrollo de RA más usados	90
Tabla 2: Dispositivos de Realidad Virtual más populares	134
Tabla 3: Clasificación de diseño mixto según referencial teórico	164
Tabla 4: Cuestionarios recibidos por actividad y centro	169
Tabla 5: Participantes por centro y género	170
Tabla 6: Participantes según la edad	170
Tabla 7: Variables de la investigación	178
Tabla 8: Resumen de procesamiento de casos evaluación	213
Tabla 9: Resultados de la Evaluación por Grupo	215
Tabla 10: Pruebas de normalidad	217
Tabla 11: Rangos promedio de la puntuación por grupo.....	219
Tabla 12: Resultado del Test de <i>KW</i> de la comparación entre grupos .	219
Tabla 13: Resultado del Test de <i>Kruskal-Wallis</i>	220
Tabla 14: Resumen por Grupo (ítems con carácter matemático)	223
Tabla 15: Pruebas de normalidad <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	225
Tabla 16: Resumen de Rangos Promedio	226
Tabla 17: Resultado del Test de <i>Kruskal-Wallis</i>	226
Tabla 18: Resultado del Test de <i>Kruskal-Wallis</i>	227
Tabla 19: Puntuaciones por género en las evaluaciones	230
Tabla 20: Pruebas de normalidad <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	232
Tabla 21: Prueba <i>U de Mann-Whitney</i> sobre las puntuaciones-género	232
Tabla 22: Uso del dispositivo móvil en función del grupo.	237
Tabla 23: Uso avanzado del móvil.....	239

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Participantes en las actividades por género	169
Gráfico 2: Distribución de la muestra agrupada según la edad	171
Gráfico 3: Puntuaciones totales por Grupo	215
Gráfico 4: Distribución de frecuencias Grupos 1 y 2	216
Gráfico 5: Distribución de frecuencias Grupo 3	217
Gráfico 6: Distribución de frecuencias Grupo 4	217
Gráfico 7: Análisis Post Hoc de <i>Kruskal-Wallis</i>	221
Gráfico 8: Resumen de la Puntuación total en ítems matemáticos	224
Gráfico 9: Dist. frecuencias de la puntuación matemática, Grupos 1,2.	224
Gráfico 10: Dist. de frec. de la puntuación matemática, Grupos 3 y 4..	225
Gráfico 11: Resultado del análisis por parejas.....	228
Gráfico 12: Distribución de frecuencias por puntuación y género	230
Gráfico 13: Uso habitual del dispositivo móvil por los participantes	233
Gráfico 14: Uso habitual del dispositivo móvil por Grupo.....	234
Gráfico 15: Sistema operativo de los dispositivos móviles	235
Gráfico 16: Sistema operativo de los dispositivos móviles por Grupo..	236
Gráfico 17: Uso del dispositivo móvil en función del grupo	238
Gráfico 18: Uso avanzado del móvil	240
Gráfico 19: Intención de participación en otras actividades Grupo 1 ...	241
Gráfico 20: Intención de participación en otras actividades Grupo 2	241
Gráfico 21: Intención de participación en otras actividades Grupo 3 ...	241
Gráfico 22: Intención de participación en otras actividades Grupo 4 ...	241
Gráfico 23: Intención de participación en otras actividades total	242

Gráfico 24: Intención de participación en otras actividades por grupos .	243
Gráfico 25: Grado de interés de la actividad. Grupo 1	244
Gráfico 26: Grado de interés de la actividad. Grupo 2	245
Gráfico 27: Grado de interés de la actividad. Grupo 3	246
Gráfico 28: Grado de interés de la actividad. Grupo 4	247
Gráfico 29: Grado de interés de la actividad. Todos los participantes .	248
Gráfico 30: Motivación medios digitales Grupo 1.....	249
Gráfico 31: Motivación medios digitales Grupo 2.....	250
Gráfico 32: Motivación medios digitales Grupo 3.....	251
Gráfico 33: Motivación medios digitales Grupo 4.....	252
Gráfico 34: Motivación medios digitales. Todos los participantes	253
Gráfico 35: Grupos 2 y 4. Uso anterior de la Realidad Aumentada	254
Gráfico 36: Grupos 2 y 4. Percepción de la facilidad de uso de la RA.	256
Gráfico 37: Grupos 2 y 4. Percepción de utilidad de la RA.....	257
Gráfico 38: Grupos 2 y 4. Percepción de idoneidad de la RA para ser usada en las aulas.....	258
Gráfico 39: Grupos 2 y 4. Intención de futuro uso en las aulas (RA)	259
Gráfico 40: Uso anterior de aplicaciones de Realidad Virtual	260
Gráfico 41: Grupos 3 y 4. Uso anterior de Gafas de RV.....	261
Gráfico 42: Grupos 3 y 4. Percepción de facilidad de uso de la RV.....	263
Gráfico 43: Grupos 3 y 4. Percepción de utilidad de la RV.....	264
Gráfico 44: Grupos 3 y 4. La Realidad Virtual en el aula	265
Gráfico 45: Porcentaje de futuros maestros que piensan incorporar la Realidad Virtual en sus clases	266
Gráfico 46: Grupos 3 y 4. Corrección en la vista.....	267
Gráfico 47: Porcentaje de participantes que sufrieron molestias al usar gafas de realidad virtual	268
Gráfico 48: Grupo 4. Percepción de facilidad de uso de la RM	270
Gráfico 49: Grupo 4. Percepción de idoneidad dela RM en las aulas...	271
Gráfico 50: Intención de futuro uso de la RM en las aulas	272

Gráfico 51: Actitud hacia la Realidad Aumentada (agrupado)	273
Gráfico 52: Actitud hacia la Realidad Virtual (agrupado)	274
Gráfico 53: Actitud hacia la Realidad Mixta (Realidad Aumentada + Realidad Virtual), agrupado	275

Índice de ilustraciones

Figura 1. Evolución de usuarios de Internet (2009-2016)	24
Figura 2. Uso de Internet por zonas geográficas (2016)	25
Figura 3. Uso de Internet por género (2016)	26
Figura 4. Cobertura de banda ancha en España	30
Figura 5. Informe Mobile en España y en el Mundo 2016	31
Figura 6. Dispositivos de acceso a Internet (%) por internauta	32
Figura 7. Los últimos treinta días, uso de Internet	34
Figura 8. Número medio de alumnos por ordenador 2014-2015	36
Figura 9. Porcentaje de Centros con Conexión Wifi a Internet (2014-15)	37
Figura 10. Suscripciones móviles globales y cobertura de la población .	43
Figura 11. Cuota por Sistema Operativo 2017	54
Figura 12. Fragmentación de dispositivos Android (08/2015)	55
Figura 13. Los doce dispositivos con mejor rendimiento	57
Figura 14. Evolución de aplicaciones disponibles	59
Figura 15. Vista del sitio web de Opera	60
Figura 16. Top 15 Número de Aplicaciones por categoría	62
Figura 17. Aplicaciones más descargadas en España (móvil)	64
Figura 18. Representación del Continuo Realidad-Virtualidad	66
Figura 19. Taxonomía del <i>continuum de Mann</i>	68
Figura 20. <i>Blended Reality</i>	70
Figura 21. Realidad Dual, redes de sensores y actuadores	70
Figura 22. Cruce de Realidades	71

Figura 23. Invento de Albert B. Pratt (1916)	72
Figura 24. <i>The Sensorama</i> , de la patente #3050870 (EE.UU.)	73
Figura 25. <i>Head Mounted Display</i> de Heilig (1960)	73
Figura 26. Sutherland (1968). <i>The Ultimate Display</i>	74
Figura 27. Imagen del <i>Sistema MARS</i>	75
Figura 28. <i>VideoPlace</i> de Myron Krueger	76
Figura 29. <i>Supercockpit</i> , de Tom Furness	77
Figura 30. <i>The Virtual Interface Environment Workstation</i>	77
Figura 31. <i>The Cave Automatic Virtual Environment</i>	78
Figura 32. Consola <i>Virtual Boy</i> de Nintendo	79
Figura 33. <i>Digitarama</i>	80
Figura 34. <i>The Virtual Showcase</i>	81
Figura 35. <i>AMIRE</i>	81
Figura 36: <i>The Invisible Train</i>	82
Figura 37. <i>Deskrama</i>	82
Figura 38. <i>Campus UAM</i> del autor	83
Figura 39. Sistemas de visualización: holográfico y de guía de ondas	110
Figura 40. Concepto de lentes para Realidad Aumentada	110
Figura 41. Algunos modelos de la marca Vuzix	115
Figura 42. Modelos de gafas de la marca Recon	116
Figura 43. Gafas <i>GlassUp</i>	117
Figura 44. Epson <i>Moverio BT-200</i>	118
Figura 45. Diferentes modelos Lumus y módulo óptico	119
Figura 46. Lente Innovega y esquema del sistema	120
Figura 47. Combinación de gafas y lentes de Innovega	121
Figura 48. Microsoft <i>Hololens</i>	122
Figura 49. Atheer es especialista en soluciones industriales	123
Figura 50. Concepto <i>HUD</i> de Continental	124
Figura 51. Parques de realidad virtual. <i>The void</i>	130
Figura 52. Google <i>Cardboard</i>	132
Figura 53. Dispositivo <i>3DHead</i>	133

Figura 54. <i>Virtuix Omni</i>	133
Figura 55: Ventas de gafas de RV (2016)	136
Figura 56. Taxonomía de Bloom y taxonomía revisada	138
Figura 57: Taxonomía de Bloom para la era digital	139
Figura 58. Plataforma de aprendizaje <i>ARTP</i> del proyecto <i>ARiSE</i>	145
Figura 59: Diferentes modelos testados para la selección	189
Figura 60: Escenas seleccionadas en realidad aumentada	190
Figura 61: Modelo del módulo lunar y su astronauta	191
Figura 62: Modelo del <i>X-Habitat</i> y su astronauta	191
Figura 63: Modelo de <i>San Pedro de Roma</i> , de Enrico Dalbosco	192
Figura 64: Modelo de <i>The People's Dome</i>	193
Figura 65: Huawei <i>P8</i>	195
Figura 66: Gafas de realidad virtual <i>VR Box</i>	196
Figura 67: Imágenes usadas como marcadores	198
Figura 68: <i>Natural features</i> de los marcadores	199
Figura 69: Desarrollo del Menú principal	201
Figura 70: Punto de vista del usuario	202
Figura 71: Aplicación de RM mostrando las salidas	203
Figura 72: Mundos en RA y en RV	205
Figura 73: Lógica de la aplicación de realidad mixta	205
Figura 74: Visión de los mundos incrustados	206

Capítulo 1

Introducción

La tesis que aquí se presenta es un estudio del proceso de incorporación pedagógica de las tecnologías de la información y comunicación, específicamente de las tecnologías basadas en la realidad mixta lo que incluye de forma destacada la realidad aumentada y la realidad virtual. Se hacen una serie de contribuciones significativas en la aplicación de estas tecnologías en las aulas, abordando el problema que representa la falta de un modelo didáctico de carácter funcional para el uso de estas tecnologías y ampliando la gama de posibilidades de aprendizaje.

Se realizaron diferentes experimentos dónde los alumnos usaron estas tecnologías en ámbitos desconocidos para ellos, que nos provee de indicios para obtener conclusiones sobre su uso y que servirá de punto de partida para otros estudios más extensos y profundos. Se describe en esta investigación cómo el uso de estas tecnologías afectó al desempeño de las actividades realizadas y se indaga en cómo fueron percibidas estas tecnologías por los participantes en términos de facilidad de uso, utilidad y motivación para su uso en las aulas, usando el *Modelo de Aceptación de la*

Tecnología (TAM). La tecnología por sí misma, sólo por el hecho de existir, no puede ser suficiente justificación para ser usada de forma indiscriminada en los diferentes campos educativos, es necesario dotarla de diferentes compañeros de viaje, como una adaptación adecuada a las necesidades de los alumnos y marcos metodológicos apropiados.

Se investigaron diferentes posibilidades de experiencias a realizar, tanto en la forma, como en la presentación de los contenidos. Finalmente se optó por diseñar los mismos objetos de aprendizaje para ser utilizados sobre distintas tecnologías (realidad aumentada, realidad virtual y la mezcla de ambas) y también en método tradicional de aprendizaje. Esta forma de proceder proporciona una fuente de información valiosa para posteriores estudios de generalización del caso, donde estos contrastes múltiples son escasos en la literatura.

En el plazo de la investigación para esta tesis doctoral los dispositivos móviles han evolucionado grandemente en términos de capacidad de procesamiento, memoria y resolución gráfica. La realidad aumentada es ahora una tecnología presente en múltiples aplicaciones de uso diario y las gafas de realidad virtual ya no son un elemento extraño en el mundo educativo gracias a diferentes iniciativas. Ambas tecnologías usadas sobre dispositivos móviles, realidad aumentada y realidad virtual, junto con las características de portabilidad y ubicuidad inherentes a estos sistemas proporcionan una nueva oportunidad de exploración en las aulas, un escenario donde actuar.

Diez años atrás (2006) una breve noticia en la televisión me impresionó profundamente, de un libro abierto salían imágenes tridimensionales, que se podían manipular... ¿Ciencia ficción o magia? Ninguna de las dos opciones era correcta, era el *MagicBook* de Billinghurst, Kato & Poupyrev (2001).

Me pareció deslumbrante el potencial que esta tecnología podría tener en un futuro en múltiples campos, entre ellos el de la educación. Desde ese momento fui seguidor incondicional de este tipo de tecnologías, habiendo realizado de forma continua experimentos con realidad aumentada; primero usando los medios -demostraciones-, que otros autores ponían al alcance del público en general. Difundiéndolos mediante mi sitio web *Outernet.tk*, hoy desaparecido, pero que vi referenciado en muchos trabajos sobre realidad aumentada. Siguiendo estas tecnologías, experimenté con buscadores de realidad aumentada en sus comienzos, desarrollando el directorio de esta universidad (UAM) y algunas demostraciones con objetos 3D para crear el *Campus Inteligente* que, si bien nunca llegó a ver la luz, supuso un paso hacia adelante en mi comprensión y concepción del uso de estas tecnologías. En mi trabajo de fin de Máster especulé sobre la incorporación de la realidad aumentada en proyectos para mejorar la vida de personas con discapacidad y, posteriormente, me interesó la forma en que estas tecnologías podían impactar en las personas mediante la inmersión en mundos virtuales y como era su aplicación a diferentes entornos del mundo del arte.

No podía ser de otra forma que estas tecnologías participasen de forma activa en mi tesis doctoral, y poder inferir su potencial en el corto y medio plazo en los diferentes campos educativos.

El objetivo principal de este trabajo de investigación está relacionado con la contribución que las diferentes tecnologías en la realidad mixta (realidad aumentada, realidad virtual) realizan en el marco del aprendizaje de las matemáticas, de este objetivo general se desprenden diferentes objetivos específicos que veremos más adelante en su correspondiente capítulo.

El diseño metodológico que se escogió para esta investigación, por las circunstancias y características concretas descritas dentro del contexto del problema, fue abordado mediante un diseño de modelo mixto, utilizando tanto

el enfoque cuantitativo como el cualitativo. Siempre el enfoque cuantitativo predomina sobre el cualitativo, sirviendo este último para complementar los datos obtenidos y dotar de un punto de vista más humano a las relaciones existentes entre las personas y la tecnología.

Este documento está estructurado en diferentes capítulos:

- El *Capítulo 1* es esta breve introducción, dónde se expone el contexto general de la investigación y mi motivación personal a la hora de elegir este tema para mi tesis doctoral.
- En el *Capítulo 2* se trata de la relación actual de la sociedad y las tecnologías de la información y de la comunicación. Cómo a pesar de los adelantos conseguidos en muchos campos la brecha digital sigue activa e incluso aumentando en diversos lugares del globo. La educación se muestra como una herramienta básica para reducir la distancia entre estos mundos.
- En el *Capítulo 3* revisamos el uso actual del teléfono móvil, eje central como herramienta de esta investigación, y describiremos algunas tendencias de uso en las escuelas. El teléfono móvil participa de forma principal en las actividades con las diferentes tecnologías empleadas.
- El *Capítulo 4* presenta la perspectiva histórica y la situación actual de los paradigmas reales y virtuales que son usados en esta investigación. Se muestran las herramientas tecnológicas actuales más populares para producir y visualizar tecnologías virtuales.
- El método de investigación se expone en el *Capítulo 5*, se definen los objetivos, se muestra el procedimiento seguido para la generación de

los experimentos y el desarrollo de las pruebas realizadas. Los instrumentos de recogida de datos se incorporan en este capítulo.

- En el *Capítulo 6* se analizan los datos recogidos usando métodos descriptivos y diferentes contrastes estadísticos necesarios para buscar explicaciones plausibles a los diferentes fenómenos observados.
- En el *Capítulo 7* se exponen las conclusiones de una forma breve y concisa, para pasar después a la discusión de los diferentes resultados y sugerir futuros trabajos de interés en este campo.
- Se finaliza el documento con las referencias a la bibliografía empleada y se incluyen en apéndices diferentes documentos no incluidos en el cuerpo principal de este trabajo.

Destacamos finalmente que como resultados de esta investigación la realidad aumentada permitiría conseguir mejoras en algunos aprendizajes matemáticos, frente a metodologías tradicionales con soporte papel. La motivación de los alumnos que realizan actividades en formatos digitales es mayor que cuando realizan actividades en métodos tradicionales analógicos. La actitud de los alumnos hacia las diferentes tecnologías empleadas ha tenido carácter de positivo o muy positivo, al igual que la intención de uso futuro de estas tecnologías en las aulas por los futuros maestros. Finalmente destacar que el uso de dispositivos para visualizar la realidad virtual puede actuar como elemento de distracción en el aprendizaje y no proporcionó una mejora en el rendimiento frente a metodologías tradicionales.

Capítulo 2

Las Tecnologías de la Información y Comunicación en el Siglo XXI

En este capítulo se presenta la situación actual de las tecnologías de la información y de la comunicación, no se pretende realizar un estudio en profundidad de las TIC en la sociedad, ya que no es el objeto de este trabajo de investigación. Pero sí se pretende disponer de una visión global y actualizada del contexto en el que se realiza esta investigación.

2.1 TIC y Sociedad: el auge de Internet

Pocos inventos -por no decir ninguno- en la historia de la Humanidad están marcando nuestro presente y modelando nuestro futuro, como lo está haciendo Internet. En la última década, Internet se ha propagado rápidamente impactando en una forma considerable en la vida de los ciudadanos. A finales de 2016, aproximadamente 3500 millones de personas (el 47% de la población mundial) accedieron a Internet. Este auge de Internet ha sido

impulsado por la expansión de las redes de comunicaciones y las mejoras técnicas en los dispositivos de acceso, móviles principalmente, pero no podemos olvidar los factores socio-económicos, los precios a la baja de los servicios básicos de comunicación y la regulación propiciada por la mayoría de gobiernos han sido el complemento ideal para este desarrollo.

Esta diversificación tecnológica ha favorecido que un mayor número de ciudadanos, tanto de países desarrollados como de países en vías de desarrollo, sean conscientes de las ventajas que les puede aportar la utilización de las tecnologías de la información y de la comunicación y, por lo tanto, que las mismas se hayan ido introduciendo cada vez más en las actividades diarias de los individuos.

Las TIC engloban cada vez un mayor número de tecnologías, integrándose rápidamente para poder atender una cantidad creciente de servicios y usos diferentes. Estas nuevas posibilidades técnicas no sólo generan una alteración en el comportamiento económico-social, especialmente en los países desarrollados, sino también nuevas oportunidades de integración social y de mejora económica en los países en vías de desarrollo.

2.1.1 La educación básica como motor para las TIC

La educación básica se muestra como un punto crucial para abrir las posibilidades de Internet a aquellos que aún no están conectados. Según el *Informe de seguimiento de la Educación* (UNESCO, 2016), muchas escuelas de países en desarrollo no pueden cubrir las necesidades básicas como el agua y la electricidad, y cerca del 20% de los estudiantes de los países de la OCDE, por término medio, no tienen el nivel básico de competencia lectora. Este porcentaje se ha mantenido estable desde 2009 (OCDE, 2016). Por otra

parte, también se observa una relación entre el uso que los jóvenes hacen de Internet y la situación socio-económica entre niños y adolescentes. Un estudio de la *OCDE* muestra que, aunque pasen el mismo tiempo conectados, los estudiantes más ricos son más propensos a utilizar Internet para realizar diferentes actividades educativas, mientras que los estudiantes más pobres son más propensos a usar Internet para la comunicación y el juego (OCDE, 2016), lo que hace que la brecha digital permanezca no sólo por la disponibilidad de las tecnologías en sí mismo, sino que se generan desigualdades simplemente según la forma en que son utilizadas.

El mismo estudio sugiere que existen desigualdades incluso en países con acceso casi universal a Internet. La falta de conocimiento y familiaridad en el uso de Internet para encontrar información puede obstaculizar a los jóvenes en sus estudios y perspectivas de encontrar empleo. El estudio muestra que la educación tradicional es crucial para aumentar la capacidad de los estudiantes para utilizar las herramientas de TIC con fines de aprendizaje. Leer contenido en Internet requiere las mismas habilidades que leer un libro. Resultando que la escasa alfabetización sigue siendo una de las principales barreras para la conectividad con las TIC y el uso de Internet.

Si bien es importante integrar Internet y las diferentes tecnologías y dispositivos de acceso en la educación, los resultados del *Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (PISA)* de la *OCDE* muestran que los estudiantes de los países con mejor desempeño en lectura digital no hacían un uso más intensivo de Internet en la escuela que los estudiantes de otros países menos aventajados (OCDE, 2016).

El uso de Internet por parte de los adolescentes ya es casi universal en los países desarrollados y la población más joven de muchos países en desarrollo tienen el doble de tiempo de conexión que la población en general. En muchos países en desarrollo, las escuelas y las universidades siguen

siendo la puerta de entrada de los niños y jóvenes al uso de ordenadores e Internet. El ITU (2017) cita textualmente *“Existen cada vez más evidencias sobre los beneficios que el acceso a Internet proporciona a los jóvenes. En particular, a menudo se considera que los jóvenes con acceso a Internet tienen una ventaja competitiva sobre sus compañeros que no utilizan Internet”*. La proporción de adolescentes que utilizan Internet al comenzar los estudios secundarios excede la tasa de uso de Internet para la población general en casi todos los países del mundo. El acceso y el uso de Internet se han vinculado a resultados positivos, y tanto como un número creciente de niños y adolescentes pasan gran parte de su tiempo en línea, también es importante reconocer y comprender los efectos secundarios negativos de estar demasiado tiempo conectado y también qué es lo que se hace cuando se está conectado. Por una parte, no es suficiente que las escuelas desfavorecidas tengan más ordenadores por alumno; estos ordenadores deben tener conexión a Internet y, lo más importante es que deben usarse de tal manera que fomenten el aprendizaje.

El número de estudios disponibles que examinan los posibles efectos secundarios del uso intensivo de Internet y de los dispositivos móviles y pantallas, es relativamente limitado y también es demasiado pronto para estudiar los impactos a largo plazo. Las pruebas existentes hoy en día, sin embargo, sugieren que los niños y adolescentes que pasan grandes cantidades de tiempo en línea corren mayor riesgo de experimentar diferentes formas de sufrimiento mental. Un estudio de la OCDE encontró *que “los estudiantes que pasan más de seis horas en línea por día de la semana fuera de la escuela están particularmente en riesgo de reportar que se sienten solos en la escuela y que llegaron tarde a la escuela o se saltaron días de escuela en las dos semanas antes de la prueba PISA”* (OCDE, 2015). Arab y Díaz (2014) indican que el abuso del uso de redes sociales ha mostrado una asociación con depresión, insomnio, disminución de horas totales de sueño,

disminución del rendimiento académico y abandono escolar, entre otros problemas. Un informe del gobierno del Reino Unido (Public Health England, 2013) sugiere que los niños y adolescentes que pasan más tiempo delante de las pantallas de ordenadores o dispositivos móviles tienden a experimentar mayores niveles de angustia emocional, ansiedad y depresión. Así que es probable que la rápida evolución del uso de Internet por parte de los niños tenga un impacto en su salud y desarrollo en general; sin embargo, la investigación sobre los efectos reales del uso de las TIC es escasa. Existe, por tanto, una creciente preocupación por la salud de los niños que pasan mucho tiempo usando sus dispositivos móviles, tabletas o computadores. Prestando cada vez más atención las autoridades e investigadores a la importancia de medir y comprender el acceso y el uso que hacen los niños de Internet, aunque no lo suficiente para el uso intensivo que se realiza.

2.1.2 Situación de la *Brecha Digital*

Como podemos ver en la *Figura 1*, procedente del renombrado informe *Mary Meeker's Internet Trends 2017* de la consultora KPCB (<http://www.kpcb.com/internet-trends>) el crecimiento interanual de usuarios de Internet a finales de 2016 se sitúa cerca del 11%, siendo estable el crecimiento en los últimos años. El acceso a Internet estaba disponible para el 46% de la población mundial.

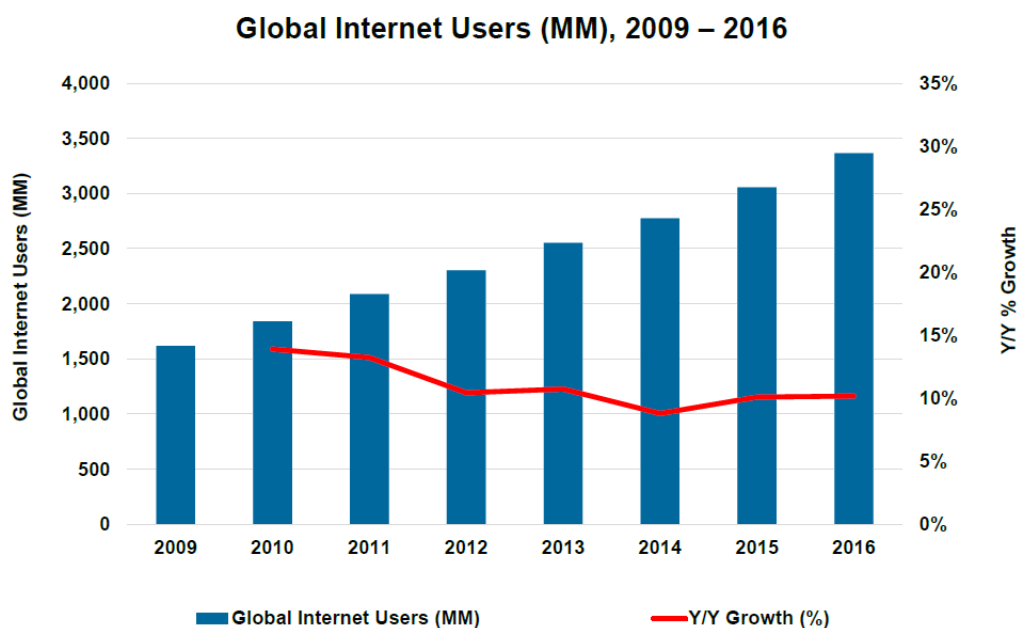


Figura 1: Evolución de usuarios de Internet (2009-2016).

Fuente: KPCB's Mary Meeker Internet Trends 2017.

Los beneficios del uso de Internet se han propagado desigualmente y muchas personas no han podido beneficiarse del potencial que ofrece. La población desconectada en el mundo alcanza los 3900 millones de personas *-el 53% de la población mundial-* (ITU, 2017). Este grupo está mayoritariamente compuesto por mujeres (63%), personas mayores, colectivos poco favorecidos económicamente y poblaciones que viven en zonas rurales. De esta población se estima que 758 millones de personas son adultos que no están alfabetizados. (UNESCO, 2016).

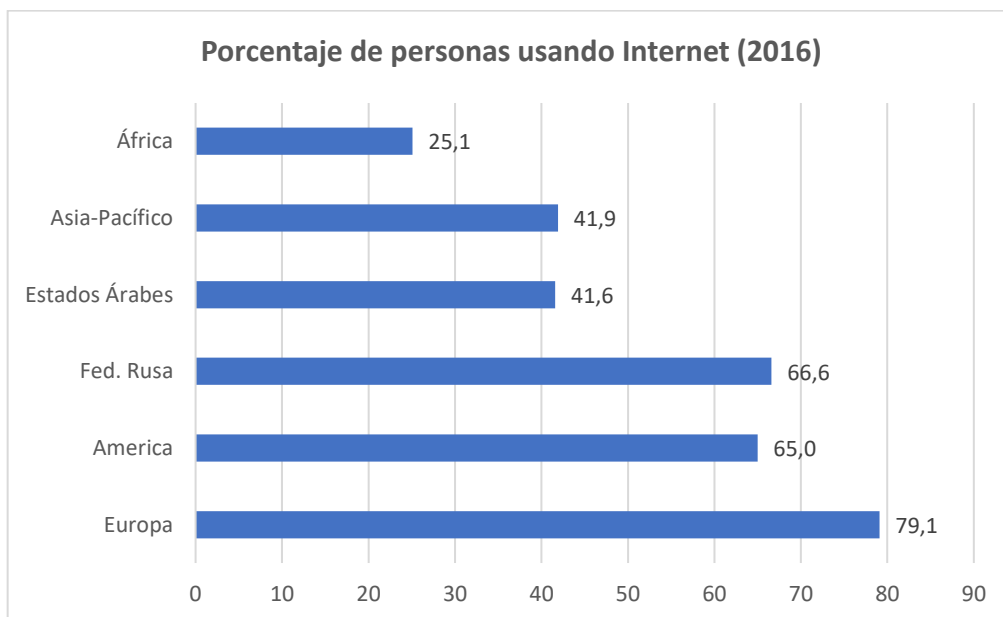


Figura 2: Uso de Internet por zonas geográficas (2016). Elaboración propia.

Fuente de los datos: ITU. ICT Facts and Figures 2016.

Europa llega casi al 80% de la población conectada, mientras que en África sólo lo están el 25.1% de la población (*Figura 2*), según el ITU (2017) la brecha digital aumentó un 1% en el período 2013-2016, permaneciendo alta en promedio en los países en desarrollo (31%). En cuanto a la brecha digital por género, en todos los países el porcentaje de hombres que usan Internet es mayor frente al porcentaje de mujeres que lo usan (*Figura 3*). La distancia por género más alta es la de África (23%) y la más pequeña la de América (2%).

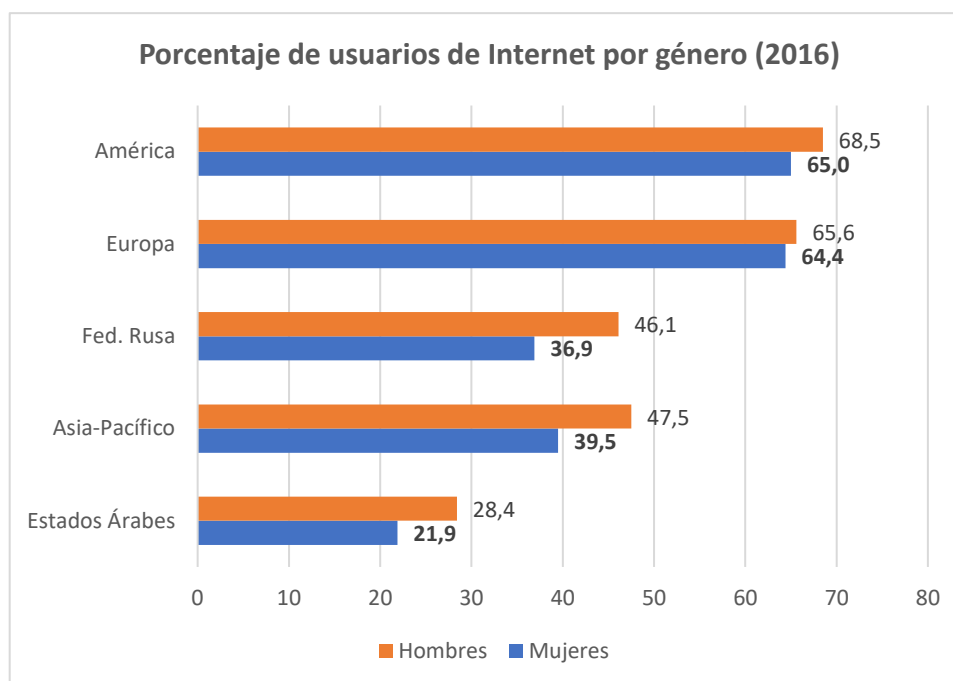


Figura 3: Uso de Internet por género (2016). Elaboración propia.

Fuente de los datos: ITU. ICT Facts and Figures 2016.

Si bien la infraestructura de Internet es la principal barrera para su expansión, como hemos visto no es menos importante los niveles de educación y los niveles de ingresos que lo acompañan. Los factores sociales y económicos, además de poder garantizar las posibilidades de acceso, también desempeñan un papel importante en la forma en que se utiliza Internet y en qué medida se maximiza su potencial. En áreas donde la infraestructura tradicional de redes fijas es escasa, y cuando existe es bastante deficiente en cuanto a calidad y velocidad, se está imponiendo el acceso a Internet a través de la telefonía móvil.

En los países en desarrollo, el número de abonados a la banda ancha móvil sigue creciendo en tasas de dos dígitos, alcanzando una tasa de penetración cercana al 41%. Se prevé que el número total de suscripciones a la banda ancha móvil ascenderá a 3600 millones para finales de 2016. Los

servicios de banda ancha móvil se han vuelto de forma general más asequibles que los servicios de banda ancha fija. En los países en vías de desarrollo, los servicios de banda ancha fija son, de forma general, más de tres veces más caros que los servicios de banda ancha móvil. Esto explica parcialmente el éxito de los dispositivos móviles frente a otras formas de conectarse a Internet.

2.1.3 Elementos de la ciudadanía digital

Los ciudadanos, además de saber cómo se usa un dispositivo deben saber que derechos les asisten como ciudadanos digitales que son y también que responsabilidad asumen al usar estos medios.

- Acceso digital: La participación en la sociedad digital y el acceso equitativo en una sociedad digital es necesario para que la capacidad intelectual humana y el crecimiento ocurran. Si bien la desigualdad digital puede ocurrir debido a decisiones socio-económicas, personales y/o sociales.
- Comunicación digital: La responsabilidad de proporcionar conectividad a Internet depende, como es evidente, de la provisión de los recursos necesarios para participar como ciudadano digital. Estos recursos incluyen equipos tecnológicos como dispositivos móviles, ordenadores, programas informáticos y la conectividad a Internet.
- Protocolo de etiqueta digital: Se ha hecho poco esfuerzo hasta la fecha para establecer un conjunto de normas para regular las normas de comunicación dentro de la sociedad digital. En la mayoría de las conversaciones personales, la comunicación cara a cara se ve a menudo como la mejor manera de transmitir la información, mientras que las tecnologías móviles proporcionan un medio eficiente para

transmitir información básica (Ribble & Bailey, 2004). Ayudar a los nativos digitales a determinar cuándo, dónde, por qué y cómo utilizar los teléfonos móviles para la comunicación es necesario en el desarrollo de la ciudadanía digital (Franklin, 2011).

- Responsabilidades y derechos digitales. Todos los ciudadanos, incluidos los ciudadanos digitales, esperan derechos básicos. En una comunidad digital, los derechos de libertad de expresión, propiedad privada y privacidad cuando se utiliza la tecnología deben ser mantenidos y apoyados. Los gobiernos locales, regionales y nacionales deben asumir la responsabilidad de ayudar a las instituciones educativas a brindar oportunidades para aprender cómo se violan o protegen los derechos digitales al usar el acceso a Internet. Los derechos también conllevan responsabilidades. Los usuarios deben ayudar a definir cómo las diferentes tecnologías deben ser utilizadas de manera apropiada.
- Salud y bienestar digitales: el bienestar físico y psicológico en el mundo digital se está convirtiendo en un punto del mayor interés, la salud visual y auditiva, la ergonomía, son cuestiones que deben abordarse en el nuevo mundo tecnológico. Más allá de las cuestiones físicas están también las cuestiones psicológicas que están surgiendo como la adicción a Internet. Los usuarios necesitan aprender los peligros inherentes al uso de la tecnología, dispositivos tales como teléfonos móviles, tabletas o computadores portátiles ha causado que muchos se preocupen también por los efectos de las ondas electromagnéticas. La sociedad debe exigir la investigación de estas y otras cuestiones ergonómicas que rodean a los dispositivos digitales y la implementación de los cambios necesarios para asegurar la salud de los usuarios (Ribble & Bailey, 2004; Franklin, 2011).

- Seguridad digital y auto protección: En cualquier sociedad, existen delincuentes, lo mismo aplica en la comunidad digital. No es suficiente confiar a otros miembros de la comunidad nuestra propia seguridad, debemos tomar medidas para protegernos. Al igual que en nuestras propias casas utilizamos medidas para protegernos. Necesitamos protección y copias de seguridad de nuestra información. Debemos proteger nuestra información de elementos externos que puedan causar daños o trastornos.
- Comercio digital: La compra-venta de productos a través de medios digitales es una realidad, muchos de los productos que se encuentran en Internet entran en conflicto con las leyes o la moral, lo que puede incluir actividades como descargas ilegales, pornografía, apuestas, compra de artículos éticamente dudosos o falsificaciones.
- Responsabilidad digital. La ética sigue siendo un gran problema en el uso de dispositivos digitales dentro y fuera de la escuela. Como comunidad digital, la sociedad debe trabajar tanto en las instituciones educativas como en el lugar de trabajo para conseguir alcanzar una sociedad digital ética.

Estos puntos esbozados se pueden dividir en muchos pequeños apartados, es importante concienciar a la sociedad de estas necesidades y poner a su alcance la información y medios necesarios para alcanzar la meta de una sociedad digital segura, privada, responsable, ética y abierta.

2.2 Perfil de las TIC en España

La difusión de Internet, como hemos revisado en el capítulo anterior ha crecido de forma notable a nivel global, como también lo ha hecho la velocidad de conexión. España tampoco es ajena a este boom, en 2015 fue

el tercer país de la OCDE con un mayor crecimiento en implantación de fibra óptica (101.9%), sólo por detrás de Nueva Zelanda (132.2%) y de Grecia (123.7%). La cobertura de banda ancha no sólo está relacionada con las infraestructuras fijas, en la actualidad también están proporcionadas por las tecnologías de banda ancha de tercera 3G (UMTS) y cuarta generación LTE (4G). Pero el combinar la banda ancha fija (BAF) y la banda ancha móvil (BAM) hace que en la práctica cada vez existan menos lugares desconectados de las redes de comunicaciones.

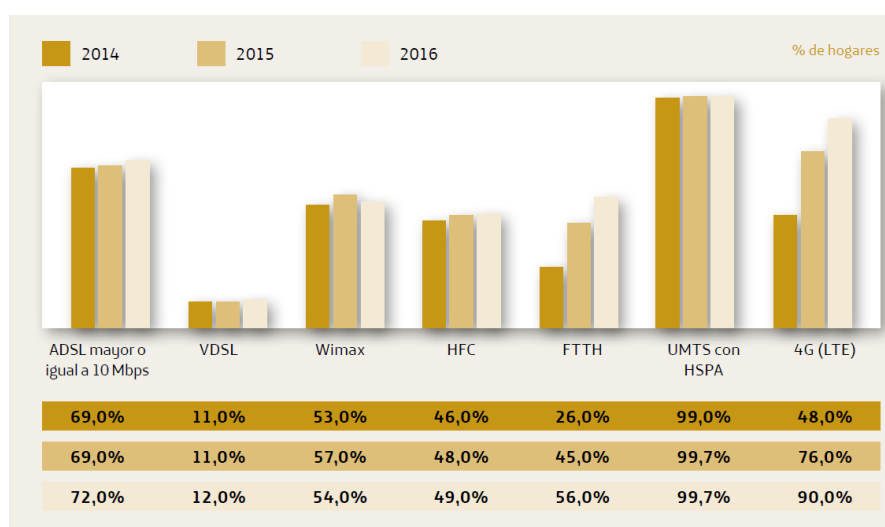


Figura 4: Cobertura de banda ancha en España. Fuente: Informe IV trimestre 2016, CNMC.

En la *Figura 4* vemos que en el último año en España el aumento de la cobertura de fibra óptica (FTTH) y de las redes móviles 4G es significativo. No solamente se está mejorando la calidad y velocidad de conexión, sino que al mismo tiempo se ha producido una revolución en la forma en qué nos conectamos. Los medios de conexión han sufrido cambios muy importantes en calidad y velocidad, ahora los dispositivos portátiles son los medios preferidos para conectarnos a Internet como podemos ver en la *Figura 5*.

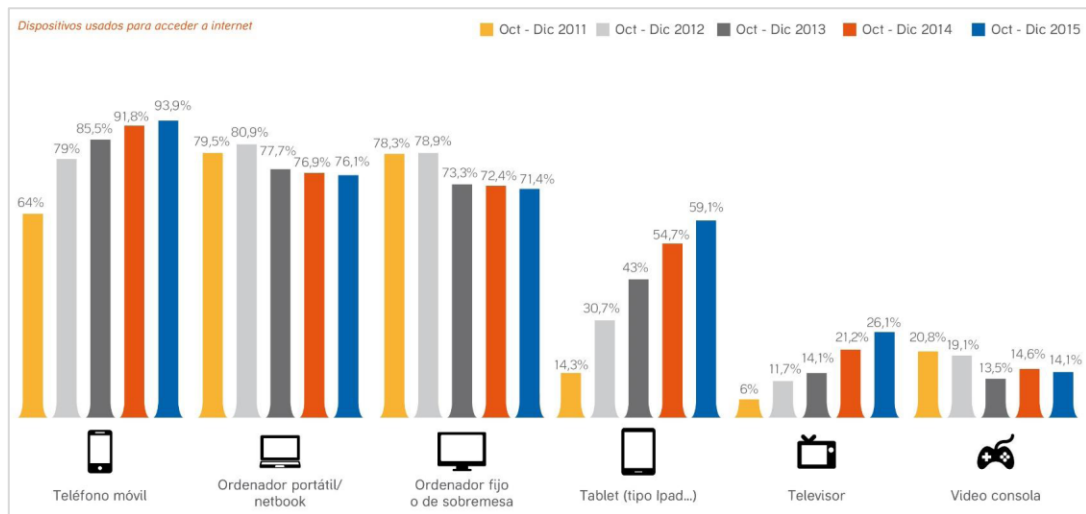


Figura 5: Informe Mobile en España y en el Mundo 2016.

Fuente: Asociación para la investigación de los medios de comunicación.

El dispositivo móvil predomina sobre el resto de medios, pero es importante destacar en el mundo conectado la irrupción de televisiones y consolas, a lo que habría que añadir aproximadamente un 6% de dispositivos *wearables* conectados (no representados en el gráfico), como los relojes inteligentes. En un mundo hiper-conectado nos conectamos no sólo con un único medio, cada usuario utiliza diferentes medios para la conexión.

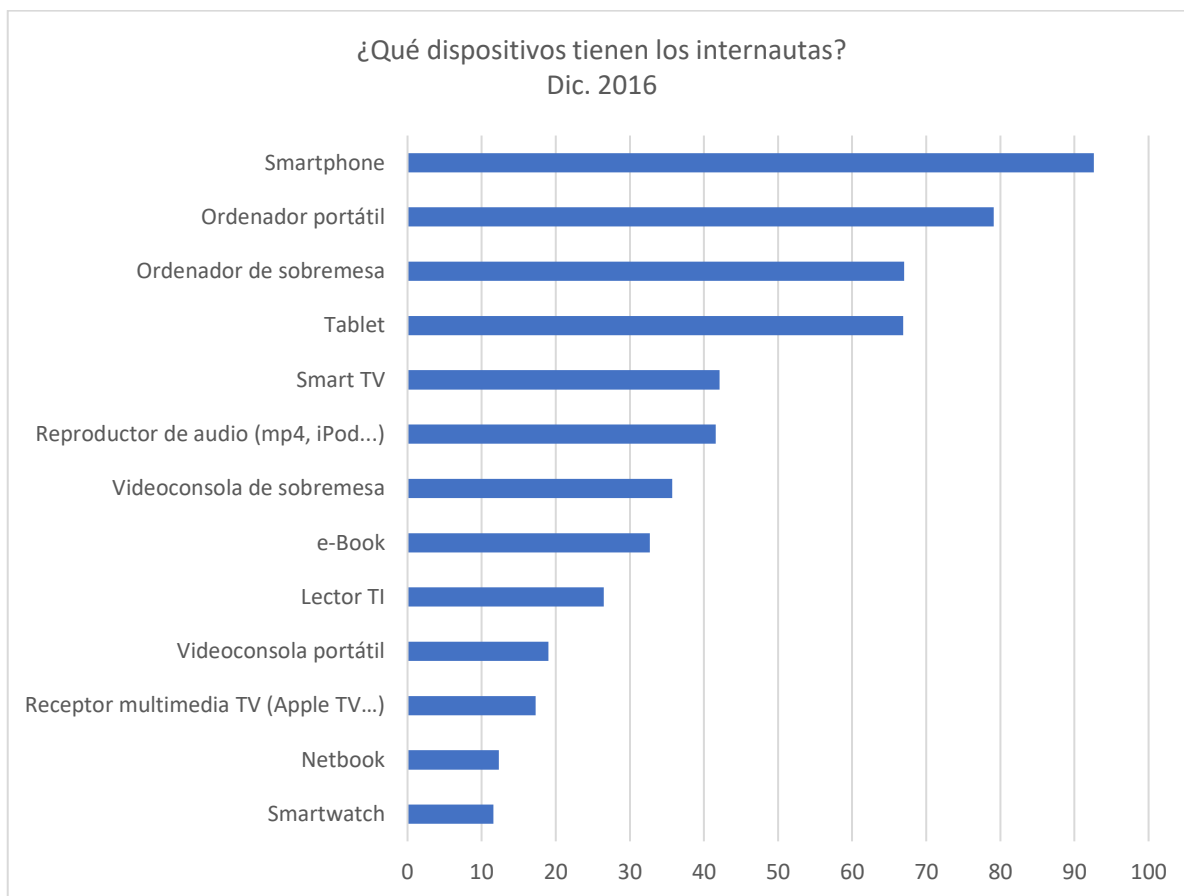


Figura 6: Porcentaje de dispositivos de acceso a Internet por internauta. Fuente de los datos: Informe *Mobile en España y en el Mundo 2016*. Asociación para la investigación de los medios de comunicación. Elaboración propia.

La evolución de las tecnologías de la información y de la comunicación no parece detenerse, actualmente no sólo se buscan mecanismos que faciliten el acceso a las redes, sino que existe un gran interés en crear sistemas más rápidos y flexibles que se puedan adaptar a las necesidades de un mayor número de individuos. A pesar de la influencia que pueda tener la regulación de los diferentes gobiernos la incorporación a Internet depende de unos precios más asequibles de utilización y de unos dispositivos de acceso cada vez más baratos.

2.2.1 Cómo usamos las TIC

Al principio, fueron los segmentos más jóvenes de la sociedad los que vieron las posibilidades que les ofrecía Internet en todos los ámbitos, posteriormente los segmentos maduros de población fueron incorporándose de una manera paulatina. La brecha digital entre edades está desapareciendo, la mayor utilización de Internet por parte del segmento más mayor de la población ha sido una tendencia constante durante los últimos años. En muchos casos esta adopción se ha debido a la rápida difusión de los teléfonos inteligentes y tabletas por una parte y, por otra, a la utilización de algún medio de comunicación específico, como las aplicaciones de mensajería instantánea o las redes sociales.

Durante el año 2016, afirma la *Fundación Telefónica* en su informe *Sociedad de la Información en España (2017)*, que los mayores de sesenta y cinco años se están incorporando al uso de Internet, lo cual parece indicar que nos encontramos en la última etapa de un proceso de adopción total de Internet por la sociedad. Este auge, al menos en el nicho de las personas mayores, ha sido propiciado por un espectacular crecimiento del uso de las tabletas, pasando de ser utilizada por el 13.2% de los internautas a ser usada por el 42.1%, un crecimiento espectacular de un 219%. De hecho, este segmento utiliza este dispositivo para conectarse a Internet, 8.3 puntos porcentuales por encima de la media, y se convierte en el segmento que más utilizan las tabletas para conectarse a Internet.

El uso de Internet es tan variado como personas diferentes acceden a la red. En la *Figura 7* podemos ver el uso que hicieron de Internet durante “los últimos treinta días” en la 19ª encuesta *Navegantes en la Red* (Asociación de los Medios de Comunicación) sobre una muestra de casi 15 000 personas durante los meses de octubre a diciembre de 2016.

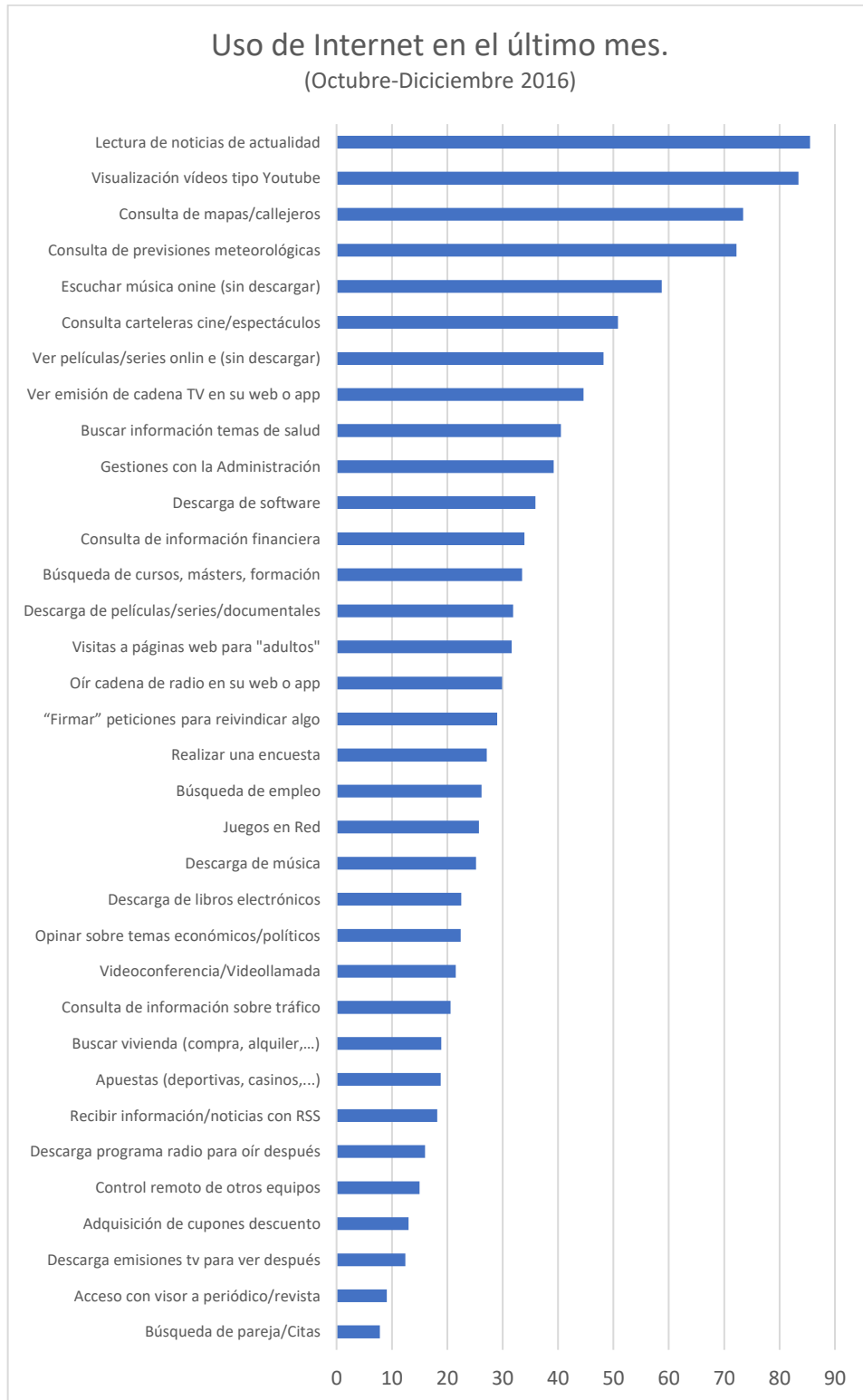


Figura 7: "Los últimos treinta días" en la 19ª encuesta Navegantes en la Red de la Asociación de los Medios de Comunicación. Elaboración propia.

2.3 Las TIC en la Educación

El uso de las TIC en la educación ha conllevado una serie de problemas de adaptación, al igual que sucede en otros ámbitos cuando se introducen innovaciones. En el origen de la mayoría de las discusiones se han encontrado las diferencias en cuanto a su forma de uso, su adaptación curricular, su adaptación pedagógica y a los diferentes agentes del proceso de aprendizaje (alumnos, profesores, instituciones). Cuando se habla del uso de las TIC en educación, estamos hablando de todos los factores citados anteriormente interrelacionados

Debido a esta incorporación, los cambios sucedidos han sido múltiples; las presentaciones de contenidos basados en texto e imágenes estáticas fueron sustituidas por contenidos dinámicos audiovisuales, pero ahora lo son por medios interactivos, con carácter colaborativo la mayoría de las veces y que permiten generar y compartir el conocimiento. La difusión multicanal utilizada en *marketing* -narrativa transmedia- es un derivado innovador de estos conceptos que, debido a su carácter incompleto por mensaje-medio, aún no ha sido implantado en educación. De esta forma, métodos como el aprendizaje a distancia, en línea y el aprendizaje móvil se han convertido en rivales de la formación presencial debido al uso de Internet y a las diferentes herramientas existentes.

En las últimas décadas el sistema educativo español ha cambiado radicalmente, las causas son principalmente dos, la primera es debido a los procesos de descentralización, mediante la transferencia de competencias a las diferentes comunidades autónomas, y, la segunda, por la necesidad de converger con otros sistemas educativos europeos.

Los indicadores referidos a las tecnologías de la información y comunicación son considerados como un parámetro de comparación y de

desarrollo entre países, de modo que la cantidad disponible de medios TIC en las aulas se ha convertido en un indicador. Este indicador ha hecho que, en muchos casos, lo que ha sido importante desde el punto de vista institucional ha sido su disponibilidad, más que el grado de efectividad y su aprovechamiento en relación a los objetivos educativos (European Commission, 2013).

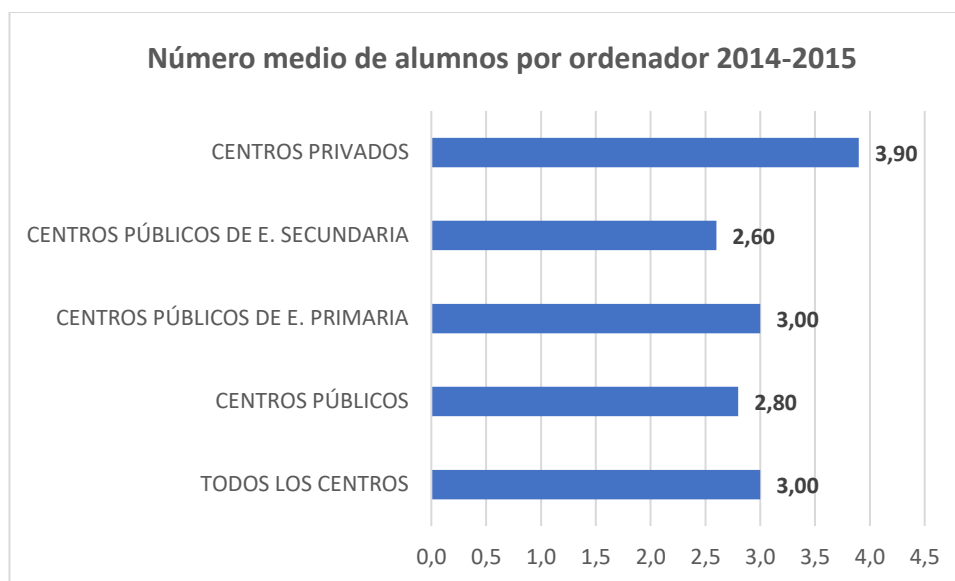


Figura 8: Número medio de alumnos por ordenador 2014-2015. Fuente: Estadística de las Enseñanzas no universitarias. Subdirección General de Estadística y Estudios del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Elaboración propia.

Mientras que el número medio de alumnos por ordenador conectado a Internet destinado a docencia en Centros Privados (2014-2015) se sitúa en una cifra de 4.0; en Centros Públicos este número es de 3.6, no importa tanto el número de ordenadores en las aulas como el uso eficiente a que sean destinados.

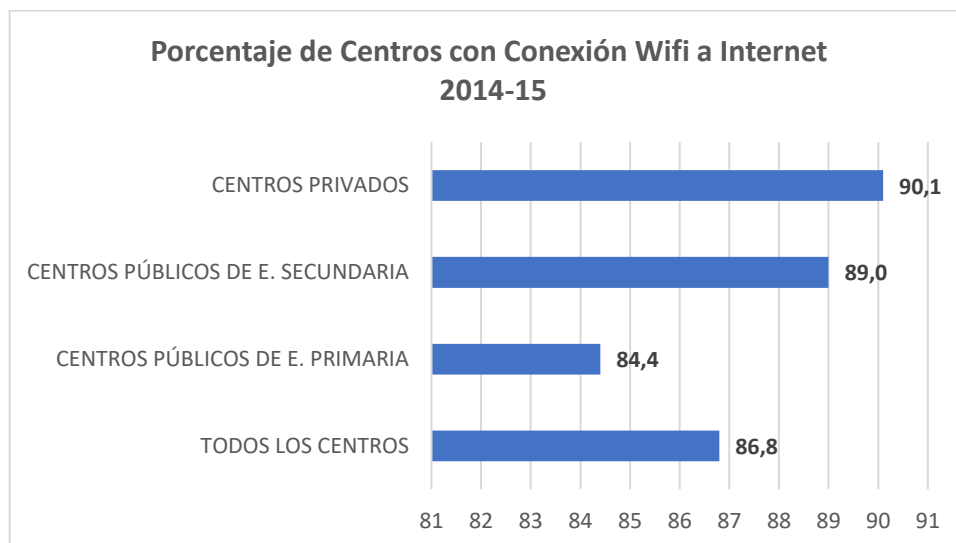


Figura 9: Porcentaje de Centros con Conexión Wifi a Internet (2014-15).

Fuente: Estadística de las Enseñanzas no universitarias. Subdirección General de Estadística y Estudios del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Elaboración propia.

2.3.1 Competencias básicas en el ámbito de las TIC

Entre las competencias clave incluidas por el *Ministerio de Educación, Cultura y Deporte* en el currículo de estudios no universitarios ahora se incluye la competencia digital (CD), que *“es aquella que implica el uso creativo, crítico y seguro de las tecnologías de la información y la comunicación para alcanzar los objetivos relacionados con el trabajo, la empleabilidad, el aprendizaje, el uso del tiempo libre, la inclusión y participación en la sociedad”*.

Esta competencia clave, que abarca muy diversos ámbitos del conocimiento de las personas, requiere de diversos conocimientos particulares:

- Del lenguaje específico básico: textual, numérico, icónico, visual, gráfico y sonoro, así como sus pautas de decodificación y transferencia.
- Conocimiento del ecosistema de las aplicaciones y manejo de las mismas.
- Acceso a la información y su análisis, de forma segura y privada.
- Desarrollo de la comunicación, creatividad y colaboración.
- Habilidades para la resolución de problemas.

Además de estas premisas básicas el alumno se convierte *de facto* en un seguidor de las nuevas tecnologías que vayan apareciendo, de esta forma no se quedará obsoleto tecnológicamente y podrá decidir qué es lo más apropiado para conseguir sus objetivos específicos. Lo que plantea, sin ninguna duda, esta situación son nuevos desafíos para el alumnado y por consiguiente también para los docentes e instituciones.

Si la situación de los alumnos, que deben ahora afrontar estos retos es compleja, no lo es menos la situación de los docentes, que deben estar capacitados para guiar al alumno a través de estos nuevos contenidos y métodos, siendo imprescindible una adecuada formación inicial y permanente del profesorado en las diferentes dimensiones de las TIC. Es clave la puesta en marcha de un proceso de formación con amplia información sobre aspectos tecnológicos y didácticos, donde se produzcan intercambios de experiencias y de materiales de apoyo, sea posible la creación de redes de apoyo y con contactos directos entre los diferentes sectores participantes (Fernández, 2001).

Los expertos en tecnología se enfrentan a grandes desafíos, nuevas tendencias que hay que asimilar y analizar aparecen, mientras que otras con menos éxito desaparecen, haciéndose necesario la especialización. Cada

vez es más complejo y difícil conocer todos los puntos citados anteriormente. Si esto es así, parece razonable pensar que los maestros no pueden convertirse en expertos en tecnología, válidos para todas las etapas de la educación y aquí, nuevamente, es muy importante destacar la velocidad del cambio de las tecnologías digitales. En este mismo sentido Cáceres, Hinojo y Aznar (2011), indican que los avances tecnológicos se producen cada vez en intervalos más cortos de tiempo, además las TIC están propiciando la aparición de nuevos entornos de enseñanza y aprendizaje, lo que parece confirmar la necesidad de la creación de asesores TIC personalizados o dedicados a las diferentes materias y que mantengan actualizadas las tecnologías a utilizar en las aulas y los contenidos más apropiados.

Según Jiménez Puello (2014) expresa en su tesis doctoral, que los participantes en su investigación sobre competencias TIC consideraron que la formación inicial que habían recibido no les permitió adquirir las competencias TIC suficientes para alcanzar un nivel que se pudiese considerar como adecuado para la docencia, lo que hace necesario recomendar la actualización de los programas con los estándares TIC en educación recomendados. También Fernández (2001), indica de forma taxativa que la formación en TIC debe alcanzar, tanto a alumnos como a los profesores y que, en el caso de los docentes se deben contemplar, tanto sus necesidades de formación inicial como permanente.

2.4 Síntesis del Capítulo

Internet ha cambiado la forma en que muchas personas viven, abriendo nuevos canales de comunicación, facilitando el acceso a la información y a un mundo de servicios, aumentado la productividad, facilitando el aprendizaje e impulsado la innovación y creando la economía de Internet.

Se han revisado en este capítulo ventajas y algunos problemas del uso de las TIC en el mundo actual y como la brecha digital entre los países del mundo desarrollado y los países en vías de desarrollo permanece estable con un ligero aumento. La brecha por género sigue siendo grande sobre todo en países en vías de desarrollo.

Hemos esbozado el uso que actualmente se hace de los dispositivos conectados a Internet, dónde emerge con gran fuerza el teléfono móvil y el uso del ancho de banda móvil; destacando cómo el teléfono móvil se está convirtiendo en una pieza clave para el crecimiento de muchos países en vías de desarrollo. Se ha destacado la importancia de la conexión adicional a Internet en las escuelas, siendo esencial para garantizar que los jóvenes de hoy en día tendrán las habilidades necesarias para un desempeño exitoso en el futuro.

Es importante recalcar la importancia que tiene la revisión necesaria de las figuras docentes y de su papel en lo referente a las TIC, una integración adecuada en las aulas requiere de un apoyo efectivo en esta materia por parte de las instituciones y organismos.

Capítulo 3

Teléfonos inteligentes y educación

El dispositivo móvil es central en la realización de esta investigación, ya que tanto las pruebas realizadas en realidad aumentada, como las realizadas con las gafas de realidad virtual se hicieron mediante la utilización de estos dispositivos. Repasaremos de forma breve las últimas tendencias en este sector y cómo se está utilizando en Educación en diferentes iniciativas. Según Pearce (2011), *“hoy en día el teléfono inteligente se puede describir como el primer portátil ligero que proporciona acceso a un internet enriquecido, en cualquier sitio y en cualquier momento”*.

3.1 El teléfono móvil va a la escuela

En general, los jóvenes, y especialmente los adolescentes, tienden a estar más sensibilizados a las TIC, aprenden más rápidamente y pueden ser puestos en línea más fácilmente que otros grupos de edad, de hecho, la mayoría de los jóvenes ya no se conectan, gracias a sus dispositivos móviles están permanentemente en línea.

El proceso educativo se enfrenta a grandes retos en la preparación de las futuras generaciones para desenvolverse en un mundo cada vez más conectado y globalizado, en el que los cambios se suceden a gran velocidad y en el que la innovación es una de las claves más importantes para el éxito, tanto a nivel profesional como personal. En este contexto, las tecnologías de la información y de la comunicación juegan un papel destacado, convirtiéndose en herramientas necesarias para abordar los desafíos educativos.

Uno de los retos actuales es desarrollar metodologías capaces de conjugar los procesos educativos tradicionales, aún basados en su mayoría en contenidos analógicos con los estudiantes nativos digitales, acostumbrados al acceso a la información y al entretenimiento a través de dispositivos electrónicos. En este sentido, una de las principales tendencias apunta hacia el uso de un dispositivo por alumno, es evidente que contar con ordenadores suficientes para esta tendencia en entornos no universitarios, a día de hoy, es impensable. Los centros educativos están incrementando la disponibilidad de estos dispositivos, aunque la inversión necesaria para lograr que todos los alumnos dispongan de ellos es elevada, teniendo en cuenta el entorno de restricciones presupuestarias públicas en que nos encontramos.

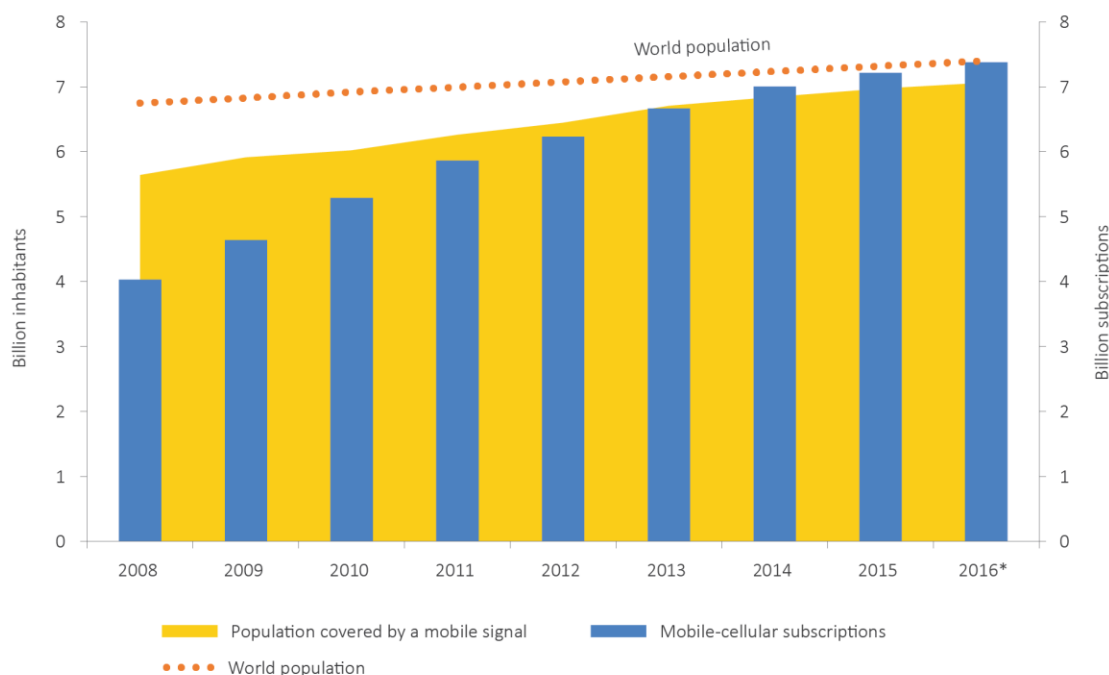


Figura 10: Suscripciones móviles globales y cobertura de la población, 2008-2016. Fuente: ITU

Como forma alternativa se propone trasladar el concepto empresarial BYOD (*Bring Your Own Device*) al educativo, siendo los alumnos quienes llevarían sus dispositivos móviles al aula. La igualdad entre los alumnos - mejor dispositivo en función de la capacidad adquisitiva de las familias-, la compatibilidad de los sistemas operativos con los recursos educativos y el mantenimiento juegan en contra de esta tendencia.

Sobre la tendencia BYOD, que parece tener un carácter de evolución continua, una encuesta citada por el informe *SIE2016 realizada a gestores de universidades y centros de educación secundaria de EE.UU. y Reino Unido (European Schoolnet -2015-, Designing the future classroom. BYOD Bring Your Own Device. A guide for school leaders)* mostraba que el 72% de los centros educativos permitía acceder a los estudiantes a la red de comunicaciones del centro con su propio dispositivo (89% universidades y 44% de centros de educación secundaria). En términos generales, y desde

un punto de vista meramente práctico, no parece razonable que las oportunidades de aprendizaje dependan de los móviles personales del alumnado.

Uno de los factores de éxito de la introducción de los dispositivos en el aula es contar con una conexión inalámbrica que permita el acceso de los dispositivos móviles a la red de todos los alumnos. El número de centros educativos que cuentan con conexión wifi en España creció casi 4 puntos porcentuales en 2015, situándose en el 86.8%. En la educación secundaria, donde comienza a ser más habitual que los alumnos porten sus propios dispositivos, la conectividad wifi está presente en el 89% de los centros.

El mayor problema con el que cuentan los centros educativos en España para hacer frente a la utilización de un dispositivo por alumno es el bajo ancho de banda del que disponen. En el curso 2014-2015, solo el 25.6% de los centros educativos contaba con conexión de más de 20Mb. (Estadística de la Sociedad de la Información y la Comunicación en los Centros Educativos No Universitarios. Curso 2014-2015, Subdirección General de Estadística y Estudios, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte).

3.1.1 Metodología educativa y los teléfonos inteligentes

Los sistemas educativos adaptativos existentes se enfocan en la preparación de entornos educativos para satisfacer las necesidades de estudiantes y docentes. En una aplicación educativa hipermedia, refiriéndonos como tal a la que supera el concepto de multimedia, y que incorpora la interacción humana a través de los espacios virtuales, los problemas importantes que enfrentan los desarrolladores de aplicaciones son crear y actualizar el modelo de dominio con precisión. Un modelo de

referencia y su concepto para la educación, llamado SAHM (Supervised Adaptive Hypermedia Model). *Adaptive hypermedia* (AH) se puede definir como la tecnología que permite personalizar para cada usuario individual de una aplicación hipermedia el contenido y la presentación de la aplicación de acuerdo con las preferencias y características del usuario (Perkowitz & Etzioni, 2000). A diferencia de los medios lineales, donde a todos los usuarios se les ofrece una serie estándar de hipervínculos o contenidos, el hipermedia adaptativo (AH) adapta lo que se ofrece al usuario basándose en un modelo de metas, preferencias y conocimientos del usuario, proporcionando así enlaces o contenidos más apropiados para el usuario. La estructura conceptual de los sistemas adaptativos generalmente consiste en componentes interdependientes: un modelo de usuario, un modelo de dominio y un modelo de interacción.

- *El modelo de usuario* es una representación de los conocimientos y preferencias que el sistema cree que un usuario (que puede ser un individuo, un grupo de personas o una institución) posee.
- *El modelo de dominio* define los aspectos de la aplicación que pueden ser adaptados o que de otro modo se requieren para el funcionamiento del sistema adaptativo.
- *El modelo de interacción* o adaptación contiene todo lo que se refiere a las relaciones que existen entre la representación de los usuarios (el modelo de usuario) y la representación de la aplicación (el modelo de dominio).

El dispositivo móvil, al ser usado para diferentes tareas, no sólo tiene el papel de medio de comunicación; también tiene la función de gestión de tareas personales y de entretenimiento, generando importantes desafíos al diseñador de aplicaciones móviles para poder cubrir un abanico de posibilidades tan extenso.

Formalmente, la definición más utilizada de usabilidad es la que se expone en la norma *ISO 9241-113*, en la cual *usabilidad* se describe como el grado con el que un producto puede ser usado por usuarios específicos para alcanzar objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción, en un contexto de uso específico.

La norma define como especificar y medir la usabilidad de productos y aquellos factores que tienen un efecto en la misma; también destaca que la usabilidad en terminales con pantalla de visualización es dependiente del contexto de uso y que el nivel de usabilidad alcanzado dependerá de las circunstancias específicas en las que se utiliza el producto. El contexto de uso lo forman los usuarios, las tareas a realizar, el equipamiento (hardware, software y materiales), así como también los entornos físicos y sociales que pueden influir en la facilidad de uso de un producto. De la definición anterior se puede observar que la usabilidad está relacionada con los atributos de una aplicación o sistema, así como también de su contexto. En la norma mencionada anteriormente los atributos considerados son los siguientes:

- Efectividad: Está relacionada con la precisión y completitud con la que los usuarios utilizan la aplicación para alcanzar objetivos específicos. La calidad de la solución y la tasa de errores son indicadores de efectividad.
- Eficiencia: Es la relación entre efectividad y el esfuerzo o los recursos empleados para lograr ésta. Indicadores de eficiencia incluyen el tiempo de finalización de tareas y tiempo de aprendizaje. A menor cantidad de esfuerzo o recursos, mayor eficiencia.
- Satisfacción: Es el grado con que el usuario se siente satisfecho, con actitudes positivas, al utilizar la aplicación para alcanzar objetivos

específicos. La satisfacción es un atributo subjetivo, puede ser medido utilizando escalas de calificación de actitud.

- Facilidad de aprendizaje: Facilidad con la que nuevos usuarios desarrollan una interacción efectiva con el sistema o producto. Está relacionada con la predictibilidad, familiaridad, la generalización de los conocimientos previos y la consistencia.
- Facilidad de uso: Facilidad con la que el usuario hace uso de la herramienta, con menos pasos o más naturales a su formación específica. Tiene que ver con la eficacia y eficiencia de la herramienta.
- Flexibilidad: Relativa a la variedad de posibilidades con las que el usuario y el sistema pueden intercambiar información. También abarca la posibilidad de diálogo, la multiplicidad de vías para realizar la tarea, similitud con tareas anteriores y la optimización entre el usuario y el sistema.
- Robustez: Es el nivel de apoyo al usuario que facilita el cumplimiento de sus objetivos. Está relacionada con la capacidad de observación del usuario, de recuperación de información y de ajuste de la tarea al usuario.

Los siguientes son algunos de los atributos utilizados para medir el grado de usabilidad de una aplicación (software):

- Facilidad de aprendizaje: La facilidad con la que los usuarios alcanzan objetivos específicos la primera vez que utilizan la aplicación. No hay que olvidar que la primera experiencia que tienen los usuarios con un nuevo sistema es la de aprender cómo se usa.
- Memorabilidad: La facilidad para memorizar la forma de utilizar la aplicación y alcanzar objetivos específicos, y la facilidad con que vuelven a utilizar la aplicación después de un tiempo. La curva de

aprendizaje teóricamente es significativamente menor para un usuario que ya utilizó el sistema, que para uno que es la primera vez que lo va a utilizar.

- Gestión de errores: Los errores que comete el usuario al utilizar la aplicación y la gravedad de los mismos. La aplicación debe generar la menor cantidad de errores posibles. Si se producen, es importante que se den a conocer al usuario de forma rápida y clara, además de ofrecer mecanismos adecuados para recuperarse de ese error.
- Contenido: Aspectos relacionados con la distribución del contenido y de los formatos utilizados para mostrar información al usuario.
- Accesibilidad: Consideraciones tenidas en cuenta por posibles limitaciones físicas, visuales, auditivas o de otra índole de los usuarios.
- Seguridad: Capacidad para alcanzar niveles aceptables de riesgo frente a terceros o accidentes imprevisibles. Disponibilidad de mecanismos que controlan y protegen la aplicación y los datos almacenados.
- Portabilidad: Capacidad de la aplicación de ser transferida de un entorno a otro (diferentes plataformas).
- Contexto: Relacionado a los factores o variables del entorno de uso de la aplicación.

3.1.2 Aprendizaje móvil

El aprendizaje móvil se refiere a las ventajas ofrecidas por las tecnologías móviles, potenciadas por la última generación de teléfonos móviles y de tabletas. Estas tecnologías tienen el potencial de cambiar radicalmente la manera en que el aprendizaje y la enseñanza se llevan a

cabo, lo que favorece en gran medida los enfoques constructivistas y de colaboración para el aprendizaje, al mismo tiempo proporciona entornos flexibles y adaptables a la enseñanza.

Hace más de una década, Prensky (2001) señaló que los estudiantes de la época no eran aquellos para los que el sistema educativo fue diseñado. Con el aumento del ritmo de desarrollo tecnológico, esa afirmación es hoy más acertada que nunca. En 2012, Kinash, Brand y Mathew, describieron en una investigación usando tabletas *iPad*, que la actitud de los estudiantes mediante el uso de estos dispositivos fue positiva y optimista, a pesar de que la mayoría de los estudiantes no creyeron que su aprendizaje hubiese mejorado.

La concepción social del aprendizaje, donde el conocimiento está construido y compartido como parte de un proceso cultural y tecnológico (Johnson, Johnson & Smith, 1991), relacionado con su entorno y donde el alumno reflexiona sobre él (Sharples, 2000) nos muestra una perspectiva diferente en contraposición a la formación del profesorado, que se orienta hacia el conocimiento de las personas, los grupos de aprendizaje y hacia el conocimiento de cada materia desde un enfoque interdisciplinar, dejando en segundo término el aprendizaje de las diferentes tecnologías. Una visión constructivista social del aprendizaje considera que los estudiantes aprenden mejor cuando se les da la oportunidad de aprender habilidades y teorías en el contexto en el que se utilizan (Brown, Collins & Duguid, 1989). De esta forma los estudiantes construyen sus interpretaciones de un tema y comparten los resultados con los demás (Gay, Stefanone, Grace Martin & Hembrooke, 2001). Cada estudiante construye un significado diferente, el proceso de formación de los significados no sólo depende de los docentes, sino también de todas las personas y contextos relacionados con todos los procesos de aprendizaje de los estudiantes. Las tecnologías móviles, si se utilizan con eficacia, pueden apoyar de forma eficaz enfoques sociales

constructivistas para el aprendizaje. Bryant (2006) considera estas tecnologías como herramientas para ampliar la discusión más allá del aula y proporcionar nuevas formas para que los estudiantes colaboren y se comuniquen dentro de su clase o fuera de ella.

Los profesionales de la educación tendrán que establecer los contextos en los que el uso de las tecnologías móviles sean relevantes. Así, diversos factores: sociales, económicos, éticos y educativos influirán en la utilización efectiva y eficiente de estas tecnologías. La mayoría de herramientas innovadoras deberán ser interpretadas y evaluadas, para ser utilizadas de acuerdo con el entorno en el que van a operar, deben ser adaptadas, con la concesión de que puedan tener un impacto importante en la transformación de las culturas y las prácticas educativas actuales.

Varios autores destacan las oportunidades inherentes al aprendizaje móvil, tanto para los alumnos en centros ordinarios como para ser utilizado por otros colectivos como la educación de adultos, educación a distancia, o para los que presentan deficiencias cognitivas, de comportamiento o problemas sociales o con dificultades físicas o mentales (Savill, Smith & Kent, 2003; Rodríguez, Nussbaum, Zurita, Rosas & Lagos, 2001).

No sólo con disponer de una amplia gama de dispositivos, de bajo costo cada vez más potentes y versátiles, es suficiente para su uso en educación, así, es necesario identificar los principios generales de uso y establecer una visión realista del aprendizaje móvil, lo que incluye un exhaustivo análisis que va más allá de las tecnologías y dispositivos empleados para examinar a fondo las tendencias globales. La no existencia de jerarquías en el mundo de las aplicaciones y las preferencias personales de los docentes, puede parecer a cada docente que está utilizando el mejor recurso disponible, cuando en realidad puede estar utilizando uno no tan bueno, existir otros mejores o pueden dejar de tener continuidad, o pueden

aparecer rápidamente nuevos medios diferentes en concepción que proporcionen mejores resultados para una tarea específica.

Así, se requiere de las instituciones una reevaluación continua de sus enfoques pedagógicos, tanto en las clases físicas como virtuales para poder adaptarse a la rápida evolución de las tecnologías de la información y de la comunicación. Hay que comprender los cambios producidos en los estudiantes, profesores e instituciones para valorar los avances, ventajas y riesgos del uso del aprendizaje móvil. Los profesores de enseñanza superior necesitan nuevas estrategias para comunicarse con los estudiantes de la generación de la red y dar forma a las experiencias educativas de tal forma que sean atractivas. Hasta no hace mucho el uso de nuevos enfoques, tales como conferencias grabadas en vídeo eran considerados innovadores, sin embargo, los recientes avances tecnológicos, como las tabletas y *phablets*, tienen el potencial de cambiar esta situación, y ofrecer acceso a una educación eficaz y eficiente de una manera fácil e intuitiva, donde los centros educativos tienen dificultades en ponerse al día con el mundo y la cultura en que viven los estudiantes. Los centros tienen que hacer frente a la nueva generación de estudiantes y sus nuevas habilidades para el aprendizaje, que ofrece el mismo contenido en los nuevos formatos o adaptados, no siempre con la adecuación óptima para la plataforma en la que va a ser utilizado. Es necesario un cambio cultural de los docentes y de las instituciones, y esto es difícil cuando el nivel de la tecnología necesaria para evolucionar es demasiado alto y rápidamente cambiante. Para facilitar tal cambio, los profesores necesitan una nueva generación de dispositivos y software, de contenidos adecuadamente adaptados, fáciles de usar y sin una curva de aprendizaje muy pronunciada

La constante exposición a las tecnologías digitales ha hecho nacer un nuevo tipo de estudiante, los "nativos": los estudiantes que piensan y procesan la información fundamentalmente diferente a sus predecesores. Por

otro lado, tenemos los inmigrantes digitales, cuya interacción con estas herramientas no es innata. Prensky (2001) y otros autores han tratado de describir los cambios en los estudiantes en cuanto a las diferencias generacionales, la medición de estas diferencias por la facilidad con la que se adoptan y se adaptan a las nuevas tecnologías. Oblinger (2003, 2004) considera que los rasgos fundamentales de los estudiantes de hoy están caracterizados como una cultura digital, siempre conectados, de carácter móvil, experimentales y orientados hacia la comunidad. Aunque existen discrepancias según las diferentes fuentes, de forma general los estudiantes nacidos a partir de 1982 son los considerados nativos digitales (Oblinger, 2003; Oblinger & Oblinger, 2005; Jonas-Dwyer & Pospisil, 2004), se describen como centrados en la conectividad y en la interacción social, y que tienen preferencia por actividades basadas en grupos de estudio y eventos sociales. En su deseo de ser creativos y a colaborar se está dirigiendo hacia nuevas tendencias basadas en el concepto del bricolaje educativo *“hágalo usted mismo”*.

Así, las tecnologías móviles e inalámbricas simpatizan con la construcción y el apoyo a las capacidades creativas y de colaboración. Varios autores se refieren a la capacidad de aprendizaje con dispositivos móviles para mejorar las interacciones de colaboración y comunidades de práctica (Colley & Stead, 2004; Stead, 2005). Las tecnologías móviles omiten las debilidades de la coordinación, la comunicación, la organización, la negociación, la interactividad y la movilidad encontrado en el aprendizaje colaborativo llevado a cabo sin la tecnología, como lo demuestran Zurita y Nussbaum (2004). Naismith, Lonsdale, Vavoula y Sharples (2004) en este mismo sentido sugieren que el aprendizaje efectivo ocurre cuando las personas pueden comunicarse con los demás, intercambiando sus descripciones del mundo.

La facilitación de la mejora de la comunicación y la interacción entre el personal docente y los estudiantes en el ámbito universitario a través de las tecnologías móviles también ha sido considerada por McGovern y Gray (2005) en el entorno de aprendizaje mixto. El adherirse a principios de igualdad, el acceso equitativo y de calidad a las diferentes herramientas y medios de los cursos es fundamental. Una vez más se requiere la prestación de algún tipo de dispositivo móvil inalámbrico adecuado para todos los estudiantes y personal docente, que pueda tomar diferentes formas: ordenador portátil, teléfono inteligente o tableta, en función de lo que sea apropiado según la característica de cada curso.

Existen cientos de miles de archivos multimedia relacionados con la educación, y cientos de *MOOCs* de prestigiosas universidades, la mayoría de estos contenidos están adaptados para el aprendizaje móvil. Hoy en día, el uso de teléfonos móviles con fines educativos en Internet se ha convertido en un hábito de la mayoría de los estudiantes.

3.2 Los teléfonos móviles en la actualidad

3.2.1 Sistemas Operativos

Los dispositivos móviles funcionan bajo diferentes sistemas operativos. Un sistema operativo, descrito en términos sencillos, es un programa que se encarga de gestionar los recursos del sistema, tanto del hardware (recursos de almacenamiento, de memoria, dispositivos de entrada/salida -pantalla, teclado, cámara...-) como del software (programas e instrucciones) para permitir la comunicación entre usuario y dispositivo. El disponer de un sistema operativo en particular, hoy en día, va a caracterizar el acceso a diferentes repositorios de aplicaciones.

Existe en la actualidad, en la práctica, un duopolio en lo que a sistemas operativos móviles se refiere: *Android*, desarrollado por *Google* e *iOS*, desarrollado por *Apple*. Lo que caracteriza a *iOS* frente a *Android* es que es un sistema operativo cerrado, no está licenciado a terceros -sólo *Apple* lo utiliza- no permite que se modifiquen características internas del sistema más allá de las limitadas opciones que da en los ajustes. Este carácter de cerrado añade, sin embargo, una capa de seguridad y estabilidad al sistema a costa de evitar la personalización.

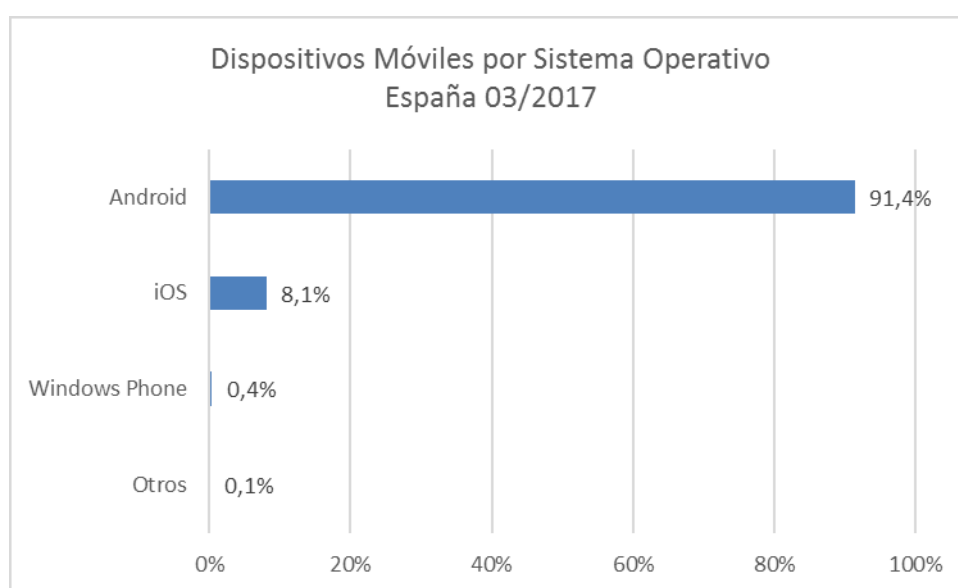


Figura 11: Cuota por Sistema Operativo 2017.

Elaboración propia

Android es el sistema operativo más extendido, con una cuota de mercado cercana al 90%. Es de carácter abierto y está disponible para cualquier fabricante interesando en utilizarlo para sus dispositivos móviles o *wearables*. Esta disponibilidad ha creado una gran fragmentación, y la coexistencia de múltiples versiones de *Android* existentes, adicionalmente cada fabricante y cada operador de comunicaciones puede incluir una capa de personalización.

3.2.2 Fragmentación de los dispositivos móviles

Para comprender esta fragmentación indicada en el punto anterior, vemos como la cuota mayor de mercado de los dispositivos más populares en España está encabezada por el *Huawei Mate 8 Lite* (3.3%). Según la consultora *OpenSignal* coexisten al menos en el mercado global, a fecha del informe -agosto 2015- más de 24 000 modelos diferentes de dispositivos que funcionan con sistema operativo *Android*, con más de una cincuentena de formatos de pantallas diferentes, lo que nos da una idea de la complejidad y diversificación existente. Esta diversificación y complejidad complica la estandarización de las aplicaciones en cualquier entorno, el ámbito educativo tampoco es ajeno a esta problemática.

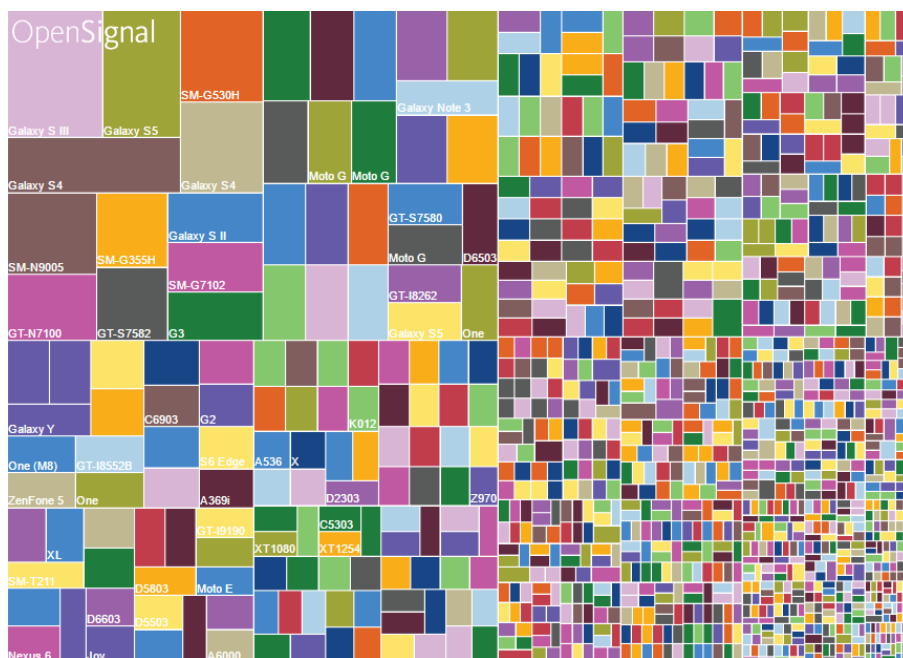


Figura 12: Fragmentación de dispositivos Android (08/2015)

Fuente: <https://opensignal.com/reports/2015/08/android-fragmentation/>

Además de los diferentes tamaños de pantallas y de versiones de sistemas operativos, existen también grandes diferencias en cuanto a los sensores disponibles, métodos de conectividad, resoluciones gráficas, capacidad de proceso, memoria, etc... Lo que hace que tendencias como el uso del dispositivo móvil en las aulas, cuando debe ser llevado por el alumno sean difícilmente viables.

A continuación, se muestra en la *Tabla 1*, los doce dispositivos que han obtenido la mejor puntuación, en una mezcla de pruebas de rendimiento, (velocidad de proceso, calidad gráfica) publicado por *FutureMark*, una subsidiaria de UL (Underwaters Laboratory).

	Modelo	Puntuación	Tamaño pantalla	Chipset/CPU/GPU
	Samsung Galaxy S8 (MSM8998)	4503	5.8 "	Snapdragon 835 (MSM8998) Up to 2.35 GHz quad-core Kyro & 1.9 GHz quad-core Kyro Adreno 540
	Apple iPad Pro	4064	12.9 "	Apple A9X Up to 2.26 GHz dual-core "Twister" Apple A9X GPU
	Samsung Galaxy S8 (Exynos 9 Octa)	4029	5.8 "	Exynos 9 Octa (8895) Up to 2.3 GHz quad-core Exynos M2 Mongoose & 1.7 GHz quad-core ARM Cortex-A53 Mali-G71 MP20
	Samsung Galaxy S8+ (Exynos 9)	3976	6.2 "	Exynos 9 Octa (8895) Up to 2.3 GHz quad-core Exynos M2 Mongoose & 1.7 GHz quad-core ARM Cortex-A53 Mali-G71 MP20
	Google Pixel C	3481	10.2 "	Tegra X1 Up to 2.0 GHz quad-core ARM Cortex-A57 and an unspecified quad-core ARM Cortex-A53 Maxwell
	LeTV Le Max Pro	3472	6.33 "	Snapdragon 820 (MSM8996) Up to 2.15 GHz dual-core Kyro and 1.6 GHz dual-core Kyro Adreno 530
	Asus ZenFone 3 Deluxe ZS570KL (MSM8996)	3397	5.7 "	Snapdragon 820 (MSM8996) Up to 2.15 GHz dual-core Kyro and 1.6 GHz dual-core Kyro Adreno 530
	Samsung Galaxy S7 (MSM8996)	3362	5.1 "	Snapdragon 820 (MSM8996) Up to 2.15 GHz dual-core Kyro and 1.6 GHz dual-core Kyro Adreno 530
	Zuk Edge	3353	5.5 "	Snapdragon 821 (MSM8996 Pro) Up to 2.35 GHz dual-core Kyro and 2.19 GHz dual-core Kyro Adreno 530
	Smartisan M1L	3337	5.7 "	Snapdragon 821 (MSM8996 Pro) Up to 2.35 GHz dual-core Kyro and 2.19 GHz dual-core Kyro Adreno 530
	Google Pixel XL	3315	5.5 "	Snapdragon 821 (MSM8996 Pro) Up to 2.15 GHz dual-core Kyro and 1.6 GHz dual-core Kyro Adreno 530
	Samsung Galaxy Note 7 (MSM8996)	3292	5.7 "	Snapdragon 820 (MSM8996) Up to 2.15 GHz dual-core Kyro and 1.6 GHz dual-core Kyro Adreno 530

Figura 13: Los doce dispositivos con mejor rendimiento
Adaptado de 200 Best Smartphones and Tablets Junio – 2017 FutureMark.

3.3 Ecosistema de aplicaciones.

A partir de la popularidad que alcanzaron los dispositivos móviles se hizo necesario crear lugares específicos de almacenamiento seguro para la multitud de aplicaciones que estaban naciendo día a día. La primera compañía que inauguró una tienda de aplicaciones fue *Apple* (2008), unos meses más tarde *Google* inauguró su propia tienda de aplicaciones, *Android Market*. Le siguieron el fabricante de terminales para uso empresarial *Research In Motion* (Blackberry) con *App World*, y posteriormente el líder mundial en ventas de teléfonos móviles, *Nokia*, abrió *Ovi Store* en el segundo trimestre de 2009. También en este año (2009) HP heredó el *App Catalog* de *Palm* y en 2010 nació el *Windows Phone Marketplace*.

Aparte de las tiendas de aplicaciones propias de los promotores de los sistemas operativos, existen otras opciones de terceras empresas, así para el sistema operativo *Android* destacan *AndroidPit*, *Aptoide* (2011) -una propuesta de origen portugués que nació con el objetivo de reinventar la distribución de aplicaciones móviles a través de una plataforma social y colaborativa-, *SlideMe* -con unas 26 000 aplicaciones-, *APKMirror*, *Archos AppsLib*, *F-Droid* (con unas 2200 aplicaciones) o la española *Uptodown* (2002) que actualmente cuenta con más de 30 000 aplicaciones.

Existen tiendas de aplicaciones multiplataforma, *Dell Mobile Application Store* - Android, BlackBerry- y *Opera Mobile Store* (Android, iOS, Java, Symbian) *GetJar*, sólo aplicaciones gratuitas (Android, iOS, Windows Mobile, Blackberry), *Mobango* y *PocketGear*, *Amazon AppStore* -Android- Blackberry y sus tabletas *Fire*. Tiendas de aplicaciones de fabricantes -por ejemplo, *Samsung* con su *Galaxy Apps* (para Galaxy y Gear), específicas para algún sistema operativo como el caso de *TizenStore* para dispositivos con sistema operativo *Tizen*, o dirigidas a mercados concretos como la *Huawei apps Store* -para el mercado chino principalmente-.

Entre las principales razones por las que los usuarios acuden a estas alternativas se encuentra la posibilidad de encontrar promociones especiales en las *apps* de pago o bien localizar aplicaciones que no se ofrecen en su país por limitaciones geográficas o que han desaparecido de las tiendas oficiales por obsolescencia. En los próximos cinco años el número de descargas de aplicaciones superará los 352 000 millones, frente a los 197 000 millones estimados para este año 2017.

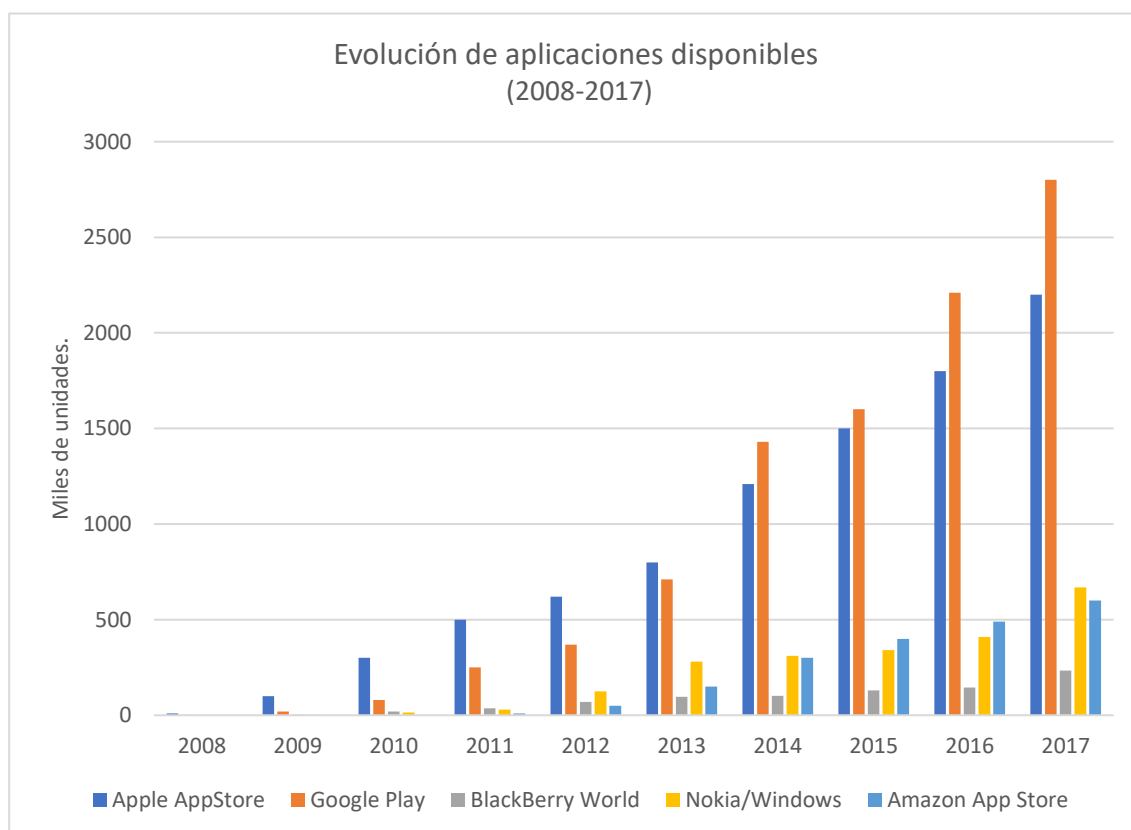


Figura 14: Evolución de aplicaciones disponibles en las diferentes tiendas de aplicaciones. Adaptado de *200 Best Smartphones and Tablets*. Elaboración propia.

Opera Mobile Store heredó las aplicaciones del extinguido *OVI* de *Nokia* y de otros dispositivos, manteniendo así vivos ecosistemas obsoletos, esto es debido a que muchos teléfonos móviles que no son útiles en países

desarrollados son recuperados y acondicionados para su venta en países en vías de desarrollo.

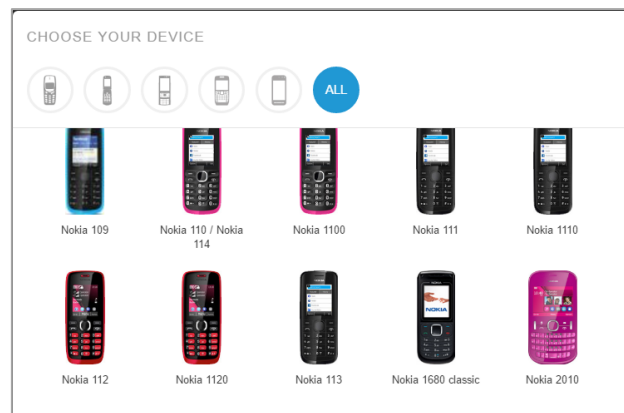


Figura 15: Vista del sitio web de Opera, donde se pueden seleccionar dispositivos obsoletos para buscar aplicaciones disponibles. Fuente: <http://windows-mobile.oms.apps.opera.com>.

3.3.1 Categorías de aplicaciones

Hay formas diferentes de clasificar y agrupar las aplicaciones de acuerdo con el tipo del contenido que se ofrece a los usuarios. Aunque no se agrupan exactamente igual en todas las tiendas de aplicaciones, de forma general podemos hacer varios grupos.

Aplicaciones de entretenimiento. En esta categoría, encontramos básicamente juegos. Son aquellas que brindan diversión al usuario. Una de las características principales son sus gráficos, animaciones y efectos de sonido, lo cual induce a las personas a prestar mayor atención durante el desarrollo del juego.

Aplicaciones sociales. Dirigidas a la interrelación personal y construcción de redes sociales, incrementando la comunicación de usuarios de diferente tipo, conexión mediante el análisis de preferencias, no importa la

distancia física ni la sincronía para establecer la comunicación. Un caso de éxito en esta categoría es Facebook, con casi mil millones de usuarios se ha convertido en una aplicación social que sirve de enlace entre muchas personas en el planeta.

Aplicaciones de productividad. Proporcionan herramientas para solucionar problemas o simplificar actividades, están centradas en la ejecución de tareas. Dentro de las aplicaciones destacadas que podemos nombrar en esta categoría encontramos *OneNote* de Microsoft o la clásica *EverNote*.

Aplicaciones educativas e informativas. La variedad del uso de las aplicaciones móviles también abarca la categoría de la educación. En esta categoría suelen destacar las de aprendizaje de idiomas, pero hay aplicaciones para casi todo. *Anatomy 4D* es un buen ejemplo del uso de la realidad aumentada en esta categoría.

Aplicaciones creativas. Las aplicaciones de creación están basadas en la creatividad del usuario y en ofrecerle herramientas para potenciarla mediante su uso. Las más populares se refieren a aquellas que permiten editar vídeos, retocar fotografías (los filtros son muy usados en la actualidad), realización de álbumes de recortes (*scrapbooks*), etc.

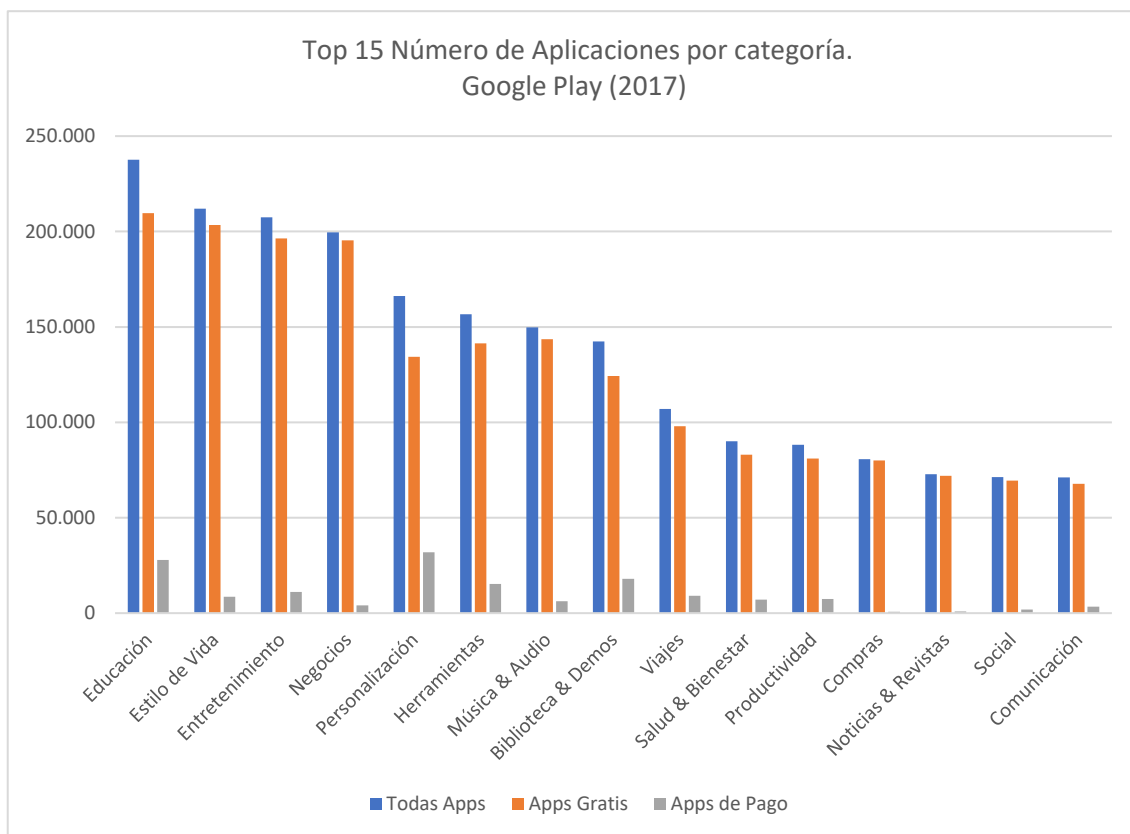


Figura 16: Top 15 Número de Aplicaciones por categoría. Google Play (2017). Fuente: <https://www.appbrain.com> datos. Elaboración propia.

Dentro de estas categorías existen diferentes segmentaciones, en la Figura 15, “Top 15 Número de Aplicaciones por categoría. Google Play (2017)”, vemos como en Google Play destaca el número de aplicaciones con carácter educativo disponibles, con cerca de 240 000 disponibles. A esta categoría le siguen *Estilo de Vida* (211 897), *Entretenimiento* (207 419) y *Negocios* (199 419). Predominando las aplicaciones gratuitas sobre las de pago.

Cada mes se incorporan en promedio a *Google Play* unas 50 000 nuevas aplicaciones. La elección de una aplicación u otra se basa normalmente en preferencias personales, tendencias y recomendaciones, tanto de la valoración de las aplicaciones realizadas por los usuarios como

las generadas automáticamente en base a las preferencias históricas de la cuenta de usuario y las aplicaciones instaladas en los dispositivos.

3.3.2 Uso de las aplicaciones

Ante este complejo panorama de las aplicaciones móviles y, especialmente su adaptación para ser usadas en educación, parece razonable trabajar en la clasificación, o en alguna forma de jerarquización estandarizada (etapa educativa, contenidos, recursos para profesores, etc....) que facilite la selección de las aplicaciones idóneas para cada uso y etapa académica diferente.

El número promedio de aplicaciones instaladas por los usuarios en sus dispositivos (además de las preinstaladas de fábrica) está entre 1-10 aplicaciones en el 53.5% de los usuarios, entre 11-20 en el 27.5% de los usuarios, un 8.25% de los usuarios tienen instaladas entre 21-30 aplicaciones y más de 30 aplicaciones un 10.75%. La cantidad de aplicaciones instaladas muchas veces depende de la gama del móvil, un dispositivo más avanzado soporta mejor un número elevado de aplicaciones.

Según el informe *Ditrendia (2017)*, el uso por género de las aplicaciones difiere poco del que hacen los hombres. El 51% de los usuarios de tiendas de aplicaciones son hombres frente al 49% que son mujeres. El 35% de los usuarios se sitúan en la franja de edad 25-34 años, el 23% entre 35-44 años, el 16% entre 45-54 años, el 14% entre 12-24 años y por último el segmento de mayores de 55 años que hace un porcentaje del 12%.

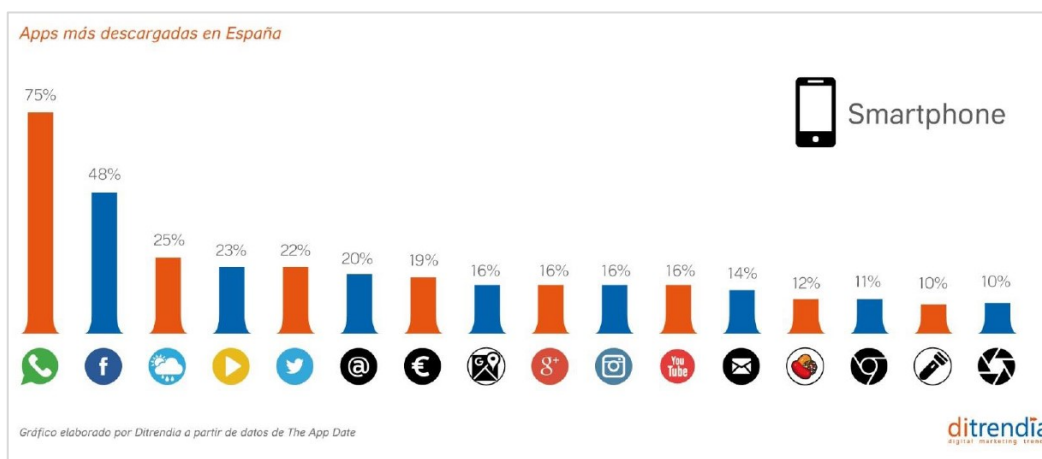


Figura 17: Aplicaciones más descargadas en España mediante dispositivo móvil.

Fuente: Informe Ditrencia.

3.4 Síntesis del Capítulo

Se ha visto en este capítulo que parece necesario un avance de la formación del profesorado en la misma dirección en la que lo hacen las tecnologías. Esto es, tener dominio de las tecnologías, no como un experto para enseñarlas, sino como un usuario avanzado, para poder hacer la función de guía y orientador en el uso y consumo de las tecnologías de la información y comunicación.

Se ha revisado como a través de la aplicación de las tecnologías móviles en el diseño del aprendizaje, los estudiantes pueden tener la facultad adicional para llevar a cabo -de forma parcial- la educación por sí mismos, crear su propio contenido y colaborar con los compañeros y las comunidades dentro y fuera del aula y contribuir con esto a los procesos de mejora educativa. El aprendizaje generalizado facilitado por las tecnologías móviles ofrece flexibilidad para los estudiantes en términos de comunidad, autonomía y localización.

Capítulo 4

Mundos Reales y Virtuales: el continuo Realidad-Virtualidad

4.1 Mundos físicos y sintéticos

La realidad virtual y física se han considerado tradicionalmente como dos entidades situadas en extremos opuestos. Sin embargo, los avances tecnológicos en computación gráfica y medios de visualización, hace que, junto al uso de la tecnología en diferentes ámbitos esta línea divisoria entre ellas se esté difuminando.

Milgram y Kishino (1994), propusieron un espectro continuo para representar los diferentes grados existentes entre la virtualidad y la realidad (*Figura 18*), definiendo el espacio comprendido entre los extremos como Realidad Mixta (RM). La realidad mixta, por tanto, es el espectro que conecta los entornos físicos con los virtuales, permitiendo la coexistencia de elementos físicos y sintéticos, generados por ordenador, en tiempo real.

Una de las cualidades que presenta este continuo es que mediante el uso de diferentes tecnologías permite hacer visibles cosas que de otra forma serían invisibles (Pastoor & Conomis, 2005), debido a su naturaleza sintética, es posible modificar las leyes físicas que dirigen la realidad para implementar diversas metáforas -visuales, auditivas y hápticas- no existentes en el mundo físico (Ellis, 1994), de esta forma podemos realzar, combinar, aumentar, o complementar la realidad.

Dentro del espectro de carácter continuo Realidad-Virtualidad, la Realidad Mixta (RM) estaría formada por la Virtualidad Aumentada (VA) y la Realidad Aumentada (RA). Para cerrar esta brecha entre el mundo real y virtual, ambos mundos tienen que ser combinados. Cuando combinamos estos dos mundos, hablamos de la Realidad Mixta (RM).

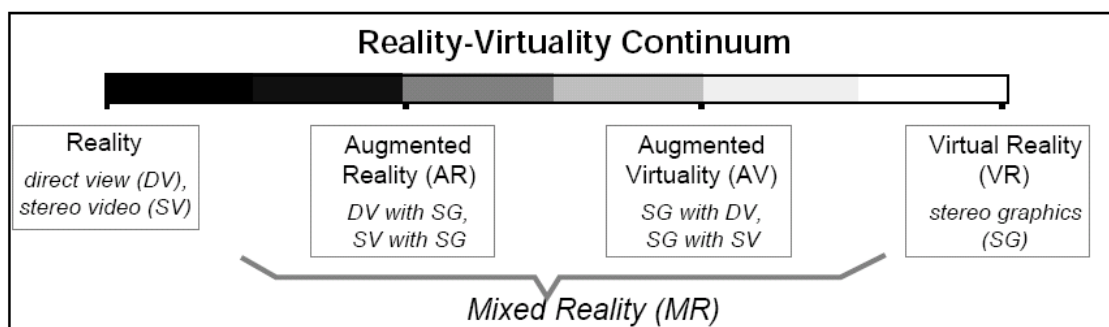


Figura 18: Representación simplificada del Continuo Realidad-Virtualidad, imagen procedente de "Perceptual Issues in Augmented Reality", de David Drascic y Paul Milgram (1996).

La Realidad Mixta (también denominada *Híbrida* en algunos textos) proporciona numerosas maneras de mezclar proporciones variables de mundos reales y virtuales. Con las tecnologías actuales el contexto continuo de Milgram y Kishino sigue siendo una referencia útil, especialmente si consideramos la forma en que se pueden mezclar la realidad y la virtualidad en los modernos visores actuales, aunque existen diferentes matices. Tamura, Yamamoto y Katayama (2001) indican que la Realidad Mixta (RM)

abarca un *continuum* entre los gráficos mejorados por video y el video mejorado por gráficos. La Realidad Mixta (RM) se esfuerza por combinar lo mejor de la Realidad Aumentada y de los objetos virtuales. Colocar objetos virtuales en el espacio real les permite ser considerados como *reales* al menos desde la perspectiva de la persona involucrada en la experiencia de la realidad mixta.

Existen diferentes categorías de información visual que no encajan en todas las situaciones posibles del continuo (Mann, 1994). Por lo tanto, parece ser necesario un concepto más general que el de la realidad mixta representado en el continuo de Milgram y Kishino. Este concepto es el de la Realidad Mediada (RMd). Debido a la existencia de una amplia gama de dispositivos que modifican la percepción humana, la Realidad Mediada (RMd) se ha propuesto como un marco más general que incluye el *continuum* de Realidad Virtual (RV), mezclando en diferentes proporciones aspectos de la Realidad-Virtualidad (Mann, 1994; Mann, 2001).

La Realidad Mediada (RMd) se refiere a un marco general para la modificación artificial de la percepción humana a través de dispositivos aumentativos (gafas o cascos de realidad virtual, gafas de realidad aumentada, dispositivos móviles para RA, consolas de videojuegos) **disminuyendo** de forma intencionada la entrada sensorial.

Esto da lugar al continuo *Realidad-Virtualidad-Medialidad* representado en la *figura 19*:

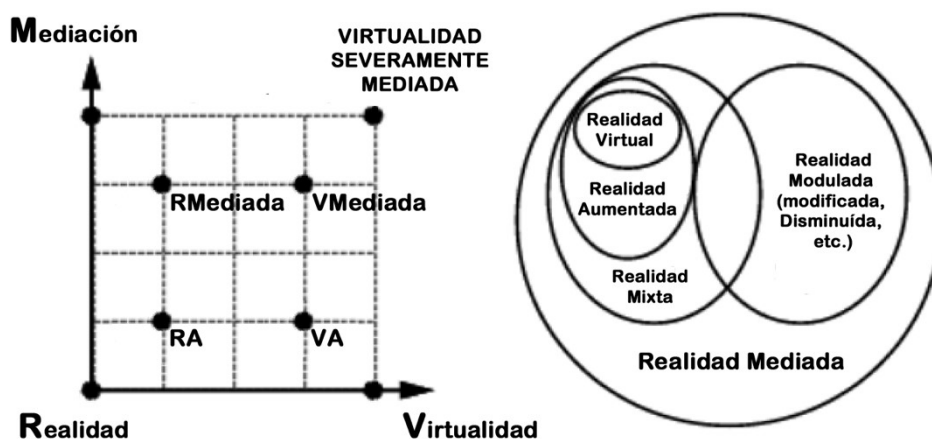


Figura 19: Adaptación de la Taxonomía del continuum Realidad-Virtual-Medialidad de Mann (1994).

La explicación que Mann proporciona para esta taxonomía es que el origen **R** representa la realidad sin modificar. El continuo a través del eje **V** (Virtualidad) incluye la realidad mejorada con gráficos (Realidad Aumentada), así como los gráficos aumentados por la realidad (Virtualidad Aumentada). Sin embargo, la taxonomía también incluye la modificación de la realidad o la virtualidad o cualquier combinación de éstas, que es la gran diferencia con el *continuum* de Milgram y Kishino. La modificación se manifiesta en eje vertical de la Mediación. Así, podemos encontrar la Realidad Mediada, la Virtualidad Mediada, o cualquier combinación de ambas. En el extremo diametralmente opuesto a la realidad tenemos la *Virtualidad severamente Mediada*, lo que responde a una versión *severamente* modificada de la Realidad.

En la misma figura, en el gráfico de la derecha, la Realidad Mediada (RMd) generaliza los conceptos de Realidad Mixta (RM), mucho más cerca de la concepción teórica de este trabajo de investigación y que es la que utilizaremos cuando nos refiramos a Realidad Mixta. Incluye el *continuum* de Realidad Mixta, con la inclusión de Realidad Aumentada y Realidad Virtual. Además de efectos aditivos, también incluye efectos multiplicativos (modulación) de la Realidad a veces deliberadamente disminuida (DIM). Así, en términos generales la Realidad puede modificarse de diversas maneras, este marco de la Realidad Mediada (RMd) sirve además de una forma

conveniente para describir la interacción con los dispositivos que modifican la realidad de una forma deliberada, así como con los dispositivos que la modifican accidentalmente.

Estos conceptos, referidos como una forma artificial de modificar la realidad mediante diferentes dispositivos no es nuevo, hace más de 120 años los trabajos de Stratton (1896), basados en la utilización de un dispositivo para disminuir la percepción visual presentó dos ideas importantes, la idea de construir gafas especiales para modificar cómo se veía el mundo y la idea de sacar los experimentos del laboratorio, llevando a cabo sus experimentos en el ámbito de su vida cotidiana. Estos conceptos, que parecen muy actuales inspiraron a autores posteriores para el diseño de dispositivos para aumentar o disminuir la percepción de la realidad.

Según avanza la comprensión del entorno Real-Virtual, y las diferentes formas en que pueden ser vistos y representados, aparecen nuevas formas de interacción entre ellos, creando diferentes teorías en la forma de entenderlos más allá de los clásicos puntos de vista de Milgran-Kishino y de Mann. Así, aparecen otras variantes para explicar o complementar este fenómeno, como la de Realidad Combinada (Blended Reality), el de Realidad Dual o el de xReality (Cross Reality o Cruce de Realidades).

En la Realidad Combinada (RC) los entornos físicos y digitales, los medios de comunicación y las interacciones se entrelazan en nuestra vida cotidiana, no muy lejos de la concepción teórica del mundo vista por Stratton. En este mundo, lo virtual y lo físico están perfectamente integrados. La Realidad Combinada se ha definido como un entorno interactivo de Realidad Mixta donde lo físico y lo virtual se combinan íntimamente al servicio de los objetivos de interacción y los entornos de comunicación. En la *figura 20* se muestra cómo la RA y la VA se posicionan en el continuo físico-virtual (adaptado de Milgram & Kishino, 1994 en Bower, Cram & Groom, 2010).

Basado en este esquema, la Realidad Mixta abarca cualquier entorno en el que se combinen en cualquier proporción entornos físicos y virtuales.

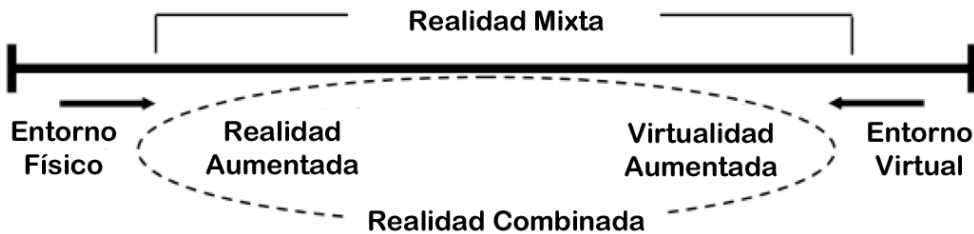


Figura 20. Blended Reality (adaptado de Milgram & Kishino, 1994 en Bower et al, 2010)

En la Realidad Dual (RD), sin embargo, tanto los mundos reales como los virtuales son completos por sí mismos, pero también están aumentados por la capacidad de reflejar, influir y fusionarse mutuamente *mediante redes de sensores* o actuadores existentes en los entornos cotidianos.

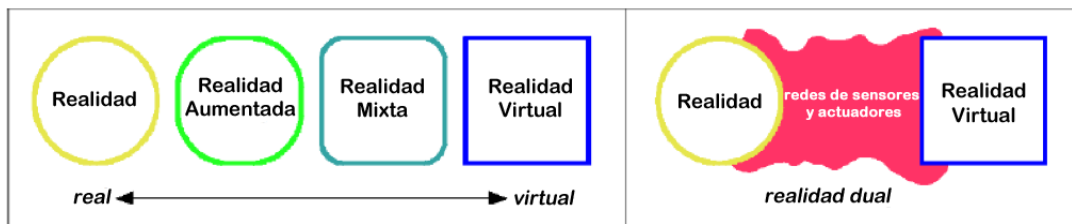


Figura 21: Redes de sensores y actuadores mezclan realidad y virtualidad para formar la Realidad Dual. Adaptado de Lifton y Paradiso (2010).

Lifton y Paradiso (2010) llamaron xReality (Cruce de Realidades) a entornos de la Realidad Mixta ubicuos procedentes de esta fusión de redes de sensores y actuadores. Podemos ver en la *figura 22* un ejemplo para una mejor comprensión del concepto.

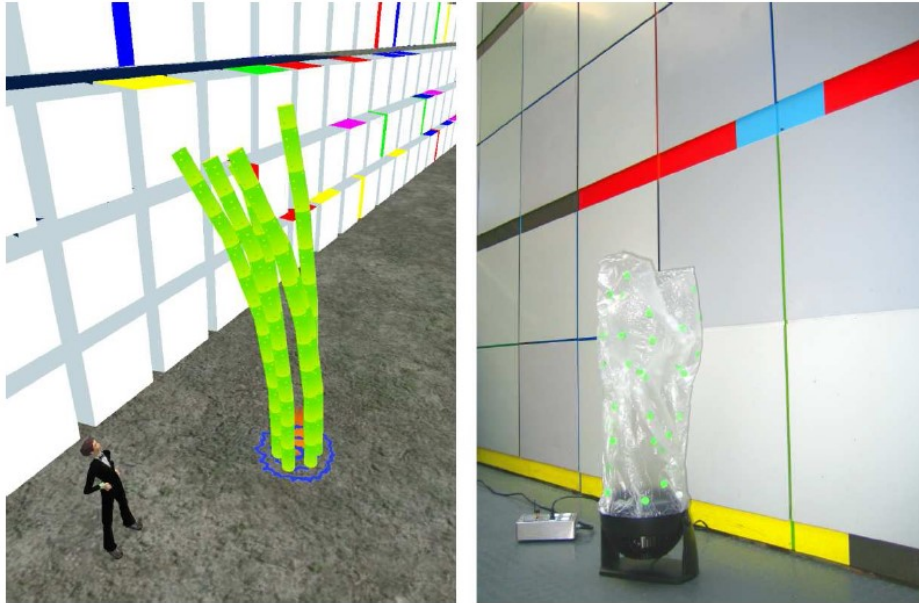


Figura 22: Cruce de Realidades. En esta experiencia, redes de sensores y actuadores mezclan realidad y virtualidad, Lifton y Paradiso (2010). Izquierda, una charca virtual refleja datos reales cerca de una pared virtual. Derecha: una charca real refleja datos virtuales cerca de una pared real.

4.2 Breve historia de la Realidad Aumentada y Virtual

La historia de la realidad aumentada y de la realidad virtual debido a las características comunes que poseen de ser visiones sintéticas para que un usuario experimente, con información anclada en ubicaciones 3D, han hecho juntos el mismo camino a través del tiempo. Describiremos a continuación los principales hitos para el desarrollo de estas tecnologías.

En 1916, Albert B. Pratt patentó un sistema similar a un periscopio situado en un casco que permitiría ver en las trincheras enemigas, éste fue considerado el primer *HMD* (Head Mounted Display) de la historia (EE.UU.).

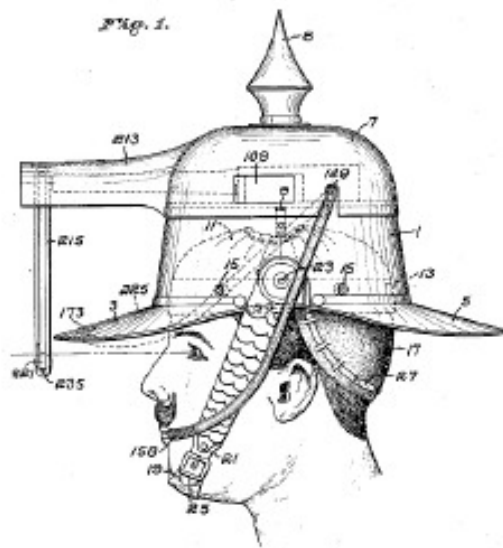


Figura 23: el invento de Albert B. Pratt (1916).

Fuente: <http://thomaskarpenter.com/2009/10/21/ismar09-hmd-review/>

En 1954 Fred Waller inventó *Cinerama*, una pantalla hemisférica (180°) con la que trató de lograr un efecto de profundidad y realismo en las proyecciones de cine, lo que incluía la visión periférica del público. Lo que sugiere que ésta era la primera vez que se intentaba dotar a una proyección con un carácter inmersivo. En 1956, Morton Heilig desarrolló *Sensorama* inspirándose en el *Cinerama* de Fred Waller, se le considera por este invento el padre de la realidad virtual. Se trataba de un simulador capaz de producir una experiencia multimodal a través de sensaciones visuales, sonidos, el asiento vibraba y también se liberaban olores basados en el contenido. Aun así, sólo era posible experimentar la sensación, el sistema fue patentado en 1962 (EE.UU.).

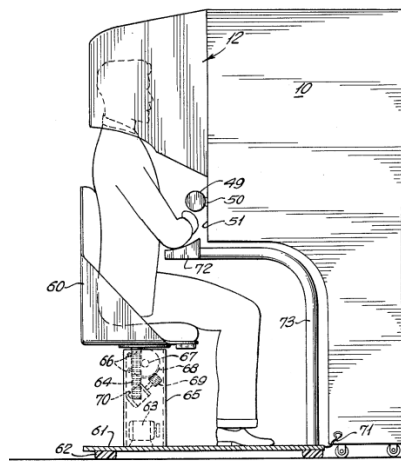


Figura 24: The Sensorama, de la patente #3050870 (EE.UU.)

En 1960, el *Head Mounted Display (HMD)*, nuevamente de Morton Heilig usaba diapositivas fotográficas en tres dimensiones, con un amplio campo visual, óptica con control de enfoque, sonido estéreo y podía producir sensaciones olfativas mediante diferentes olores.

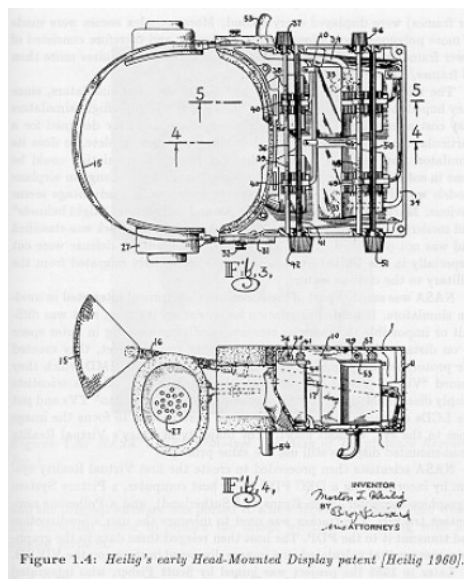


Figure 1.4: Heilig's early Head-Mounted Display patent [Heilig 1960].

Figura 25: Head Mounted Display de Heilig (1960), de la patente de EE.UU.

En 1961 Comeau y Brian, de la empresa *Philco* crearon un sistema *HMD* binocular, con el que se podía seguir el movimiento de la cabeza

mediante un sensor de orientación electromagnético, y que podía ser utilizado como sistema de visión de una cámara de video remota.

En 1963, Ivan Sutherland desarrolló en su tesis doctoral del MIT (Massachusetts Institute of Technology) la primera interfaz gráfica de usuario denominada *Sketchpad*. Era un programa que permitía la manipulación directa de objetos gráficos en una pantalla de rayos catódicos con ayuda de un lápiz óptico, pudiendo así dibujar gráficos e interactuar con ellos. Cuando Sutherland (1968) propuso el concepto de *The Ultimate Display*, su objetivo era generar estímulos artificiales que dieran al usuario la impresión de que la experiencia era real.

Sutherland sentó las bases de la realidad virtual, definiendo su idea de pantalla con la que el usuario puede interactuar con objetos, en un entorno que no necesariamente sigue las leyes del mundo físico, mediante estímulos tanto de visuales como táctiles. Sutherland, en lugar de sumergir al usuario en una realidad artificial, tomó un enfoque diferente basado en aumentar los sentidos del usuario con información adicional, permitiéndoles experimentar simultáneamente estímulos artificiales y reales. Era la Realidad Aumentada.

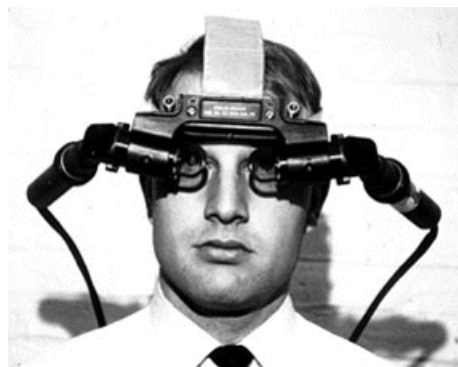


Figura 26: Sutherland. *The Ultimate Display* (1968)

La realidad virtual (RV) fue desarrollada más tarde mediante tecnologías de pantalla opaca para sumergir al usuario en un entorno

completamente sintético. Uno de los primeros entornos integrados fue el que crearon Fisher, McGreevy, Humphries y Robinett (1986), combinando el seguimiento de la cabeza para realidad virtual con el uso de guantes como dispositivo de entrada. Mientras que Rekimoto (1966) presenta un sistema de marcadores planos que permite el seguimiento de la cámara con seis grados de libertad.

En 1997 Azuma, en su gran trabajo *A survey of augmented reality* define los sistemas de realidad aumentada como aquellos que se desarrollan en un entorno que incluye elementos de los dos mundos (virtual y real), es interactivo en tiempo real y permite ser mostrado en tres dimensiones. Estas tres características propuestas por Azuma, a pesar de los años transcurridos, siguen estando vigentes.

Una obra pionera en la realidad aumentada móvil fue la *Touring Machine*, perteneciente al proyecto de la Universidad de Columbia (EE.UU.), *Mobile Augmented Reality Systems (MARS)*. Precursor de los sistemas de realidad aumentada geolocalizados para turismo (Feiner, MacIntyre & Hollerer, 1997).

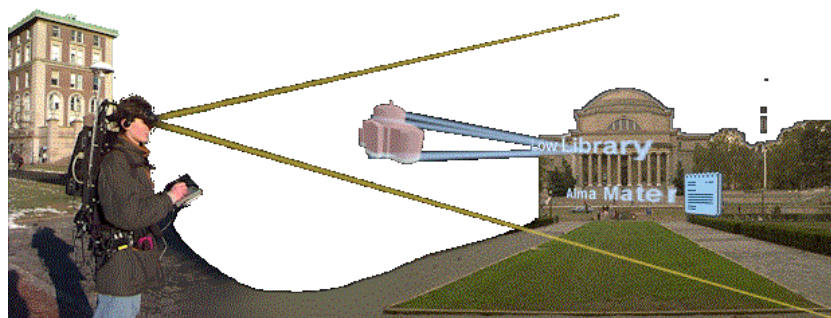


Figura 27. Imagen del Sistema MARS, extraída del sitio web de la Universidad de Columbia.

<http://monet.cs.columbia.edu/projects/mars/mars.html>

En 1976 se completó el prototipo de *VideoPlace*, diseñado por Myron Krueger de la universidad de Wisconsin (EE.UU.). Por primera vez, el usuario era capaz de interactuar con las imágenes sintéticas. Podemos considerar este tipo de interacción como predecesor de *Kinect de Microsoft*. Krueger destacaba que “*el video, como medio, tiene el potencial de ser más rico y variable de alguna manera que la vida misma*”.

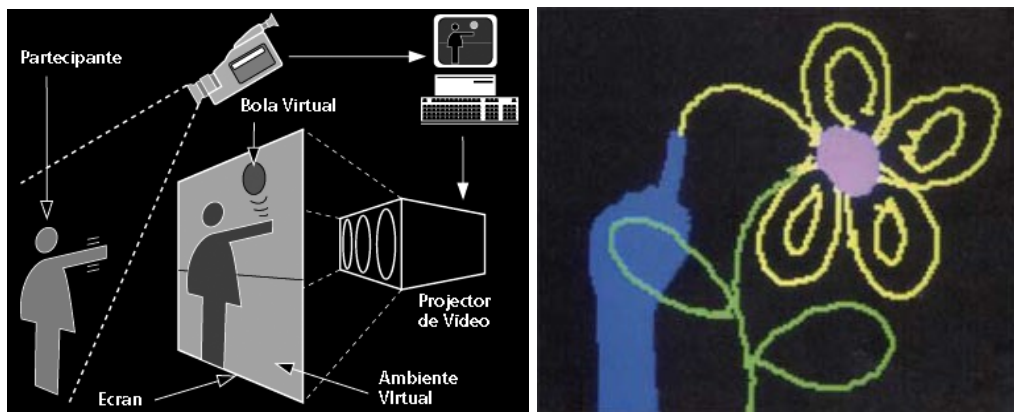


Figura 28: VideoPlace de Myron Krueger.

<http://thedigitalage.pbworks.com/w/page/22039083/Myron%20Krueger>

Bajo la dirección de Tom Furness en 1981, apareció *SuperCockpit*. Se trataba de un casco de piloto de aeronaves que lleva montado un *display* de visión transparente. Este sistema permite ver la realidad circundante aumentada, siendo capaz de ver información adicional superpuesta al entorno a medida que el usuario gira la cabeza en diferentes direcciones. Posteriormente, la tecnología hizo posible la reducción en tamaño y se generalizó el uso de este tipo de dispositivos aumentados en aviones de combate.



Figura 29: Super Cockpit de Furness (1981).

Fuente: <http://www.roadtovr.com/transforming-living-rooms-classrooms-virtual-world-society/>

Desde mediados de los años 80, la NASA estuvo interesada también en realidad virtual. En 1985, la NASA creó VIEW (*Virtual Interface Environment Workstation*). Usaba un casco de realidad virtual con visión estereoscópica, usando dos monitores montados en diagonal de 2.7 pulgadas, estos dispositivos tenían un campo de visión de 120 grados. La interfaz de usuario fue complementada por un sistema de reconocimiento de voz y el uso de guantes (DataGloves) proporcionados por VPL Research.



Figura 30: The Virtual Interface Environment Workstation (VIEW), 1990

https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new_continent_of_ideas/

En 1992, como alternativa a los *HMD* surgieron en la conferencia SIGGRAPH '92 sistemas de realidad virtual proyectada. *CAVE* (Cave Automatic Virtual Environment), fue el más importante, desarrollado en la Universidad de Illinois en Chicago (EE.UU.). También en 1992 Steven Feiner, Blair MacIntyre y Dorree Seligmann aplican por primera vez la realidad aumentada a un prototipo denominado *KARMA*.



Figura 31: *The Cave Automatic Virtual Environment, University of Illinois (Chicago).*

En 1992, Tom Caudell y David Mizell acuñaron el término *Realidad Aumentada* en el artículo *Augmented Reality: an Application of Heads-Up Display Technology to Manufacturing Processes*. Se referían a gráficos que se generan por ordenador y se superponen a la visión del mundo real, aumentando así el campo visual del usuario con la información requerida en diferentes situaciones.

Con la disponibilidad en tiempo real de gráficos *3D* generados por ordenador, los ordenadores fueron capaces de procesar entornos artificiales en un dispositivo de visualización, de inmersión. Lo contrario de la realidad virtual es el mundo físico Real típicamente experimentado por un ser humano, estas propiedades fueron las que llevaron a Milgram y Kishino (1994) a definir

el continuo *Realidad-Virtualidad*, en el clásico *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Display*.

En 1995 *Nintendo* sacó su consola *Virtual Boy*. Fue lanzada como la primera consola portátil en proveer gráficos *3D* fuera de un sistema convencional. Fue un gran fracaso comercial y no se llegó a lanzar en Europa ni en Australia. Es la consola con menor tiempo de vida de *Nintendo*, aun así, se vendieron cerca de 700 000 unidades.



Figura 32: Consola *Virtual Boy* de *Nintendo* (1995).

En 1997 Ronald Azuma definió el concepto de realidad aumentada en la publicación *A Survey of Augmented Reality*, considerándola como una tecnología que combina lo real y lo virtual, permitiendo al usuario interactuar en tiempo real y con un registro tridimensional. También en este año (1997) Takehiko Nagakura desarrolló en el MIT su proyecto *Digitarama*, un dispositivo de visualización del espacio interactivo. El sistema detectaba los movimientos del brazo del usuario, medía ángulos de visión, mostrando una panorámica en el interior de una pantalla de proyección y después una segunda imagen en un panel plano.

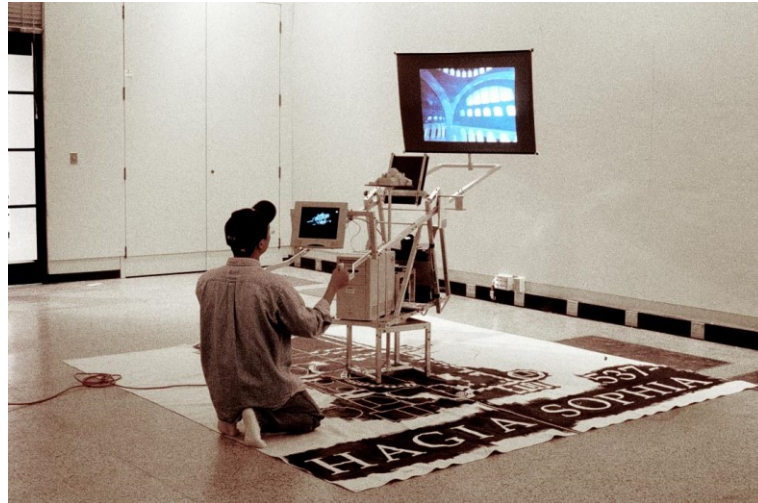


Figura 33: Digitarama, Imagen recuperada de <http://cat2.mit.edu/digitarama/>

En 1998 Hirokazu Kato y Mark Billinghurst, con diversas colaboraciones (Universidad de Washington -Seattle-, HiT Lab y ATR Media Integration & Communication de Kyoto -Japón-), presentaron *ARToolKit*. Se trata de una librería o software libre con el cual, disponiendo de una cámara y ordenador convencional, mediante unas marcas fiduciales o patrones rectangulares y un sistema de reconocimiento basado en plantillas, prácticamente cualquiera puede desarrollar aplicaciones de realidad aumentada. La última versión de *ARToolKit* (v6) se ha liberado durante la realización de esta tesis.

Comienzan a sucederse los congresos dedicados a la realidad aumentada (1998), a sus avances científicos y tecnología, destacando el *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, que desde 2002 se celebra anualmente.

En el año 2000 Bruce Thomas desarrolló el primer juego de realidad aumentada, *ARQuake* y en 2001, Bimber, Fröhlich, Schmalstieg y Encarnação presentaron *The Virtual Showcase*, un nuevo sistema óptico que permitía a más de un usuario observar e interactuar con el contenido aumentado, este sistema estaba muy enfocado a su uso en museos.

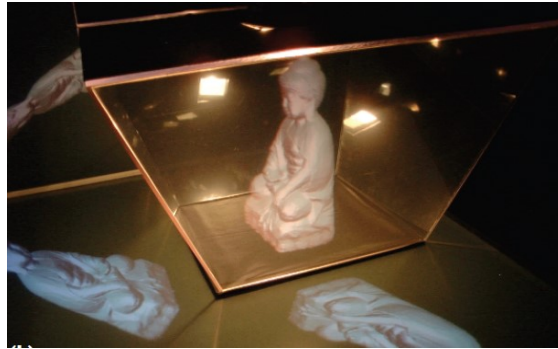


Figura 34: "The Virtual Showcase", de Bimber y colaboradores (2001).

2002: Comenzó el proyecto *AMIRE* patrocinado por el programa de la Unión Europea *ist*. *AMIRE* es un software basado en *ARToolKit* con el que, sin necesidad de programar, es posible crear y modificar aplicaciones de realidad aumentada.

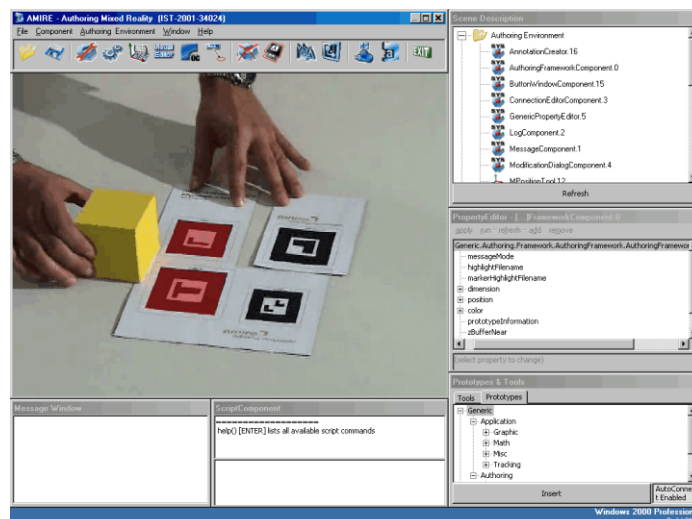


Figura 35: AMIRE, recuperado de <http://amire.sourceforge.net/>

La evolución de la telefonía móvil junto con la implantación de la tercera generación de tecnologías móviles (3G) en Europa hace que los dispositivos móviles comiencen a ser el dispositivo idóneo para el desarrollo y empleo de aplicaciones de realidad aumentada (2003).

Möhring, Lessig y Bimber (2004) desarrollaron la primera aplicación de RA de vídeo en tiempo real para teléfonos móviles. Averiguaron cómo

reconocer marcas 3D, siendo así capaces de integrar y representar gráficos virtuales 3D junto al vídeo en tiempo real. En SIGGRAPH en el mismo año se presentó la primera aplicación de realidad aumentada colaborativa desarrollada para dispositivos portátiles: *The Invisible Train*.



Figura 36: *The Invisible Train*, recuperado de <https://www.siggraph.org/s2004/conference/etech/invisible.php?=-conference>

Takehiko Nagakura desarrolló en 2004 *Deskrama*, un navegador espacial interactivo visualizar diseños arquitectónicos tridimensionalmente. En realidad, Nakagura lo consideró como una versión portátil de *Digitarama*.

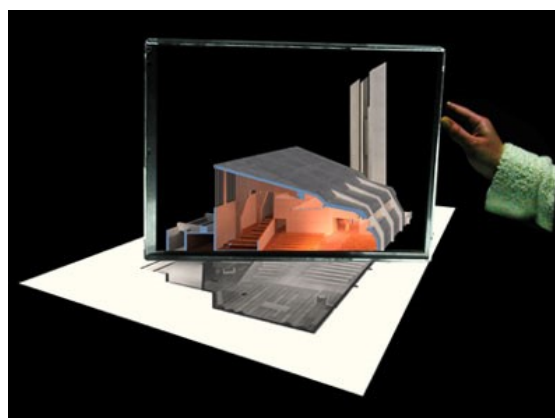


Figura 37: *Deskrama*. Fuente: <http://cat2.mit.edu/deskrama/>

En 2006 nace una nueva videoconsola de Nintendo; la *Wii*, cuyo controlador inalámbrico permite detectar aceleración y orientación tridimensional.

Wagner, Mulloni y Schmalstieg (2008) implementan el seguimiento de movimientos 3D para teléfonos móviles en tiempo real, aumentando la velocidad reduciendo el consumo de memoria. Surge *Wikitude*, basada en sistemas de geo-posicionamiento, brújula digital, mapas, vídeo, sensores de orientación, lo que permite superponer información a la imagen capturada en tiempo real.

SPRX mobile en 2009 crea *Layar*, una variante mejorada de *Wikitude*. Emplean el mismo sistema de registro, pero esta está conectada a un servidor del que obtiene diferentes tipos de información. Después del lanzamiento de *Layar*, los navegadores RA se posicionaron como una de las aplicaciones comerciales más populares basadas para dispositivos móviles (Langlotz, Nguyen, Schmalstieg & Grasset, 2013).

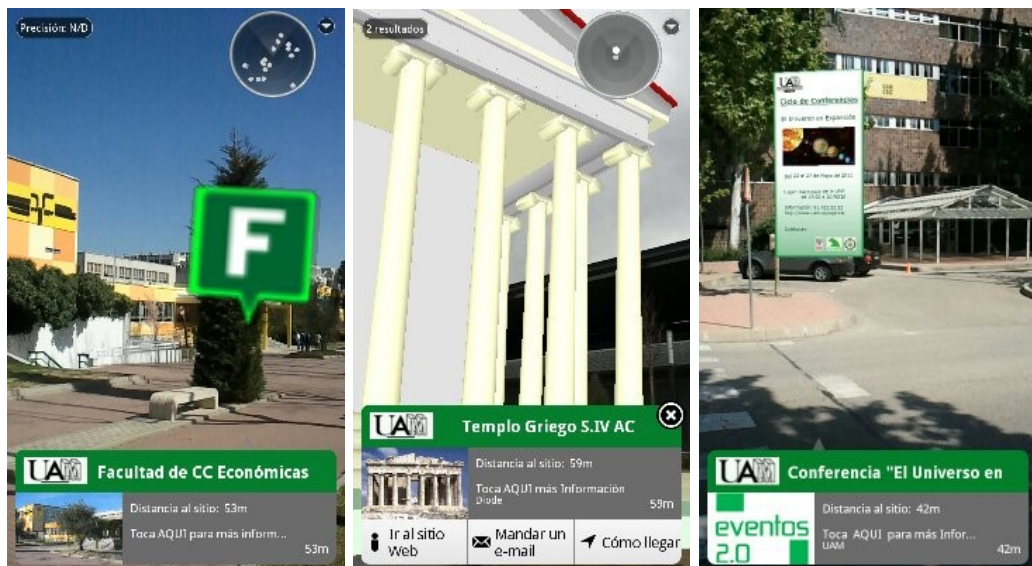


Figura 38: Campus de la UAM y demostraciones 3D. Desarrollo del autor sobre Layar.

En 2009 Sagoosha porta *ARToolKit* a Adobe Flash (FlarToolkit), con lo que la realidad aumentada llega al navegador Web. El uso de marcadores se generaliza como uno de los medios preferidos para las experiencias RA. En 2012, Google da a conocer su concepto de gafas de realidad aumentada *Google Glass* y Sony (2013) aplica la realidad aumentada en la consola *Play Station 4* (PS4), y empieza a introducir en sus dispositivos móviles (2014) aplicaciones con diferentes contenidos en realidad aumentada para entretenimiento.

4.3 Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (RA) es la aumentación de la realidad física mediante el uso de técnicas que la mezclan con objetos virtuales. Así, la RA es un entorno que incluye elementos de los dos mundos (virtual y real), es interactivo en tiempo real y permite ser mostrado en tres dimensiones. La realidad aumentada construye nuevos mundos mixtos que son coherentes con ambos sistemas, esta capacidad para mezclar objetos reales y virtuales en un mismo escenario permite utilizar la realidad aumentada como pieza clave para la interacción humana con los computadores. La realidad aumentada representa a nivel conceptual, fundamentalmente, un nuevo método para organizar e interactuar con la información, siendo una tecnología en auge gracias al desarrollo de nuevos, más potentes y más portátiles interfaces gráficos (dispositivos integrados en la ropa -wearable computing-, dispositivos móviles, mini ordenadores); siendo su uso factible y accesible en diferentes escenarios, haciendo posible que el usuario explote el entorno que le rodea (Höllerer, Feiner, Terauchi, Rashid & Hallaway, 1999).

Según Piekarski (2002) la realidad aumentada es el proceso de registrar imágenes generadas por computador sobre la visión del usuario del

mundo físico. En 1965 Sutherland describió la RA como: *“La realidad aumentada es el registro de imágenes generadas por computador proyectadas sobre la visión del usuario en el mundo físico. Con esta información adicional presentada al usuario, el mundo físico puede ser mejorado o aumentado más allá de la experiencia normal del usuario. La adición de información que se encuentra espacialmente en relación con el usuario puede ayudar a mejorar su comprensión de la misma.”* Para Feiner (2002), *“se refiere a pantallas de computadora que añaden información virtual a las percepciones sensoriales de un usuario”*.

En el contexto continuo Realidad-Virtualidad, la RA comparte con la Virtualidad Aumentada (VA) el entorno de la Realidad Mixta (RM) (Drascic & Milgram, 1996). Las tecnologías de Entornos Virtuales (EVs) usadas en educación presentan elementos comunes con las propias de la RA, relativos a la inclusión de modelos virtuales gráficos 2D y 3D en el campo de visión del usuario, pero la principal diferencia es que la realidad aumentada no reemplaza el mundo real por uno virtual, sino al contrario, mantiene el mundo real que ve el usuario complementándolo con información virtual superpuesta a la real. El usuario nunca pierde el contacto con el mundo real mientras puede interactuar con la información digital superpuesta a la real, obteniendo una información adicional que el usuario no puede detectar directamente por otros medios. La realidad aumentada consigue una disminución importante del coste interactivo frente a otros sistemas, pudiendo convertir objetos cotidianos en interactivos.

Muchos investigadores han identificado que la realidad aumentada tiene un inmenso potencial para mejorar la enseñanza y el aprendizaje (Billinghurst & Duenser, 2012; Dede, 2009; Dunleavy, Dede & Mitchell, 2009; Johnson, Adams & Cummins, 2012; Kaufmann & Schmalstieg, 2003; Shelton, 2002; Squire & Jan, 2007).

Los requisitos básicos de hardware de un sistema de realidad aumentada incluyen (Azuma, 1997; Billinghurst, et al., 2001):

- La presencia de una cámara de vídeo para capturar imágenes en directo.
- Espacio de almacenamiento significativo para los objetos virtuales.
- Procesador para objetos virtuales y reales compuestos o para mostrar un entorno simulado 3D en tiempo real,
- y un interfaz que permita al usuario interactuar con objetos reales y virtuales.

Aunque estos son los requisitos básicos para poder ejecutar un sistema de realidad aumentada, otras tecnologías pueden ser utilizadas para mejorar la experiencia general del usuario (Johnson, Smith, Levine & Haywood, 2010):

- Tecnología GPS: permite al sistema tener en cuenta la ubicación del usuario en el mundo real, asegurando que los datos sintéticos contextualmente relevantes se proporcionan al usuario en ubicaciones geográficamente importantes.
- Software de reconocimiento de imágenes: permite que las imágenes y los objetos del mundo real actúen como "desencadenantes" de las superposiciones multimedia y de modelos y también anclaje de datos virtuales en el entorno.
- Altavoces y sistemas de sonido: permite reproducir sonidos y grabaciones de audio.
- Acceso a Internet: proporciona un medio para almacenar, recuperar y compartir contenido utilizando medios sociales y diferentes tecnologías de comunicación.

- Interfaces intuitivas: los avances en la pantalla táctil, el giroscopio y las tecnologías de entrada táctil proporcionan medios más naturales para interactuar y manipular objetos virtuales.

4.3.1 Sistemas RA

La biblioteca de ARToolKit (Kato et al., 1999; Billinghurst et al., 1999; Billinghurst and Kato, 1999; Kato y Billinghurst, 1998) desarrollada en la Universidad de Washington (EE.UU.) está diseñada para el rápido desarrollo de aplicaciones RA. Se han implementado multitud de aplicaciones que utilizan interfaces tangibles basadas en ARToolKit para interactuar directamente con los objetos 3D. Existen muchas aplicaciones derivadas de este sistema, entre ellas:

El MagicBook (Billinghurst et al., 2000) es un libro de cuentos tradicional en el que se integran marcadores RA en las páginas. Cuando un lector mira el libro usando ARToolKit, las imágenes salen de la página y cobran vida como escenas virtuales en 3D animadas.

Tiles (Poupyrev, Kato, Billinghurst, Imamoto & Tachibana, 2000) es una interfaz de autoría para facilitar la disposición espacial. Un ejemplo del uso de *Tiles* es un sistema para la creación de prototipos de paneles de instrumentos de aeronaves, donde los marcadores están dispuestos en una pizarra y cada marcador representa un dial o instrumento diferente. Otra aplicación interesante de *ARToolKit* es *VOMAR* (Kato et al., 2000), *Virtual Object Manipulación in AR*. Este sistema amplía *ARToolKit* y utiliza varios tipos de marcadores para registrar una imagen virtual.

Un aspecto importante del *ARToolKit* es que está libremente disponible, es de código abierto y no necesita grandes requisitos de sistema para funcionar: un ordenador, una cámara de vídeo y algunos marcadores. Esto ha hecho que este sea uno de los sistemas preferidos para muchos recién llegados a la realidad aumentada, y ha sido utilizado en los últimos años por muchos grupos de investigación en todo el mundo.

The Computer Graphics and User Interfaces lab de la Universidad de Columbia ha producido una gran cantidad de trabajo importante en RA. Centrándose principalmente en la construcción de infraestructuras para los sistemas de RA. Uno de sus proyectos es *COTERIE* (MacIntyre & Feiner, 1996), un banco de pruebas para el prototipado rápido de sistemas de entorno virtual distribuido. Está diseñado para soportar la creación de entornos virtuales con múltiples usuarios interactuando a la vez con pantallas y dispositivos de entrada heterogéneos. *MARS* (Feiner et al., 1997) es una guía portátil en RA para el campus portátil que puede superponerse al edificio.

Studierstube (Fuhrmann, Lffelmann, Schmalstieg & Gervautz, 1998; Schmalstieg, Fuhrmann, Hesina, Szalavari, Encarnao, Gervautz & Purgathofer, 2000) es un sistema de RA que se centra en la visualización científica en entornos virtuales colaborativos, especialmente para la cooperación cara a cara entre expertos de diferentes campos. *Studierstube* permite a múltiples usuarios colaboradores trabajar de forma simultánea en visualizaciones científicas en 3D. Cada participante usa un *HMD* de seguimiento individualmente controlado que proporciona una visualización estereoscópica en tiempo real.

Navicam (Rekimoto y Nagao, 1995) fue uno de los primeros sistemas móviles de RA, se puede utilizar tanto en dispositivos manuales (dispositivos móviles) o usar con un *HMD*. Rastrea las etiquetas de papel utilizando una cámara y técnicas de visión por ordenador. La etiqueta de papel actúa como

un código de barras, proporcionando un ID para esa etiqueta. La posición y la orientación de la etiqueta relativa a la cámara se pueden estimar de modo que las imágenes virtuales se puedan superponer sobre las etiquetas a través del dispositivo de visualización. El objetivo de *Navicam* es reconocer el mundo real y presentar información superpuesta a este mundo.

Archeoguide (Augmented Reality-based Cultural Heritage On-site Guide), de Vlahakis y colaboradores (2002), es un proyecto de la Unión Europea que busca utilizar la realidad virtual y aumentada para presentar recorridos alrededor de sitios históricos arqueológicos y culturales. El objetivo es tener dispositivos móviles de RA (tabletas, teléfonos, portátiles) para proporcionar información adaptada a los perfiles de los visitantes y según el lugar de la visita. Se pueden presentar diversos tipos de información audiovisual a medida que el usuario se guía alrededor del sitio. El uso del GPS es diferencial en esta aplicación para rastrear las ubicaciones de los usuarios.

Además de estos sistemas pioneros en la difusión de la realidad aumentada, existen en la actualidad multitud de kits de desarrollo de Software (SDKs), que podemos ver en la *Tabla 1*. Wikipedia define un SDK (Software Developer Kit) como un conjunto de herramientas que permite la creación de aplicaciones para un determinado paquete de software, plataforma de hardware, sistema informático, consola de videojuegos, sistema operativo o plataforma de desarrollo similar. Puede ser algo tan simple como una interfaz de programación de aplicaciones (API) en forma de algunos archivos para interactuar con un lenguaje de programación particular o incluir hardware sofisticado para comunicarse con un sistema embebido determinado.

Tabla 1: Sistemas para el desarrollo de realidad aumentada más usados

Nombre	Tipo de licencia	Plataformas	Características
3djar	Libre, Comercial SDK	iOS	GPS, Sensores IMU
ALVAR	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Windows, Flash	Marcador, Detección puntos y zonas
AndAR	Código abierto	Android	Marcador
ARLab	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	GPS, Sensores IMU, Búsqueda Visual
ARmedia	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Windows, Flash	Marcador
Arpa	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Windows	Marcador, Detección puntos y zonas, GPS, Sensores IMU, Seguimiento Facial, IR Tracking, real time rendering
ARToolkit	Código abierto, Comercial SDK	Android, iOS, Linux, OSX, Windows	Marcador, Detección puntos y zonas
ArUco	Código abierto	Linux, OSX, Windows	Marcador
ATOMIC Authoring Tool	Código abierto	Linux, OSX, Windows	Marcador
Augmented Technologies	Libre, Comercial SDK	Android	GPS, Sensores IMU, Búsqueda Visual
Aurasma	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Detección puntos y zonas, Búsqueda Visual
Bazaar	Código abierto	Linux, OSX, Windows	Detección puntos y zonas
Beyond Reality Face	Comercial SDK	Flash	Seguimiento/Reconocimiento facial
BeyondAR	Libre (Apache)	Android	GPS, Marcador, Sensores IMU
BuiltAR	Libre, Comercial	Windows	Marcador
Catchoom	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Búsqueda Visual
DAQRI	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Búsqueda Visual, ContentAPI, Detección puntos y zonas
Deeko	Libre, Comercial SDK, Código cerrado	iOS	SLAM
Designers ARToolkit (DART)	Libre, Código cerrado	iOS, Windows	Marcador, ContentAPI, TrackerInterface
DroidAR	Código abierto	Android	Marcador, GPS, Sensores IMU
EasyAR	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, OSX, Windows	Marcador, Sensores IMU, SLAM, Detección Puntos y Zonas
FLARToolkit	Código abierto	Flash	Marcador
Goblin XNA	Código abierto	Windows	Marcador
HOOPALA	Libre, Servicio Comercial	Android, iOS	ContentAPI
IN2AR	Libre, Comercial SDK	Flash, iOS, Android	Detección puntos y zonas
Instant Reality	Libre, Comercial SDK, Código cerrado	Android, iOS, Linux, OSX, Windows	Marcador, GPS, Sensores IMU, Detección puntos y zonas, Búsqueda Visual, ContentAPI, SLAM, TrackerInterface
iPhone ARKit	Código abierto	iOS	GPS, Sensores IMU

Tabla 1. Sistemas para el desarrollo de realidad aumentada más usados (Continuación).

Nombre	Tipo de licencia	Plataformas	Características
Khama	Closed source	iOS	ContentAPI
Koozyt	Comercial SDK	Android, iOS	Marcador
Kudan	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Marcador, Detección de puntos y zonas, SLAM,
Layar	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Detección puntos y zonas, GPS, Sensores IMU, Búsqueda Visual, ContentAPI
MaxstAR	Libre, Comercial SDK	Android	Marcador
Mineva	Código abierto	Linux, Windows	Marcador
Mixare	Código abierto	Android, iOS	GPS
MKR Toolkit	Código abierto	Windows	Marcador
NyARToolkit	Código abierto, Comercial SDK	Android, Linux, Windows, Flash	Marcador
OpenSpace3D	Código abierto	Linux, Windows	Marcador
osgART	Código abierto	Linux, OSX, Windows	Marcador, Detección puntos y zonas
PanAR	Libre, Comercial SDK	iOS, Android	GPS, Sensores IMU
PRAugmentedReality	Libre	iOS	GPS, Sensores IMU
PTAM	Libre, Comercial SDK	Linux, OSX, Windows	SLAM
RealityCap	Libre, Comercial SDK	iOS	SLAM
ReticleOS SDK	Comercial SDK	ReticleOS (Android)	Marcador
Robocortex	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Linux, OSX, Windows	Marcador, Detección puntos y zonas
SLARToolkit	Código abierto	Windows Mobile, Windows	Marcador
SSTT	Closed source	Android, iOS, Win, Mobile, Linux, OSX, Windows	Marcador, Detección puntos y zonas
Total Immersion	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Windows, Flash	Marcador, Detección puntos y zonas, FaceTracking
UART	Código abierto	iOS, OSX, Windows	Marcador
Vuforia	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Marcador, Detección puntos y zonas, Búsqueda Visual
WearScript	Código abierto	Android (Glass)	Sensores IMU, GPS, Reconocimiento de voz
Wikitude	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, BlackBerry OS	GPS, Sensores IMU, ContentAPI
Win AR	Libre, Comercial SDK	Windows	Detección puntos y zonas
Windage	Código abierto	Windows	Marcador, Detección puntos y zonas
wision	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Windows Mobile, OSX, Windows	Marcador
Zapcode Creator	Comercial SDK	Android, iOS	Marcador

Fuente: Adaptado de <http://Augmentra.com>. Complementado con nuevos datos.

Ayudas a la realidad aumentada, sensores y marcadores

En la *Tabla 1*, entre las características a destacar se encuentra la información relativa a los sensores utilizados por los dispositivos RA. Una unidad de medida inercial (IMU) es un dispositivo electrónico que mide e informa de la fuerza específica de un cuerpo, la velocidad angular y, a veces, el campo magnético que rodea al cuerpo, usando una combinación de acelerómetros y giroscopios, a veces también magnetómetros. Los desarrollos recientes permiten la producción de dispositivos GPS habilitados para IMU. Una IMU permite que un receptor GPS funcione cuando las señales GPS no están disponibles, como en túneles, dentro de edificios o cuando hay interferencias electrónicas.

Natural Feature Tracking es una técnica de seguimiento basada en imágenes, que detecta y rastrea las características específicas que se encuentran naturalmente en la propia imagen.

4.3.2 Modos de interacción RA

La realidad aumentada *Tangible* (Kato et al., 2000) aplica técnicas tangibles del interfaz de usuario (Ishii & Ullmer, 1997) a entornos de realidad aumentada. En lugar de utilizar dispositivos tradicionales de entrada y salida, como ratón, teclado y monitor, las interfaces de usuario tangibles se basan en la interacción de los usuarios con los objetos físicos. Al superponer imágenes virtuales sobre los objetos físicos, la realidad aumentada ofrece posibilidades de visualización mejoradas para estas interfaces (Poupyrev et

al., 2000), eliminando la necesidad de utilizar otros tipos de interacciones, como la integración de pantallas en objetos físicos, usar proyectores voluminosos o monitores externos.

Según Poupyrev y otros (2002), la realidad aumentada en su forma tangible brinda la oportunidad de "fusionar el espacio físico en el que vivimos y trabajamos con el espacio virtual en el que almacenamos e interactuamos con la información digital".

Los enfoques para el registro y el seguimiento pueden dividirse en dos categorías: basado en marcadores y sin marcadores (Henrisson & Ollila, 2004). El seguimiento basado en marcadores requiere colocar marcadores físicos en el entorno que puedan ser reconocidos por el sistema. El contenido virtual se superpone a estos marcadores. Aunque es extremadamente adecuado para escenarios interiores, este enfoque es menos factible para el uso al aire libre de ya que requiere la instrumentación en el entorno con marcadores físicos, limitando la visibilidad de los marcadores y requiere que los marcadores físicos sean escalados adecuadamente por la distancia para ser reconocidos por el sistema (Henrisson & Ollila, 2004).

Realidad Aumentada con marcadores

La RA con marcadores está basada en características fáciles de rastrear en el diseño del patrón, generalmente impresas en papel. Las técnicas de visión por computador pueden usarse para determinar con precisión la posición y la orientación de un marcador, permitiendo que los sistemas RA superpongan objetos virtuales sobre dichos marcadores. Dado que son fácilmente distinguibles, se requiere una capacidad de

procesamiento relativamente baja para su seguimiento, es el método actualmente más utilizado para sistemas RA móviles. El video de la cámara se correlaciona con la imagen o marcador conocido usando una técnica de estimación de pose de visión por ordenador que determina la posición de la cámara y produce la imagen. Usando la pose de la cámara, se deduce también la pose del espectador. La escena 3D se genera para superponer la imagen. Esta técnica se utiliza principalmente en teléfonos inteligentes y tabletas y como hemos dicho, requiere el uso de un marcador físico para ser llevado a cabo. Este enfoque asigna información a cualquier objeto que tenga la imagen de marcador 2D, sin importar dónde se coloque este objeto en el mundo real.

Los marcadores se colocan en tarjetas y objetos fácilmente manipulables que pueden utilizarse como dispositivos de entrada para interfaces RA tangibles. También es posible utilizar este tipo de marcas en pantallas. Existen múltiples ejemplos de RA tangibles, entre ellos *Tiles* (Poupyrev et al., 2000, 2002), que es un sistema para realizar diseños de tableros de instrumentos de aeronaves.

Aunque en sentido estricto la definición de marcador RA se ha utilizado para imágenes en 2D de alto contraste, con los bordes enmarcados, gracias a los avances de la visión por computadora en realidad no existe ninguna diferenciación básica en los sistemas para reconocer un marcador de una imagen usada como tal. En sentido general usaremos en esta investigación el término marcador para los tradicionales y para las imágenes en 2D, estén o no enmarcadas. Los tipos básicos de marcadores contemplados son:

Marcadores ID: Son normalmente cuadrados, con un alto contraste, fáciles de identificar, procesar y seguir su posición. Presentan siempre un

marco negro, para facilitar la detección, dentro de este marco se incluye el patrón distintivo.

Marcadores QR o códigos de barras: Muy similares en cuanto a la forma de uso que los marcadores ID. Se apoya en estándares para su creación y poder ser decodificados. Estos marcadores pueden incluir también imágenes.

Marcadores de imagen: se pueden utilizar diferentes tipologías de imágenes, que pueden estar cerca de las características de los *marcadores ID* para facilitar su procesado o que pueden ser imágenes que presentan puntos de referencia (*natural features*) para ser procesados adecuadamente, pueden ser en blanco y negro o en color. Un buen marcador de seguimiento funciona independientemente del color que tenga, ya que las características distintivas permanecen. Todas las posibilidades de imágenes pueden ser usadas entre estos dos extremos, simplemente el seguimiento será más o menos robusto en función de sus cualidades distintivas.

Los contenidos que pueden ser representados mediante interfaces tangibles, comprenden imágenes estáticas o dinámicas, contenidos 3D estáticos o dinámicos, y superposición de vídeos. La representación y manipulación de modelos de objetos 3D pre-generados se ha utilizado muy eficazmente en proyectos como el proyecto *ARToolKit Seattle Museum* (Billingham, 2001), donde los usuarios participaron en una excavación arqueológica virtual y pudieron manipular sus hallazgos en un entorno RA.

Realidad Aumentada sin marcadores

Se suelen utilizar objetos en 3D en las que suelen existir diferencias en contornos, texturas y puntos de referencia para ser procesados adecuadamente. Requiere de un escaneado tridimensional y procesado posterior, de la calidad de este escaneado y de la cantidad de superficie cubierta dependerá la facilidad de reconocimiento por el sistema. Los algoritmos de visión por ordenador funcionan de forma similar al rastreo basado en marcadores, pero son capaces de reconocer objetos y características naturales dentro del entorno del usuario (Henrisson & Ollila, 2004), la detección de objetos 3D conlleva un uso muy intensivo en recursos.

Sin marcador, servicios de localización (GPS): Es el sistema preferido para exteriores, consume menos recursos que el reconocimiento de objetos en 3D, siendo la razón por la que la mayoría de los navegadores actuales de teléfonos inteligentes RA se basan en este sistema. En esencia, los datos de los sensores geomagnéticos (GPS, acelerómetro, magnetómetro) del dispositivo móvil se combinan con los datos entrantes desde la vista de la cámara para estimar la orientación y el campo de visión del usuario (Madden, 2011). Sobre la base de los parámetros computados (principalmente latitud y longitud), los datos correspondientes se extraen de una base de datos, normalmente en un servidor, y es superpuesto sobre el vídeo.

Los navegadores de realidad aumentada requieren determinar la posición del dispositivo, junto con la orientación del usuario y la altura aproximada del dispositivo. Mediante el sistema de registro y alineación (Langlotz, Nguyen, Schmalstieg & Grasset, 2014), se estima la posición del objeto que debe ser aumentado, el sistema también necesita hacer un

seguimiento para mantener estas posiciones relativas entre los mundos físico y virtual, este proceso se llama seguimiento.

También es posible la mezcla de los diferentes sistemas referenciados anteriormente, e incluso el uso de grandes monitores. Un caso particular es el de la realidad aumentada espacial o proyectiva, que consiste en proyectar las imágenes virtuales sobre un determinado entorno real, suele hacerse para crear entornos inmersivos, que también pueden estar basados en Virtualidad Aumentada.

4.3.3 Usos de la Realidad Aumentada

El uso de sistemas de realidad aumentada ha sido investigado por muchas industrias desde principios de los años 90, algunos de los campos han sido la medicina, sistemas de fabricación, aeronáutica, robótica, entretenimiento, turismo y educación (Azuma, 1997, Hincapie, Caponio, Rios, & Mendivil, 2011; Shelton, 2002; Shin, Kim, Kang, Jang, Choi & Woo, 2010; Shuhaiber, 2004). *Augmented Groove* (Poupyrev et al., 2000) es un sistema de realidad aumentada basado en experiencias de disc jockey. Los usuarios pueden tocar música juntos, con o sin instrumentos musicales tradicionales, mediante la manipulación de marcadores.

La realidad aumentada puede proporcionar el apoyo cognitivo para realizar tareas complejas, que puedan tener algún tipo de riesgo. Algunos ejemplos de la industria incluyen la capacitación de conductores (Regenbrecht, Baratoff & Wilke, 2005), aprender a cambiar un filtro en la estación espacial internacional (Regenbrecht, et al., 2005). Cabero y Barroso

(2016) en esta misma línea indican "... El uso de la RA nos ofrece la posibilidad de crear escenarios simulado que faciliten tanto la orientación para la adquisición exitosa de objetivos procedimentales, como la seguridad de los participantes en la realización de experimentos". DHL equipó en un proyecto piloto a los trabajadores del almacén con gafas de realidad aumentada, el resultado fue que mejoró la eficiencia en la preparación de pedidos cerca de un 25% (DHL, 2015). Tang, Owe, Biocca y Mou (2002) llevaron a cabo una investigación detallada de las diversas maneras en que la RA puede aumentar la eficacia de las tareas de fabricación (Tang et al., 2002). La superposición de imágenes virtuales sobre el vídeo en el lugar de trabajo, la RA reduce el movimiento de la cabeza y los ojos, por lo que en teoría el rendimiento del usuario debería aumentar, la información se integra perfectamente con el entorno real y la información superpuesta se toma como parte del proceso cognitivo humano (Neumann & Majoros, 1998). Las pantallas transparentes con información superpuesta, son ahora comunes entre las naves espaciales o aviones de combate. Fabricantes como Boeing o Volkswagen han utilizado sistemas RA como ayuda en el montaje y reparación de componentes, Rose y colaboradores (Rose, Breen, Ahlers, Greer, Crampton, Tuceryan & Whitaker, 1995) presentaron un sistema de RA instruccional que permitía etiquetar las diferentes partes de un motor de automóvil. La investigación en neurociencia sugiere una fuerte relación entre la localización espacial y la memoria de trabajo (Kirsh, 1995).

Entre las aplicaciones más estudiadas de la realidad aumentada se encuentran las que se ocupan de la reconstrucción visual en arqueología y en el Patrimonio Cultural, tanto los sistemas fijos como los móviles pueden ser empleados para la reconstrucción virtual de edificios que han desaparecido o están en ruinas, en proyectos de preservación, puesta en valor y presentación interactiva.

Investigadores de *IBM* desarrollaron en 1996 una de las primeras versiones de una aplicación básica de RA: *Ename 974 Project*, en la abadía medieval de Ename (Bélgica). Hoy en el sitio web <https://creativech-toolkit.salzburgresearch.at> se puede encontrar información de diferentes proyectos de restauración del patrimonio cultural.

Algo pasa en el museo (2014) fue un proyecto de investigación en realidad aumentada (Centro Universitario La Salle, Madrid) sobre pinturas que cobran vida y que de una forma didáctica proporcionan información sobre el autor y contexto del cuadro.

En el campo de la medicina han existido muchas iniciativas, en la práctica de la cirugía se ha usado como una ayuda de visualización y entrenamiento (Biocca & Rolland, 1998; Bajura & Neumann, 1995; Cristancho, Moussa & Dubrowski, 2011). La RA ha sido usada en el tratamiento de la enfermedad de Parkinson, donde los pacientes con dificultad para caminar encuentran que usar un HMD proyectando objetos regularmente espaciados delante de ellos les ha permitido caminar de nuevo (Weghorst, 1997). Steve Mann (1994) ha estado explorando aplicaciones de la realidad mediada para personas con discapacidades visuales, donde las técnicas de visión computarizada podrían compensar deficiencias visuales como puntos ciegos.

Wikitude y *Layar* permiten que la información se sobreponga sobre el mundo real para informar de los puntos de interés existentes (restaurantes, lugares turísticos) y *Plane Finder AR* superpone una capa de información de los vuelos aéreos directamente en planos de la región, proporcionando el número de vuelo y distancia en tiempo real. *Works nug* encuentra wifi gratuito en la localidad. Otras aplicaciones basadas en geolocalización permiten a los usuarios intercambiar información basada en la ubicación en el entorno real.

Al superponer las traducciones de idiomas sobre los signos y documentos, *Wordlens* (ahora Google translator) se puede utilizar para evaluar el aprendizaje de idiomas y para traducciones en tiempo real, por ejemplo, en viajes de turismo.

Las disciplinas en las que se han desarrollado más aplicaciones de realidad aumentada permiten a los profesores crear una secuencia integrada de experiencias con realidad aumentada alrededor de diferentes temas. La aplicación de visualización de estrellas de realidad aumentada *SkyView*, (<http://www.terminaleleven.com/skyview>). *MoonGlobe* y *MarsGlobe* (ver <http://www.midnightmartian.com>) permiten a los estudiantes explorar la Luna y Marte. El conocimiento de otros planetas podría ser facilitado mediante el libro *Reality Planets3D* (<http://popartoy.com>). De esta manera las combinaciones de aplicaciones de realidad aumentada pueden proporcionar a los estudiantes una experiencia más inmersiva.

Hágalo usted mismo

Potencialmente más emocionante para los educadores es la aparición de sistemas de realidad aumentada que permiten a los usuarios definir sus propios desencadenantes y superposiciones. Podemos citar como ejemplos *Aurasma* (<http://aurasma.com>) o *Layar* (<http://layar.com>). *BuildAR* es otra buena opción disponible en versión PC para la gestión de contenido de realidad aumentada (<http://buildar.com>). Esto significa que los educadores y los estudiantes pueden comenzar a diseñar, construir y administrar sus propias experiencias de realidad aumentada. En este mismo sentido Barroso

y Gallego (2017) indican que ...”las experiencias realizadas en el campo de la producción de recursos por parte de los alumnos, tienen cierta tradición en el contexto educativo. Experiencias en las cuales los alumnos utilizaban las posibilidades de la tecnología y de los lenguajes movilizados con ella, como instrumentos de conocimiento de su realidad próxima”.

4.3.4 Dispositivos para RA

Hay muchas formas diferentes de superponer gráficos sobre la escena real, pero los dos principales métodos de visualización son: el que utiliza vídeo y el que utiliza dispositivos ópticos transparentes.

En el sistema de visión mediante vídeo, el mundo real es capturado por una cámara de vídeo. La escena gráfica se genera entonces mediante un módulo de representación que superpone los gráficos encima. El cuadro de vídeo combinado (con las imágenes real y virtual) se muestra al usuario, permitiendo así que el usuario vea el mundo real a través del ocular de la cámara o la pantalla de cualquier dispositivo, por ejemplo, en la de un teléfono móvil.

En el enfoque óptico transparente, se crea una combinación de paisaje real y virtual generada por el motor de representación usando un elemento óptico de combinación. El elemento óptico es similar a un espejo semi-reflexivo que permite al usuario tanto ver el mundo real y la reflexión de la imagen aumentada a partir de una micro-pantalla impulsada por el motor de representación, mostrando así los objetos virtuales y reales combinados.

La gama de visualizadores aumenta paralelamente a los avances en el campo de la óptica y de la informática. Hoy en día es posible emplear desde una computadora tradicional con monitor y webcam, hasta las más avanzadas tabletas y dispositivos móviles inteligentes, habiéndose convertido estos últimos en una plataforma muy atractiva para este tipo de aplicaciones.

Las denominadas gafas inteligentes bien pueden encarnan el concepto de tecnología asistida que es posible utilizar para mejorar la vista de las personas o actuar como una tecnología habilitadora para la realidad aumentada (RA). Aunque lleven años en procesos de investigación y desarrollo aún siguen estando en una fase temprana de desarrollo, lejos aún de la madurez. Sin embargo, gracias a los avances tecnológicos de los últimos años que han proporcionado una potencia de procesamiento más rápida, la existencia de tecnologías avanzadas de compresión, mayor capacidad de memoria digital, la posibilidad de almacenamiento en la nube y un ancho de banda inalámbrico cada vez mayor, ha sido posible utilizar el móvil en aplicaciones como video, juegos, navegación por Internet o productividad laboral, convirtiéndose en tendencias del mercado de consumo.

Debido a que los dispositivos móviles, a pesar de los denominados *phablets*, están limitados por pantallas relativamente pequeñas, la consiguiente experiencia de visualización limitada hace que estos dispositivos sean considerados poco adecuados para algunas tareas.

La ubicuidad de las capacidades de *GPS* y de otros sistemas de localización por satélite, como el *Glonass* ruso y los futuribles *Galileo* en Europa y *Beidou* en China, en los teléfonos inteligentes y el avance y reducción de costes de los sensores de orientación, han generado una nueva era de oportunidades de información basada en la ubicación.

Las gafas inteligentes fueron publicitadas como el próximo paso en comunicaciones móviles. *Google Glass* fue el escaparate donde muchos fabricantes se vieron reflejados, pero el proyecto parece paralizado desde 2015.

Gafas Inteligentes

Actualmente (2017) existen alrededor de una treintena de empresas que ofrecen diferentes modelos de gafas inteligentes, y con muchos modelos en vías de desarrollo. Por centrarnos en el tema que nos ocupa únicamente destacaremos aquellas marcas que producen modelos útiles para aplicaciones de realidad aumentada o Mixta. El resto de dispositivos de esta categoría, que no comentaremos, pertenecen a comunicadores básicos o dispositivos extremadamente específicos para alguna tarea (médica, deportiva, industrial) y que son de poca o ninguna utilidad para nuestro estudio.

Muchas compañías desarrollan y venden tecnologías y productos de visualización montados en la cabeza. Por lo general son pesados y voluminosos, de manera similar, estos dispositivos son inmersivos y la visión del usuario está bloqueada o disminuida, haciéndolos poco prácticos para el uso diario y móvil e imposibles para aplicaciones multitarea y de realidad aumentada.

Los consumidores no quieren ir con este tipo de dispositivos grandes y pesados, llamando la atención por dónde van, no quieren olvidarse del mundo que los rodea y, por supuesto, no quieren usar algo que sea intrusivo, pesado

e incómodo. Estos condicionantes llevaron a la comprensión de que estos dispositivos para que sean útiles deben combinar una imagen de alta calidad en un espacio reducido, que sean ligeros y transparentes. Pero la transparencia conlleva que estos dispositivos tengan poco contraste, por lo que en situaciones de alta luminosidad es difícil su uso. Otros inconvenientes añadidos son la duración de la batería, y la dificultad de leer, por ejemplo, texto en las pantallas por la cercanía a los ojos. Para que el público en general acepte de forma racional estos dispositivos deben parecer naturales, ser discretos, ligeros y portátiles, refiriéndonos aquí a que no estén atados a otros dispositivos de los que dependan (baterías, controladores). Un dispositivo así permitiría a los usuarios ver la televisión, leer un correo electrónico, o utilizar una aplicación de localización con total privacidad, proporcionando a los usuarios el flujo de información sin obstruir su visión.

Por tanto, entre los factores de diseño para que el público en general acepte este tipo de dispositivos se encuentran:

- Diseño atractivo, ligereza, posible personalización por el cliente, corrección visual adicional, disponibilidad de accesorios.
- Prestaciones: duración de batería, calidad de visión (contraste, tamaño, resolución).
- La privacidad, que debe ser mantenida.
- Ecosistema: Existencia de aplicaciones, como juegos, herramientas de productividad, y entretenimiento.
- Barreras legales a considerar, por ejemplo, el caso de uso durante la conducción de vehículos.

¿Está preparado el consumidor para usar este tipo de dispositivos en la vida cotidiana? Esta pregunta es difícil de responder, hasta ahora el uso de

estos dispositivos se está restringiendo al uso industrial, donde tiene buena aceptación junto con software específico desarrollado para realizar diferentes tareas.

Han existido en los últimos cinco años muchos conceptos de gafas para realidad aumentada, holográficas (realidad mixta) y de realidad virtual, la mayoría de ellas producidas por los pocos fabricantes tradicionales en este mercado y otras que han sido creadas por *startups* con rondas de financiación privada, muchos de estos modelos y prototipos han tenido una vida muy corta, otras nunca han llegado a ser proyectos comerciales.

Las gafas de realidad aumentada pueden tener tantos usos como aplicaciones se diseñen con interfaces adecuadas, ya que permiten ver la televisión, jugar mediante juegos habilitados para estos dispositivos, leer mensajes de texto, recibir alertas, hacer los discursos interactivos (sin necesidad de mirar las notas), disfrute de visitas guiadas en museos y salas de exposiciones, proyección de imágenes médicas, etc.

Podemos clasificar los dispositivos de visualización según el método de visión empleado:

Sistemas de visión directa transparentes

- *Gafas inteligentes monoculares*. Estos dispositivos no inmersivos permiten que los usuarios obtengan la información mirando ligeramente hacia un lado (por ejemplo, Google Glass) o mirando a un

punto específico (por ejemplo, *Recon Jet* de Intel). Siendo monoculares, no cuentan como verdadera realidad aumentada: aunque proporcionan información digital relevante para la escena en cuestión, no pueden superponer esa información directamente sobre la vista del usuario. Sin embargo, son útiles para proporcionar notificaciones, mejorando los flujos de trabajo como los servicios de técnico de campo. Ingenieros de *Boeing* usan gafas inteligentes con software de *APX Labs* para obtener acceso manos libres a especificaciones de ingeniería e instrucciones de montaje en tiempo real.

- *Gafas inteligentes inmersivas*. Estos dispositivos RA superponen información digital sobre el campo de visión del usuario, a menudo interactuando con el entorno para mostrar relaciones espaciales o para ofrecer detalles narrativos sobre la escena en cuestión. Las gafas inteligentes *Moverio* de Epson alimentan la experiencia digital del cliente del *Museo Brescia* en Italia. Usando las gafas inteligentes, los visitantes pueden observar las reconstrucciones en 3D de los monumentos del sitio arqueológico, además de recibir una visita guiada en formato audio-visual.
- *Holográficos*. Estos dispositivos permiten a los usuarios ver, construir, manipular e interactuar con hologramas. La computadora holográfica de realidad mixta utiliza cámaras, gestos, mirada, voz, sonido y un dispositivo portátil para navegar por un mundo de hologramas que son conscientes y se adaptan a lo esperado para el proyecto Magic Leap (<https://www.magicleap.com>).

Las ventajas de las pantallas de visualización *transparentes ópticos* es que incluyen una visión natural e instantánea de la escena real, transparencia entre la visión asistida y la periférica y generalmente son dispositivos con estructuras simples y muy ligeras.

En comparación con las pantallas transparentes ópticas, las pantallas transparentes de vídeo que existen comercialmente están disponibles en menor cantidad. La imagen real es capturada por una cámara de vídeo, la imagen capturada y la imagen virtual se combinan electrónicamente para presentarla al usuario.

Por el número y tipo de oculares existentes en el dispositivo los podemos clasificar en: monoculares, bioculares y binoculares. Las particulares de los visores ópticos hacen que la mejor opción sea siempre la binocular ya que la visión es estéreo y se asemeja a la visión normal. Para los dispositivos ópticos el sistema biocular (no estéreo, muestra la misma imagen para los dos ojos) no ofrece buenos resultados, mientras que el monocular es aceptable.

Un *HMD* binocular tiene dos pantallas separadas con dos canales de entrada, uno para cada ojo. Debido a la capacidad estéreo, los *HMD* binoculares son los preferidos en muchos de los sistemas de realidad aumentada. Un *HMD* binocular puede funcionar como uno estereoscópico sólo cuando se proporcionan adecuadamente dos fuentes de imagen diferentes.

Otro problema añadido de los visores para realidad aumentada, es la distancia de las pantallas a los ojos, es preferible una separación pequeña, sin embargo, una distancia demasiado pequeña hace que el campo de visión esté parcialmente sombreado, y es un gran inconveniente para los usuarios

con gafas. En los dispositivos comerciales esta distancia se fija normalmente entre 20 y 40 mm. Existen diferentes técnicas de visualización usadas en *HMDs*. La mayoría de estas técnicas se pueden englobar en dos familias: la primera de ellas está basada en el concepto de *Espejo Curvo* y la segunda basada en la *Guía de Onda o Guía de Luz*.

Técnica de Espejos curvos

Un elemento óptico holográfico (Holographic Optical Element, *HOE*), una especie de rejilla difractiva, se ha utilizado para óptica ligeras en *HMDs*. Debido a su poder de difracción, pueden formarse gran variedad de formas de espejo curvadas sobre un sustrato plano. Un elemento óptico holográfico también puede funcionar como un mezclador óptico altamente transparente debido a su selectividad de longitud de onda. Basándose en estas características únicas, se pueden diseñar monturas transparentes con ópticas muy finas, ligeras y brillantes. Una guía de ondas óptica o un elemento óptico de guía de luz, junto con la óptica de acoplamiento, ofrece diseños de *HMD* compactos, ligeros, de amplio campo de visión (Allen, 2002; Kasai, Tanijiri, Endo & Ueda ,2000).

En ocasiones estos componentes de imagen se acoplan después de la guía de ondas usando material reflectante semitransparente cuidadosamente diseñado, este tipo de sistema es utilizado por Konica-Minolta entre otros.

Técnica de Guía de Ondas

Existen diferentes variaciones sobre las técnicas de guía de ondas, incluyendo la óptica de difracción, óptica holográfica, óptica polarizada, óptica reflectante y óptica de proyección:

- Elementos de rejilla de difracción de onda. Es la técnica de *Nokia* (Microsoft) y que ahora tiene licencia para *Vuzix*.
- Guía de ondas holográficas, con tres elementos ópticos holográficos intercalados (RGB). Utilizado por *Sony* y *Konica-Minolta*.
- Guía de ondas polarizadas, con seis reflectores polarizados recubiertos multicapa en un sándwich de vidrio. Desarrollado por *Lumus*.
- Guía de ondas reflectante, de luz gruesa con espejo semirreflejante. Esta es la técnica utilizada por *Epson* en su producto *Moverio*.
- Guía de ondas reflectante *Clear-Vu* plástico moldeado monolítico fino con reflectores de superficie y revestimientos convencionales desarrollados por *Optinvent* y utilizados en su producto *ORA*.
- Guía de ondas conmutable, desarrollado por *SBG Labs*.

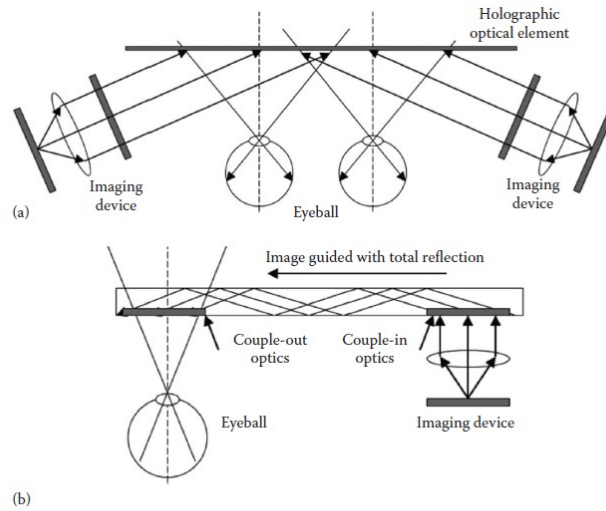


Figura 39: Sistemas de visualización, a) Holográfico y b) de guía de ondas. Fuente: *Fundamentals of wearables computers and augmented reality*.

Otros sistemas de visión totalmente diferentes incluyen el *Virtual Retinal Display* (VRD), desarrollado en la Universidad de Washington (Figura 40), escanea la luz modulada directamente sobre la retina del ojo, permitiendo muy alta resolución y amplio campo de visión.

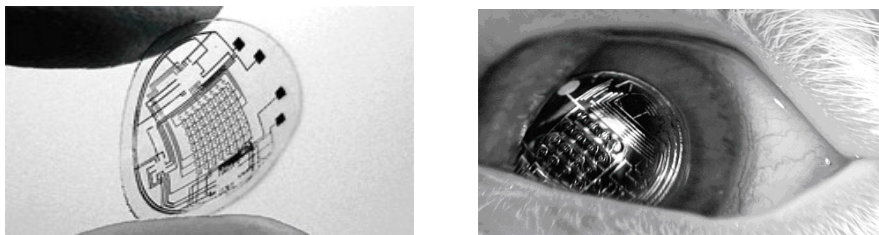


Figura 40: Concepto de lentes para Realidad Aumentada. Fuente: Universidad de Washington.

Otro tipo diferente a la visión directa, son las pantallas proyectivas montadas en la cabeza (HMPD) presentan una imagen estéreo en el entorno real a partir de un par de proyectores en miniatura (Fisher, 1996). De las regiones en el ambiente real que se cubren con los materiales retro-reflexivos,

la imagen estéreo proyectada es rebotada de nuevo a los ojos correspondientes por separado. Sin la necesidad de ocular, este diseño es menos intrusivo, y da aberraciones más pequeñas y campos de visión más grandes, hasta 120 grados horizontalmente.

Entre las características importantes de este tipo de sistemas podemos destacar la resolución. La resolución de un sistema de visualización define la fidelidad de la imagen y está limitada por la óptica y el dispositivo de imagen. En el caso de dispositivos de visión a través de video la resolución de la cámara también debe tenerse en cuenta. Respecto a la resolución de la imagen virtual, un *HMD* ideal tendrá que tener unos 12 000×7200 píxeles a 120 grados, lamentablemente, estas resoluciones tan grandes todavía no se pueden obtener fácilmente con la tecnología actual.

En los *HMDs* transparentes ópticos, los campos de visión superpuestos de alrededor de 60 grados horizontalmente son difíciles de conseguir con diseños ópticos convencionales, esto es debido a las aberraciones y distorsiones ópticas, lo que hace que normalmente se encuentran situados en valores comprendidos entre los 20 y 40 grados. Como ejemplo el campo de visión de *Google Glass* es de sólo 13 grados, y en las *Epson Moverio*, es de 23 grados. Sin embargo, los *HMD* transparentes ópticos tienden a tener un diseño simple y compacto, dejando un amplio campo de visión periférico para la observación directa de la escena real. Nagahara, Yagi y Yachida, (2003) propusieron una superposición de campos ideal de visión para *HMD* (180 grados horizontal × 60 grados vertical), esta configuración puede ser alcanzada por los espejos semi-plateados curvados.

La profundidad de campo se refiere al rango de distancias desde el ojo (o una cámara) en el que un objeto aparece enfocado. En la vida real, el

alojamiento del ojo se ajusta automáticamente para centrarse en un objeto de acuerdo con la distancia, y los objetos fuera de la profundidad de campo aparecen borrosos. Por otra parte, la imagen sintética se ve normalmente a una distancia fija. Por lo tanto, es imposible centrarse tanto en las imágenes reales como en las sintéticas al mismo tiempo con un *HMD* óptico convencional, a menos que el objeto enfocado esté en o cerca de la distancia de visión del *HMD*.

La latencia en sistemas basados en *HMD* se refiere a un retardo temporal desde la medición del movimiento de la cabeza hasta el momento en que la imagen se muestra al usuario. Esto conduce a la inconsistencia entre las sensaciones visuales y el sentido de la orientación y/o del equilibrio. En un *HMD* óptico transparente, la latencia se observa como un grave error de registro con el movimiento de la cabeza, que además introduce el mareo por movimiento, la confusión y la desorientación. En tal situación, la imagen sintética oscila alrededor de la escena real. En un *HMD* de verificación de vídeo, este problema se puede minimizar retrasando la imagen real capturada para sincronizarla con la imagen sintética correspondiente. Este enfoque elimina la latencia aparente entre las escenas real y sintética, a expensas del retardo artificial introducido en la escena real.

A diferencia de los sistemas transparentes ópticos, en los *HMDs* transparentes de vídeo es difícil de eliminar el paralaje entre el ojo del usuario y el punto de vista de la cámara. El montaje de una cámara estéreo por encima del *HMD* introduce un paralaje vertical, causando una falsa sensación de altura. El paralaje horizontal introduce errores en la percepción de profundidad. Es deseable que la lente de la cámara se posicione ópticamente en el ojo del usuario para minimizar el efecto del paralaje. Los ejemplos de *HMDs* transparentes de vídeo sin paralaje incluyen el *COASTAR* de Canon

(Takagi, Yamazaki, Saito & Taniguchi, 2000), mediante la utilización de un prisma de forma libre.

Las distorsiones y las aberraciones de la imagen causan el registro incorrecto, fatiga ocular y desorientación en RA y en RV. En un *HMD* estéreo, las diferencias de distorsión de imagen entre las imágenes izquierda y derecha deben minimizarse para lograr una visión estereoscópica correcta. Las pantallas basadas en escaneado como las *CRTs* (Cathode Ray Tube) son propensas a la distorsión de la imagen. Debido a que toma varios milisegundos para escanear una imagen, la distorsión de la imagen en la retina se produce con el movimiento rápido de la cabeza. El movimiento rápido de la cabeza también induce la separación de color molesta con sistemas de color de secuencias de campo. Las lentes y los espejos curvados introducen una variedad de aberraciones ópticas. Las distorsiones típicas incluyen de cojín, barrilete y trapezoidal. Sin introducir elementos ópticos adicionales, las distorsiones ópticas se pueden corregir electrónicamente mediante la pre-distorsión de la imagen fuente. En los *HMD* transparentes ópticos, la distorsión debe ser corregida ópticamente, lo que puede aumentar el peso y el tamaño de la óptica. Las aberraciones cromáticas se producen debido a la potencia refractiva (un efecto de prisma) de las lentes. Para compensar, normalmente se utilizan lentes acromáticas, que consisten en lentes convexas y cóncavas. Los elementos ópticos reflectantes tales como espejos cóncavos no inducen aberraciones cromáticas. Teniendo en cuenta que las pantallas a todo color sólo tienen componentes *RGB*, las aberraciones cromáticas pueden compensarse separando los planos de color a expensas de los costes de representación. Esta técnica contribuye en gran medida a la flexibilidad en los diseños ópticos.

La coherencia pictórica entre las imágenes reales y virtuales es importante para el sentido de la realidad, así como para la visibilidad de la información superpuesta. Por ejemplo, el brillo y el contraste de la imagen sintética deben ajustarse a los de la imagen real. En un *HMD* óptico transparente, es difícil combinarlos para una gama muy amplia de valores de luminancia de la escena real. Ningún dispositivo de formación de imágenes es lo suficientemente brillante como para ser comparable al sol. En su lugar, algunos productos permiten el control de la transparencia. En sistemas transparentes de video, la consistencia pictórica se logra más fácilmente. En su lugar, el bajo contraste (bajo rango dinámico) de la imagen capturada es a menudo un problema. Para compensar, se podrían utilizar técnicas de alto rango dinámico (HDR) en tiempo real.

Las pantallas montadas en la cabeza no están diseñadas para ser estaciones de trabajo, y los dispositivos de entrada usados tradicionalmente en sistemas informáticos como el teclado y el ratón no admiten el concepto de gafas o lentes inteligentes. En lugar de interfaz de computadora humana (HCI) de entrada de control deben tomar prioridad los métodos que se encaminan hacia la movilidad y a dejar libre el uso de las manos, por ejemplo:

- Incorporar un *touchpad* o botones (por ejemplo en la montura).
- Usar dispositivos compatibles, como un teléfono inteligente como medio de control.
- Reconocimiento gestual y control por voz.
- Activación mediante seguimiento visual.

Modelos de Gafas actuales

Vuzix (Estados Unidos)

El modelo de *Vuzix M100* fue considerado como las primeras gafas inteligentes disponibles comercialmente. Con soporte para Android, pantalla monocular, posee cámara de alta definición, con funciones de grabación de video y capacidades de conectividad inalámbrica. Son compatibles con aplicaciones de Android existentes y el fácil acceso a los recursos para desarrolladores permite la creación de aplicaciones personalizadas. Dispone de conectividad *Bluetooth 4.0* y wifi para el acceso a Internet. La incorporación de *GPS* permite el uso de aplicaciones de geolocalización, permitiendo ver en la pantalla directamente la ruta a seguir.

Vuzix produce diferentes modelos, algunos de ellos son muy utilizados en campos industriales, entre ellos se encuentran, el *Wrap 1200DXAR*, que es la cuarta generación de gafas de visión digital digitales o el modelo *M2000AR* que es el primer sistema de realidad aumentada *HD* basado en guías de ondas, diseñado para proporcionar acceso a la información RA con las manos libres en un entorno industrial.

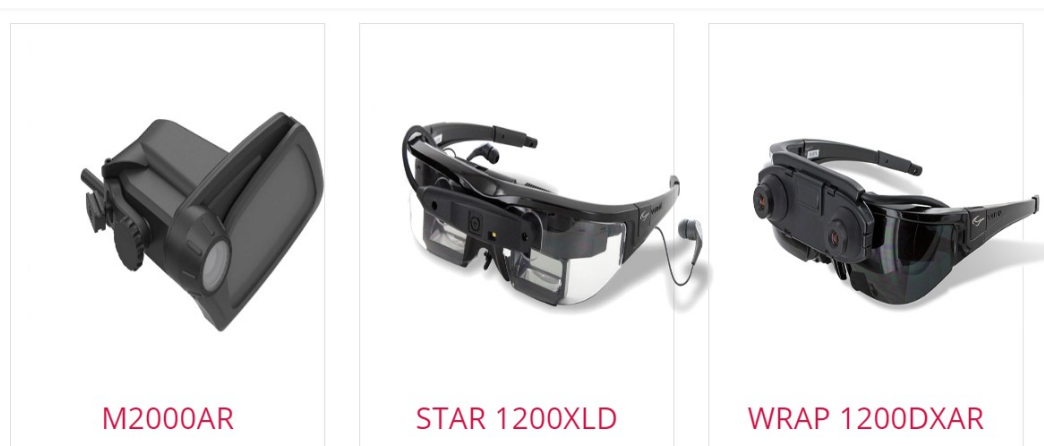


Figura 41: Algunos modelos de gafas de RA de la marca Vuzix.

El concepto binocular más reciente de *Vuzix*, el *AR3000*, es un visor para realidad aumentada, con tecnología de guía de ondas transparentes. Las gafas inteligentes *AR3000* incorporan un potente microprocesador que ejecuta Android. La información posicional será capturada para permitir que los objetos 3D se comporten efectivamente e interactúen con objetos del mundo real, se conecta de forma inalámbrica a través de una conexión wifi y Bluetooth directamente a la nube o a dispositivos móviles, incluidos teléfonos inteligentes, tabletas y ordenadores.

Recon Instruments (Canadá)

Recon se ha especializado en dispositivos enfocados hacia actividades deportivas. *Recon Jet* es un dispositivo autónomo con alta capacidad de procesamiento, un conjunto de sensores y acceso a Internet similar al de una tableta o un teléfono inteligente. Su plataforma abierta y su kit de desarrollo permiten a los desarrolladores crear diversas aplicaciones de una forma fácil. Otros modelos fabricados por *Recon* incluyen algunos específicos para esquiadores (*Figura 42*).

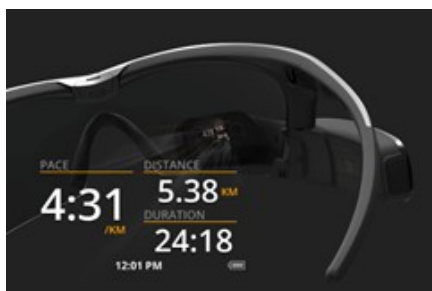


Figura 42: Modelos de Gafas de la marca Recon.

Glass Up (Italia)

La marca italiana *Glass Up* ofrece gafas que funcionan emparejadas con un teléfono inteligente, mediante una aplicación de control que permite la entrega de información a la pantalla e incluso la navegación por Internet. Como es habitual en muchos de estos dispositivos incorpora sensores para explorar el ambiente (acelerómetro, brújula, sensor de luz ambiente), depende del GPS del móvil para las aplicaciones de localización. Son muy ligeras, alrededor de 70 gramos. Es posible su corrección óptica para personas con problemas visuales.



Figura 43: Gafas GlassUp

Otro modelo de esta marca, *GlassUp UNO*, reproducen el contenido directamente desde el teléfono inteligente, en el ocular derecho. El sistema óptico visualiza todas las actualizaciones e información sobre el campo de visión del usuario, en tonos de verde y con buena resolución (pantalla LCD 0.35 pulgadas de ancho, relación de aspecto 4:3), está disponible para dispositivos *Android*.

Epson (Japón)



Figura 44: Epson Moverio BT-200

Epson es uno de los pioneros en el diseño y fabricación de gafas para realidad aumentada, las gafas *Moverio BT-200* (binoculares transparentes) están equipadas con tecnología avanzada, que permite sacar el máximo partido de las aplicaciones de realidad aumentada (RA) o disfrutar de contenido 3D y de alta definición, tanto en casa como en cualquier otro lugar. La cámara, giroscopio, GPS y otros sensores incorporados de las *Moverio* permiten ofrecer experiencias de usuario útiles e innovadoras en Realidad aumentada. Tiene una unidad de control portátil, que incluye un panel multitáctil, hace que resulte muy fácil gestionar el contenido.

Las aplicaciones de las gafas *BT-200* se ejecutan sobre Android, y posee diferentes modalidades de conectividad (wifi, Bluetooth), lo que ofrece la posibilidad de acceder a cientos de aplicaciones a través de *Moverio Apps Market*, impulsado por una amplia comunidad de desarrolladores. Los desarrolladores pueden utilizar el *SDK* de Android estándar para crear innovadoras aplicaciones o adaptar las existentes a este exclusivo dispositivo.

Lumus (Israel)

La tecnología que utiliza *Lumus* es disruptiva porque rompe las leyes percibidas de la óptica convencional. Es un avance tecnológico que combina una imagen grande y de alta calidad en un factor de forma muy compacto, utilizando una lente transparente. Estas características permiten a *Lumus* ofrecer productos con el aspecto natural de gafas de visión estándar. El brillo y el contraste de la pantalla están optimizados para bloquear el fondo ambiental cuando se está viendo contenido de vídeo, el campo de visión que rodea a la imagen activa permanece limpio, con la imagen apareciendo como si estuviera proyectándose en cualquier fondo visible, con grandes dimensiones. El modelo *Lumus DK-40* presenta una apariencia socialmente estética, son ligeras y cómodas, siendo una plataforma ideal para el desarrollo de RA.



Figura 45: diferentes modelos Lumus y módulo óptico.

La principal estrategia de *Lumus* para el mercado de consumo es proporcionar sus módulos ópticos a los principales fabricantes de dispositivos del mundo.

Innovega (EE.UU.)

A medida que aumenta el tamaño de la pantalla y el campo de visión, un requisito de realidad aumentada para que las experiencias sean realmente inmersiva, la cantidad de óptica necesaria para que funcione aumenta geoméricamente. *Innovega* utiliza un sistema que incorpora una lente de contacto combinadas con unas gafas de sol modificadas.

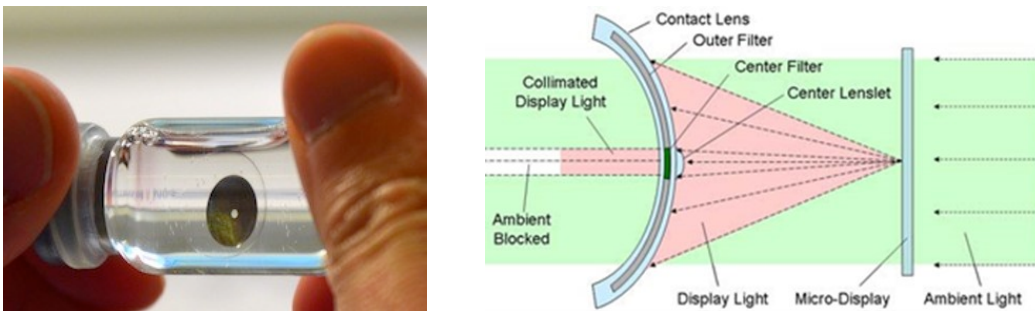


Figura 46: Lente Innovega y esquema del sistema. Foto: Evan Ackerman.

La lente consta de tres componentes primarios: dos filtros y un objetivo. La mayor parte de la lente está cubierta por un filtro que bloquea tres bandas muy estrechas de luz roja, verde y azul (RGB). La única parte de la lente que no está cubierta por el filtro de bloqueo de la pantalla es el centro, que es una lente diminuta. Esta lente reenfoca la luz que entra desde la pantalla para que pueda ser vista, aunque esté tan cerca, mientras que un filtro detrás de la lente bloquea todas las longitudes de onda de la luz, excepto las tres bandas (RGB) estrechas emitidas por la pantalla para evitar que se vea borrosa en el centro de su visión.

El resultado es la visión resultante es completamente normal. Más importante aún, la pantalla y el mundo real están enfocados al mismo tiempo,

que es un requisito necesario para la realidad aumentada. La pantalla tiene un campo de visión de 60 grados y una resolución de 1280x1024 píxeles. *Innovega* está experimentando con cámaras integradas, GPS, acelerómetros y audio, para desbloquear todo el potencial que promete la realidad aumentada.



Figura 47: Combinación de gafas y lentillas de *Innovega*. Foto: Evan Ackerman

El sistema de *Innovega*, denominado, *iOptik*, no funcionará a menos que se usen las lentes de contacto. Para muchas personas, esto no será un problema, ya que las lentes *iOptik* son fáciles y baratas de fabricar y pueden incorporar cualquier receta para el ajuste de la visión, sin embargo, para personas que no necesitan, ni han experimentado con lentes de contacto, puede ser una barrera en la adopción en este tipo de tecnologías.

Microsoft HoloLens

El primer dispositivo para Windows Mixed Reality, Microsoft HoloLens, es similar a una computadora *Windows 10* inalámbrica y autónoma, no necesita conexión adicional a otros dispositivos. Utiliza varios sensores, una pantalla óptica 3D estereoscópica de alta definición montada en la cabeza y sonido espacial para permitir aplicaciones de realidad aumentada, con una interfaz de usuario natural con la que el usuario interactúa a través de la

mirada, la voz y gestos manuales. Ofrece realidad aumentada en forma de los llamados *hologramas*, son elementos que están fijados o anclados a elementos físicos reales en el ambiente. *HoloLens* cuenta con cámara de profundidad con un campo de visión de 120x120 grados, micrófono, altavoces estéreo, acelerómetro, giroscopio y un magnetómetro. También cuenta con la denominada Unidad de Procesamiento Holográfico (HPU), que es el coprocesador de compilación personalizado de Microsoft que procesa y combina datos de todos los sensores. El sensor principal es una versión avanzada de la cámara *Kinect 2.0* y está equipado con cuatro cámaras *HD* y sensor de profundidad.



Figura 48: Microsoft HoloLens. Fuente: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>

Además de los modelos vistos aquí existen muchas más marcas que fabrican diferentes modelos y van apareciendo día a día nuevos dispositivos, generalistas o muy específicos. Entre otras marcas tenemos: Atheer (Estados Unidos), LaForge (Estados Unidos), Meta (EE.UU.), ODG (Osterhout Design Group, EE.UU.), OptInvent (Francia) o Laster (Francia).

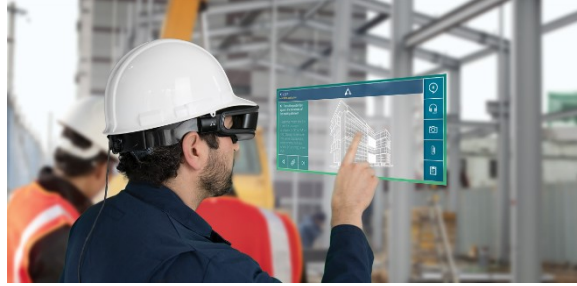


Figura 49: Atheer es especialista en soluciones industriales.

Fuente: <http://atheerair.com/>

Otras aplicaciones de los visores de Realidad Aumentada

Otras aplicaciones de los visores de realidad aumentada son los dispositivos que proyectan información en diferentes sustratos de pantalla en los automóviles, cada vez incorporados en más modelos. El *AR-HUD* de *Continental* sitúa la información virtual directamente en la línea de visión del conductor. Inserta gráficos a todo color en la vista de carretera real en una sección de aproximadamente 130 cm de ancho y más de 60 cm de altura del campo de visión del conductor a una distancia de 7.5 metros.

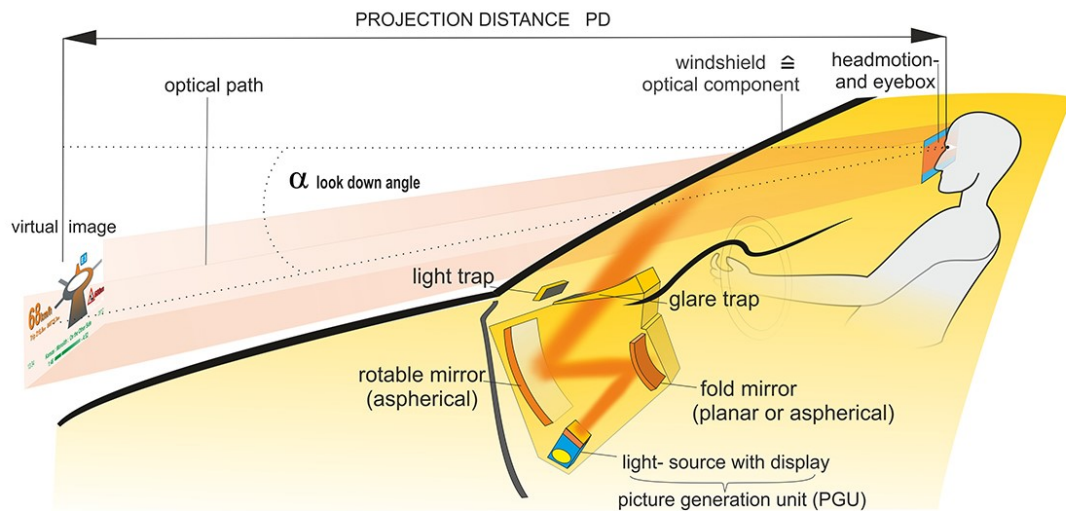


Figura 50: Concepto HUD de Continental. Fuente: <http://continental-head-up-display.com>

En comparación con los formatos de parabrisas la distancia a la pantalla visual del HUD es ligeramente más corta, entre 1.5 y 2 m, lo que significa que los ojos del conductor tienen que adaptarse a esta distancia más corta.

4.4 Realidad Virtual

La Realidad Virtual (RV) es la experiencia de estar totalmente sumergido en un mundo puramente virtual. Reproduce entornos tridimensionales con los que es posible interactuar de forma dinámica, con una sensación de inmersión en el entorno similar a la presencia y exposición a un entorno real. Se producen aplicaciones donde el usuario se siente dentro del mundo representado, interactuando con la representación de la realidad creada como si verdaderamente fuese un espacio con consistencia física. El ordenador nos ofrece la posibilidad reconstruir el mundo visual, recrear

imágenes y manipularlas. La RV, al igual que la RA ha sido un tema recurrente en investigación en los últimos años.

Cuando se usan dispositivos de RV inmersiva, el usuario lleva en la cabeza un dispositivo -con uno o dos oculares- con una pantalla incorporada, alimentados por una computadora, consola de juegos o mediante el uso de un dispositivo móvil. Mediante software especializado y diferentes sensores que emulan el movimiento y posicionamiento espacial, su experiencia virtual se convierte en realidad, el sonido espacial 3D mejora también la experiencia de inmersión al parecerse a los sonidos del mundo real. La realidad virtual no inmersiva también utiliza el ordenador y se vale de medios diferentes, como la interacción en tiempo real con diferentes personas y objetos en espacios y ambientes sintéticos sin la necesidad de dispositivos adicionales al ordenador. La interacción con entornos de realidad virtual para manipular objetos en el mundo virtual no es completamente natural debido al uso de sensores, efectores y dispositivos de entrada.

Existen tres características principales que distinguen los sistemas de realidad virtual de otras aplicaciones multimedia gráficas (Stary, 2001; Trindade, Fiolhais & Almeida, 2002).

- Navegación: Es la acción del usuario más frecuente en un entorno de realidad virtual. Presenta desafíos tales como el apoyo a la conciencia espacial y proporcionar un movimiento eficiente y cómodo entre lugares distantes para que los usuarios puedan concentrarse en tareas más importantes.

- **Interacción:** Las interacciones entre el usuario y el entorno son en tiempo real. Con objetos 3D, y estas interacciones generan el sentimiento subjetivo de estar presentes.
- **Inmersión:** esta cualidad significa el sentimiento de presencia, donde la presencia se interpreta como el sentido de estar en el ambiente que es representado por la tecnología de la realidad virtual y la capacidad de actuar dentro de ese entorno.

Los sistemas de realidad virtual varían según el tipo de equipo tecnológico utilizado, como el hardware y los dispositivos de interacción visualizados. Los sistemas de realidad virtual generalmente se clasifican de acuerdo con el nivel de inmersión que proporcionan, desde la realidad virtual semi-inmersiva (o de escritorio) hasta la realidad virtual inmersiva (Mantovani & Galimberti, 2003; Christou, 2010). Los sistemas de escritorio y sistemas de inmersión virtual de realidad virtual han sido ampliamente utilizados por las empresas industriales para capacitar a su personal y en sistemas educativos como herramientas de aprendizaje (Ritke-Jones, 2010).

4.4.1 Realidad Virtual e inmersión

Una de las características más importantes que presenta el uso de los sistemas de RV es la capacidad de inmersión en un mundo virtual creíble como si fuera un mundo real. La inmersión ha sido descrita de muchas maneras y en contextos diferentes. Dede (1995) definió la inmersión como la impresión subjetiva de que un usuario está participando en un *mundo* lo suficientemente amplio y realista como para inducir a la suspensión voluntaria de la incredulidad. Una visión diferente la plantearon Slater y Wilbur (1997) describiendo la inmersión en términos de la tecnología utilizada para crear

una dimensión inclusiva, como una extensión de la realidad física, y que ampliaría la gama de modalidades sensoriales.

A nivel fisiológico, la inmersión puede clasificarse en tres categorías (Bjork & Holopainen, 2005):

- *La inmersión táctica* (sensorial-motora) se define como la realización de operaciones táctiles que implican habilidad sin pensamiento razonado. Similar a cuando una persona se concentra en una tarea y su respuesta corporal es inmediata a través de movimientos reflejos.
- *La inmersión estratégica* (cognitiva) se asocia con desafíos mentales para optimizar una situación. Los jugadores de ajedrez son un ejemplo de este tipo de inmersión.
- *La inmersión narrativa* (emocional) depende de la narrativa, y sucede cuando los individuos se preocupan por los personajes de una historia y les gustaría saber cómo termina. Los libros y las películas son ejemplos de este tipo de inmersión.

Por otra parte, Dede (1995) clasificó la inmersión en tres tipos:

- *La inmersión accional*, que permite a un individuo tener experiencias que tienen consecuencias novedosas e intrigantes.
- *La inmersión simbólica*, que implica el desencadenamiento de asociaciones semánticas y psicológicas a través del contenido presentado.

- *La inmersión sensorial* reproduce la experiencia de una ubicación remota a través de la retroalimentación háptica. La inmersión sensorial, podría compararse con la inmersión espacial, que ocurre cuando un individuo siente que un mundo simulado se ve y se siente como real.

La presencia, o la sensación de estar en un lugar o entorno es el concepto clave que permite definir la realidad virtual en términos de experiencia humana en lugar de ser únicamente un fenómeno tecnológico. La presencia y la inmersión son dos cualidades lógicamente separables, sin embargo, varios estudios muestran una fuerte relación empírica entre las dos, ya que los sistemas altamente inmersivos generan un alto grado de presencia para el participante (Ijsselsteijn, 2006).

Sheridan (1992) identificó tres tipos de presencia: física, telepresencia y virtual. La presencia física se asocia con los entornos físicos y se entiende como estar físicamente allí. Ijsselsteijn (2006) define la telepresencia como si se sintiera estar en el sitio remoto de operación y la presencia virtual es el sentimiento como si se estuviera presente en el ambiente generado por ordenador (Ma & Nickerson, 2006). En espacios multidimensionales podría ser posible experimentar dos o más tipos de presencia a la vez.

4.4.2 Usos de la Realidad Virtual

Uno de los principales campos de aplicación de la RV, principalmente dentro del mercado de consumo, es el campo del entretenimiento. El área de juegos informáticos adaptó la RV de forma temprana. Esto parece obvio, ya que los juegos de ordenador ya se están manipulando en un mundo virtual y, lo que faltaba, era el carácter inmersivo.

Los operadores turísticos han mostrado interés en las posibilidades que ofrecen los entornos virtuales. La moderna tecnología de la realidad virtual ofrece una amplia gama de posibilidades para los vendedores de ocio, permitiendo la creación de experiencias inmersivas en entornos virtuales.

La realidad virtual ofrece nuevas posibilidades y nuevos retos para la enseñanza y el aprendizaje. Para los estudiantes de matemáticas elementales, se ha sugerido que la realidad virtual ofrece nuevas formas de representar los conceptos de aritmética en la forma de manipuladores de la realidad virtual. En psicología clínica, la RV se aplica cada vez más y ya ha demostrado su eficacia en el tratamiento de pacientes con trastorno de estrés postraumático (Difede, Cukor, Wyka, Olden, Hoffman, Lee & Altemus, 2014) o en el tratamiento de fobias específicas (Rothbaum, Hodges, Anderson, Price & Smith, 1995; Carlin, Hofman & Weghorst, 1997).

La empresa de entretenimiento *Madame Tussauds*, utilizando una combinación de realidad virtual, efectos interactivos en tiempo real y un equipamiento físico, está incorporando experiencias inmersivas en sus instalaciones. La última es *Ghostbusters: Dimension*, donde el usuario representa el papel de caza fantasmas de una forma totalmente inmersiva. Se han abierto este tipo de atracciones en Dubai, Nueva York y Lindon (Utah, EE.UU.).



Figura 51: Participantes en la experiencia equipados para la inmersión (derecha) y como son vistos (izquierda) en el mundo virtual. Fuente: The Void.

Estos parques temáticos (<https://ghostbusters.madametussauds.com/>) explotan lo que se denomina la *Hiper-Realidad*, donde los mundos digitales se asignan a espacios físicos con efectos interactivos en tiempo real añadidos. Los mundos físicos y digitales se combinan utilizando hardware propio que permite al usuario moverse naturalmente y sin problemas a través de la experiencia. En *Ghostbusters: Dimension*, los clientes son equipados con armas de “protones”, cascos, auriculares, para interactuar y relacionarse con el entorno físico a través de las lentes de un mundo digital. Esencialmente, es el mundo virtual mejorado con la realidad, donde se combina la realidad virtual con elementos del mundo real, como paredes, viento y efectos de agua. Los usuarios pueden deambular por las instalaciones, tocando cosas que se corresponden con mundos fantásticos que visualizan a través de un casco de realidad virtual y que pueden sentir mediante un juego de sensores incorporados.

Recientemente (abril, 2017) el parque temático Warner de Madrid, ha puesto en marcha la primera montaña rusa donde se integra la experiencia de realidad virtual, *Batman Arkham Asylum*, incorporando al recorrido las gafas Samsung Gear VR. Experiencias similares existen en el parque Alton Towers (Reino Unido) y en el parque Six Flags (EE.UU.).

Los dispositivos de realidad virtual nunca han llegado a ser plenamente aceptados por los usuarios debido a sus limitaciones técnicas. Con los actuales dispositivos RV, la percepción visual ha ido mejorando de forma incremental y ahora es posible entrar en mundos inmersivos que son vistos como creíbles. La Realidad Virtual (RV), debido a los medios necesarios para su percepción, puede causar molestias -más o menos intensas- y por tanto acortar la duración temporal de las experiencias y crear una aversión al uso posterior de estas tecnologías. Estas molestias pueden ser una barrera para la adopción de esta tecnología, así lo destacan Lee, Namkoong, Ku, Cho, Park, Choi, Kim, Kim y Jung (2008) indicando que su uso está restringido en escuelas y universidades. Los sistemas de visión y seguimiento de alta calidad, como el uso de dispositivos HWD (Head-Worn Display) pueden minimizar el desajuste entre la percepción visual del usuario del entorno sintético y la respuesta de su sistema vestibular, disminuyendo los inconvenientes para los usuarios cuando existe movimiento.

Se ha observado que disminuir el campo de visión tiende a disminuir el malestar creado por el movimiento, aunque a expensas de la percepción de la presencia. El cambio dinámico del campo de visión en respuesta al movimiento visualmente percibido permite abordar este problema (Ajoy, Fernández & Feiner, 2016).

El uso de la realidad mixta, en sentido amplio, en la capacitación y simulación permitirán desempeñar un papel principal en el desarrollo de entornos de entrenamiento y simulación, muchos de los cuales existen para ensayar escenarios críticos sin el riesgo de consecuencias, mediante la replicación de escenarios de mantenimiento peligroso en el mundo real, como centrales nucleares, en el espacio.

4.4.3 Dispositivos para RV

Google Cardboard son unas gafas de realidad virtual plegables con lentes de plástico que fueron introducidas en 2014, el modelo de inserción de dispositivos móviles en las gafas popularizó el uso de estos visores. Este movimiento trajo una experiencia disponible, simple económica e inmersiva en muchos más lugares. Partiendo de este concepto existen en el mercado cientos de modelos de bajo coste que emulan este sistema.



Figura 52: Google Cardboard. Fuente: <https://vr.google.com/cardboard/>

Por su parte, Samsung presentó Milk VR, actualmente Samsung VR, un sistema de distribución de contenidos optimizado para su casco *Gear VR*. El sistema de Samsung presenta alta disponibilidad de contenidos. *Samsung* y *Oculus Rift* partieron con ventaja en esta carrera hacia la conquista de la realidad virtual, otra empresa, *3DHead* (2014) presentó su propio casco. La versión para consumidores se puede usar con juegos actuales, tanto de ordenadores personales como de consolas, convirtiéndolo en una tecnología aplicable ya disponible.




Figura 53: Dispositivo 3DHead. Fuente: <http://www.beverlyhills3d.com/>

Todos estos sistemas nos permitirán estar en un mundo virtual, aunque el *Virtuix Omni* (Figura 54) está diseñado para ofrecer movilidad dentro de los espacios virtuales. Utiliza una plataforma que permite desplazarse de una manera suave, el sistema se complementa con diferentes accesorios, como arneses o zapatos.



Figura 54: Virtuix Omni. Fuente: <http://www.virtuix.com/products/>

En la *Tabla 2* se hace un resumen de los dispositivos actuales más populares para el uso de la realidad virtual.

	Marca/Modelo	Resolución por ojo	Frecuencia de actualización (Hz)	Campo Visual Horizontal (FOV)
	HTC Vive	1080 × 1200	90	110
	Oculus Rift	1080 × 1200	90	100
	ImmersiON-VRRelia PRO G1	1080 × 1920	60	123
	FOVE	1280 × 1440	90	100
	GameFace	1280 × 1440	75	140
	Light & Shadows Neo	1280 × 1440	60	115
	Samsung Gear VR	1280 × 1440	60	96
	Sulon Q	1280 × 1440	90	110









	Marca/Modelo	Resolución por ojo	Frecuencia de actualización (Hz)	Campo Visual Horizontal (FOV)
	Vrvana Totem	1280 × 1440	75	105
	PIMAX	1920 × 2160	60	110
	StarVR	2560 × 1440	90	210
	ANTVR	960 × 1080	N/A	100
	AuraVisor	960 × 1080	60	100
	GALAX VISION	960 × 1080	60	100
	OSVR	960 × 1080	120	90
	Sony PlayStation VR	960 × 1080	120	100

Tabla2: Dispositivos para RV más populares. Fuente: Adaptado de <https://www.futuremark.com/hardware/vr-headsets>

Las ventas de gafas para visualizar realidad virtual se están incrementando de una forma exponencial, durante el año 2016 se vendieron cerca de 90 millones de dispositivos en el mundo, 88 millones se correspondían con Google Cardboard.

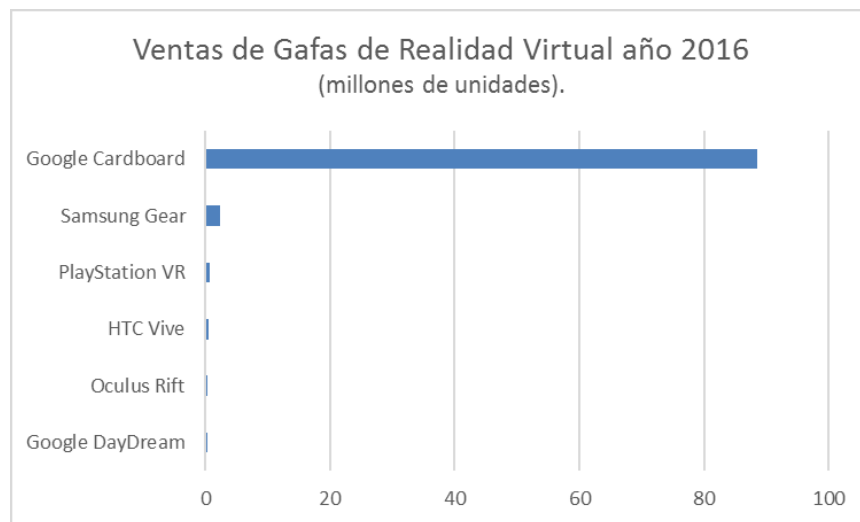


Figura 55: Ventas de gafas de RV (2016). Elaboración propia.

Fuente de los datos www.Superdataresearch.com

4.5 Tecnologías de la Realidad Mixta y Educación

Los entornos de Realidad Mixta (Realidad Aumentada, Virtualidad Aumentada) pueden convertirse en un potente recurso educativo siempre que se use desde una aproximación multidisciplinar que combine diferentes áreas del saber (Billinghurst et al., 2008), destacamos las siguientes ventajas:

- Ofrecen un entorno y una situación controlable, con respuestas predecibles.
- Presentan una estimulación multisensorial.

- Su capacidad de motivación y refuerzo es muy alta, favoreciendo la atención del usuario y disminuyendo la frustración ante los errores.
- Favorecen o posibilitan el trabajo autónomo y el desarrollo de las capacidades de autocontrol.
- Son flexibles, adaptándolos a las características de cada individuo, favoreciendo diferentes contextos de aprendizaje diferentes.
- Incrementan o mejoran las habilidades de comunicación (expresiva y receptiva).
- Mejoran las habilidades motoras finas y de coordinación (Jordan, 2005).
- Mejoran la interacción social y las habilidades académicas.
- Realizando pequeñas modificaciones sobre los mismos escenarios nos permite reducir la rigidez de diferentes entornos y aumentar la generalización (Parsons & Mitchel, 2002).
- Los errores cometidos no suponen accidentes ni daños, que podrían darse en la vida real.

La realidad mixta está siendo utilizada por los educadores para proporcionar a los estudiantes experiencias de aprendizaje predefinidas, que no se pueden modificar. Esto puede conducir a la situación en la que usando la realidad mixta sólo se desarrollarán habilidades de pensamiento de orden inferior (de la taxonomía de Bloom) apoyando la comprensión y la aplicación, sin promover otras habilidades como el análisis, la evaluación y la creación.

Una alternativa a esto es hacer que los estudiantes se conviertan en diseñadores de estos sistemas. Para facilitar este *aprendizaje por diseño*, Neville (2010) propone que los profesores necesitan tener un profundo conocimiento del área temática y la capacidad de fomentar un ambiente de aprendizaje colaborativo. También es clave el deseo y la capacidad de elegir

entre una amplia gama de enfoques pedagógicos para permitir que el aprendizaje de los estudiantes cambie de formas experienciales a más conceptuales y analíticas (Neville, 2010).

A la hora de medir el nivel de aprendizaje obtenido los docentes se suelen apoyar en la taxonomía cognitiva de Bloom (1956), y la taxonomía revisada de Bloom (Anderson & Krathwhol, 2001).



Figura 56: Taxonomía de Bloom comparada con la Taxonomía Revisada.

<http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomDigital>

Cada una de las categorías tiene un número de verbos clave asociados a ella. Pero que, a día de hoy, no atienden los nuevos objetivos, procesos y acciones necesarios para el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación, de esta necesidad de adaptación surge esta *Taxonomía de Bloom para la era digital*.

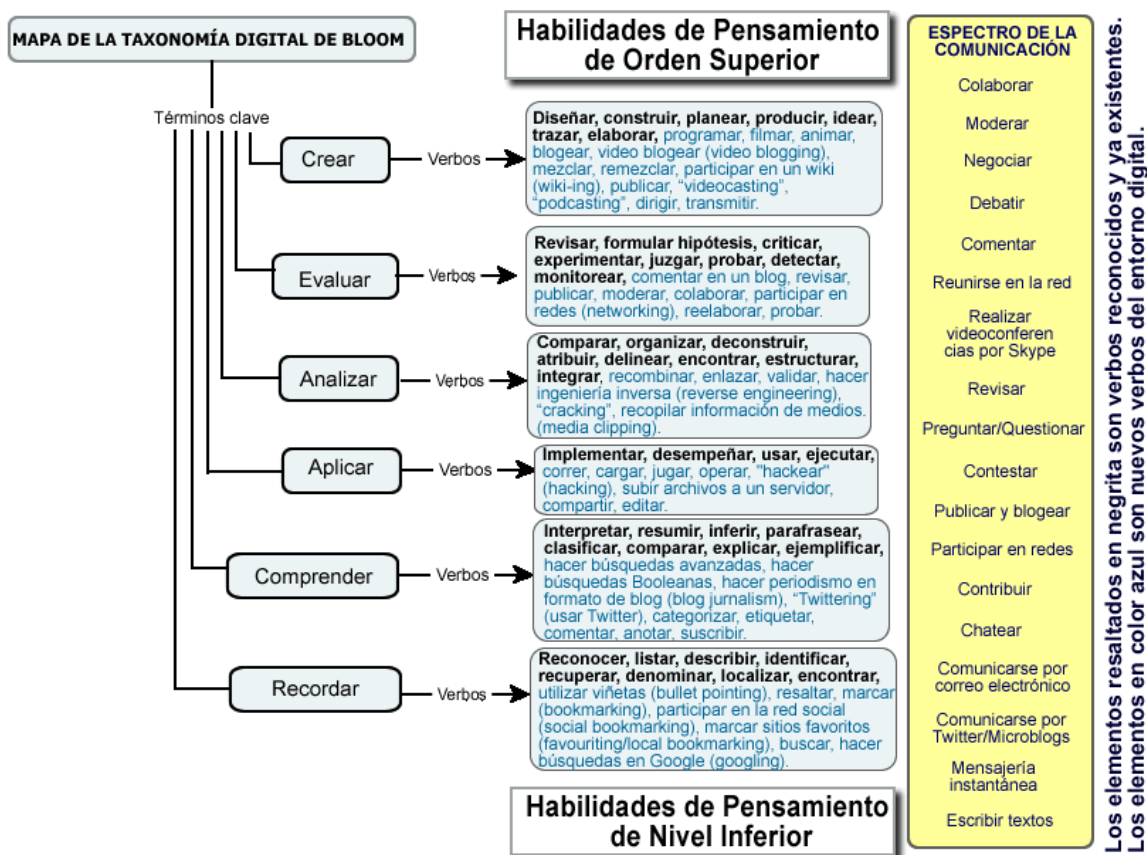


Figura 57: Taxonomía de Bloom para la era digital.

<http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomDigital>

La realidad virtual y la realidad aumentada permiten alcanzar los niveles más elevados de esta taxonomía (De Antonio, Villalobos & Luna, 2000), especialmente en los niveles correspondientes a los de *Análisis*, *Síntesis* y *Evaluación*. Una parte importante en todo el proceso de aprendizaje con las tecnologías en la realidad mixta es el de evaluación de las plataformas de RA y RV. Mediante una evaluación adecuada se pueden corregir problemas y mejorar las características inherentes de sus respectivos diseños. No hay a día de hoy un único método probado para la evaluación específica de los sistemas de RA y RV en el ámbito educativo, aún no se han

establecido una sistemática para la evaluación. Hay algunas experiencias de evaluación pedagógica de sistemas RA creados específicamente para enseñanza y aprendizaje. La metodología de evaluación cualitativa se ha utilizado en el proyecto *Connect* (2004) que fue desarrollado para valorar el impacto del aprendizaje mediante la realidad aumentada, este método estuvo enfocado en conseguir las evidencias de la efectividad de integrar métodos informales de aprendizaje en las actividades curriculares. Totter y Grote (2005) han evaluado la plataforma de aprendizaje basada en realidad aumentada y mixta Lab@Future (<http://www.labfuture.net/>) que soporta un marco pedagógico derivado del constructivismo, la teoría de la actividad y la teoría de la expansión del aprendizaje.

Se utiliza la evaluación formativa para el análisis de las acciones de enseñanza. Aunque se han propuesto otras formas de evaluación, más basadas en tecnología que en aspectos pedagógicos, destacaré el *Modelo Cibernético para la Evaluación de Entornos Virtuales* (Cybernetic Model for evaluating Virtual Learning Environments), que Britain y Liber (1998) han demostrado como este modelo puede ser adaptado para su uso en contextos educativos, independientemente de cómo se evalúe no es siempre evidente como los usuarios perciben e interpretan un estímulo físico y como son asociados a las experiencias reales. A causa de la riqueza de interacciones que producen gran variabilidad en las respuestas, y que no siempre se pueden anticipar (Hornecker & Dünser, 2009), es necesario un proceso iterativo de diseño, con diferentes ciclos e ir incorporando las mejoras de forma incremental.

El *Modelo de Aceptación de la Tecnología* (TAM) se ha utilizado con éxito para evaluar cómo los usuarios perciben las nuevas tecnologías y cómo éstas pueden afectar el comportamiento del consumidor (Bogdanovych,

2007). Con el advenimiento de servicios de realidad aumentada comercialmente viables y entornos de realidad virtual, se ha demostrado que el *Modelo de Aceptación de Tecnología* es útil para explicar la aceptación de nuevas tecnologías de la información y las posibilidades que estos servicios ofrecen (Cranmer, Jung, Dieck & Miller, 2016). La percepción de la utilidad y facilidad de uso, son elementos clave que inducen a la aceptación por el usuario a utilizar estas tecnologías de la realidad aumentada o virtual en teléfonos móviles o tabletas, que gracias a estas cualidades pueden aplicarse en el mundo educativo.

4.5.1 Realidad Aumentada en Educación

El mundo académico ha empezado a introducir la tecnología de la Realidad aumentada en algunas de sus disciplinas. Sin embargo, el conocimiento y la aplicabilidad de esta tecnología en la docencia todavía es mínima a día de hoy, entre otros motivos su escasa presencia en los ámbitos cotidianos de la sociedad. La mayoría de los desarrollos basados en RA han estado dirigidos a la exploración de esta tecnología, por lo tanto, la investigación ha estado, y aún está, enfocada principalmente en cómo solucionar problemas de diseño y funcionamiento. Pioneros en el uso de esta tecnología han sido actividades como exposiciones en museos (Allard Pierson Museum, en Holanda), parques de atracciones (Futuroscope, en Francia), efectos especiales en películas (StarWars) y videojuegos (Invizimals y EyePet de Sony Corporation).

A finales de los años noventa fueron desarrolladas las primeras librerías realmente útiles de RA, *ARToolkit* (Augmented Reality Toolkit), de Kato y Billinghurst (1999-2001). Gracias a esto pudo ser desarrollado uno de

los proyectos pioneros en la aplicación educativa de la RA, el *libro mágico o aumentado* (MagicBook), por Billinghurst y sus colaboradores del laboratorio de Interacción Humana con la Tecnología (HiTLab) de la Universidad de Canterbury (Nueva Zelanda), de forma experimental en el año 2001. Su prototipo introdujo muchas contribuciones generales al modelo de uso de esta tecnología. La esencia del proyecto consistía en un libro aumentado con contenidos en 3D animados. El modelo de libro aumentado propuesto se ha venido utilizando sin grandes cambios hasta el día de hoy, pero no se ha avanzado significativamente en su aplicación en el campo educativo. Grandes compañías como la *British Broadcasting Corporation* (BBC) han evaluado el uso de libros aumentados con niños en edad temprana de aprendizaje (5-7 años) en su proyecto AR-Jam (2006), mientras y de forma paralela los estudios del *HITLab* se enfocaron en este proceso fuera de las aulas. La realidad aumentada provee además de una oportunidad para integrar secuencias interactivas en libros (Hornecker & Dünser, 2007; Hornecker & Dünser, 2009). Recientes estudios indican que las propiedades tangibles de este sistema pueden proveer nuevos caminos y formas de interacción, introduciendo el juego como medio de aprendizaje colaborativo.

El desarrollo de aplicaciones interactivas que tratan conocimientos específicos del currículo escolar se está planteando en la actualidad, debido a que la interacción posee un gran potencial para promover el aprendizaje de conceptos e ideas abstractos. Se han diseñado sistemas para el aprendizaje de compuestos químicos (Price, Rogers, Scaife, Stanton & Neale, 2003), donde mediante la manipulación interactiva de marcadores se pueden construir complicadas moléculas o visualizar la estructura cristalina de los compuestos. La realidad aumentada se ha utilizado para desarrollar la comprensión de los estudiantes en diferentes ramas de las ciencias, incluyendo las ciencias ambientales (Hsiao, Chen & Huang, 2011; Squire &

Klopfer, 2007), la microbiología (Chen, 2006) y la ciencia biomédica (Rasimah, Ahmad & Zaman, 2011). La realidad aumentada se ha utilizado para permitir a los estudiantes estudiar el ciclo de vida virtual de las mariposas (Tarnng & Ou, 2012).

Debido al potencial didáctico de esta tecnología se ha empleado en diferentes exposiciones en museos e instituciones, así, el Museo de San Telmo, ubicado en San Sebastián (2006), realizó una experiencia piloto para mostrar el pasado histórico y cultural de la capital donostiarra. En el Centro Universitario La Salle de Madrid en 2014 se realizó la exposición *Algo pasa en el Museo* con contenidos pictóricos aumentados. En 2015 se realizó una exposición en Tres Cantos (Madrid) de la escultora y diseñadora Ana Hernando, dónde se incorporaban contenidos aumentados a los catálogos de la exposición (vídeos, objetos 3D).

El Grupo Multimedia de la UPV/EHU (Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea) investigó el desarrollo de asistentes personales móviles, usándolos a modo de guía turística en entornos históricos y en ramas como ingeniería mecánica fue usado como asistente para la teleformación. Otros desarrollos que se han utilizado de forma pionera corresponden al aprendizaje del cuerpo humano y de diferentes fenómenos físicos, como la ley de Newton mediante la simulación de cuerpos rígidos (Buchanan, Seichter, Billinghamst & Grasset, 2008). Las simulaciones basadas en escenarios como *Alien Contact!* se han utilizado para desarrollar habilidades matemáticas (Dunleavy, Dede & Mitchell, 2009; Mitchell, 2011). El uso de la realidad aumentada en el aprendizaje de humanidades ha llevado a proporcionar experiencias literarias más atractivas para el público (Billinghamst, et al., 2001) y ha participado grandemente en el desarrollo de la poesía visual (Lin, 2012).

Se ha demostrado en repetidas ocasiones que el uso de la realidad aumentada en el aula aumenta la motivación estudiantil (Billinghurst & Duenser, 2012; García, 2013; Johnson, et al., 2010; Tarng & Ou, 2012). Estudios recientes (García Cabezas, 2013), nos muestran que tanto los profesores como los alumnos tienen una gran motivación y estos muestran una mayor atención en las explicaciones si se utilizan tecnologías como la realidad aumentada. Es importante destacar que también se ha demostrado que contribuye a los resultados de aprendizaje de los estudiantes (Jerry & Aaron, 2010; Lee, 2012; Rasimah, et al., 2011; Tarng & Ou, 2012).

La utilidad de estos sistemas en educación es debido a sus características de autonomía, presencia e interacción que facilitan la comprensión de las diferentes materias. La RA permite a los alumnos explorar la información a su propio ritmo. Los estudiantes interactúan con objetos virtuales en un entorno real aumentado y desarrollan el aprendizaje mediante la experimentación (Basogain, Olabe, M., Espinosa, Rouèche & Olabe, J., 2007), el uso de RA en entornos educativos está en línea con importantes paradigmas de aprendizaje, como el constructivismo. Cabero (2014) destaca la realidad aumentada como una de las tecnologías que hay que analizar por su potencial educativo.

En el ámbito europeo se han estado realizando diferentes proyectos innovadores que integran esta tecnología para ser utilizadas en educación. Algunos proyectos pioneros destacables son *Connect* (<http://www.ea.gr/ep/connect>) y *ARiSE* (<http://www.arise-project.org>). *Connect* es un proyecto en el que participan varios países, entre ellos Alemania, Grecia, Israel o Reino Unido y en el que se experimentan con plataformas RA para demostrar diversas facetas del conocimiento científico,

derivado de los sistemas de exposición de los museos utiliza una plataforma basada en *ARToolkit*. El principal objetivo del proyecto *ARiSE* (Augmented Reality for School Environments) es probar en las escuelas la eficacia pedagógica al introducir RA, así entre los objetivos del proyecto se pueden destacar la adaptación de esta tecnología para necesidades específicas de la escuela, desarrollo de herramientas fáciles de usar para los profesores o la generalización de un modelo de usabilidad. Bajo el proyecto *ARiSE* se pretende crear las bases de una plataforma de enseñanza denominada *ARTP* (Augmented Reality Teaching Platform) mediante la adaptación de las diferentes tecnologías de la realidad aumentada utilizadas en museos y otros entornos adaptándolo específicamente para las necesidades de los alumnos de primaria y secundaria. El aspecto de *ARTP* está condicionado por el entorno colaborativo de trabajo, sin embargo, debido a su tamaño, costes del equipo y del espacio necesario para su utilización resulta poco práctico en los entornos escolares actuales.

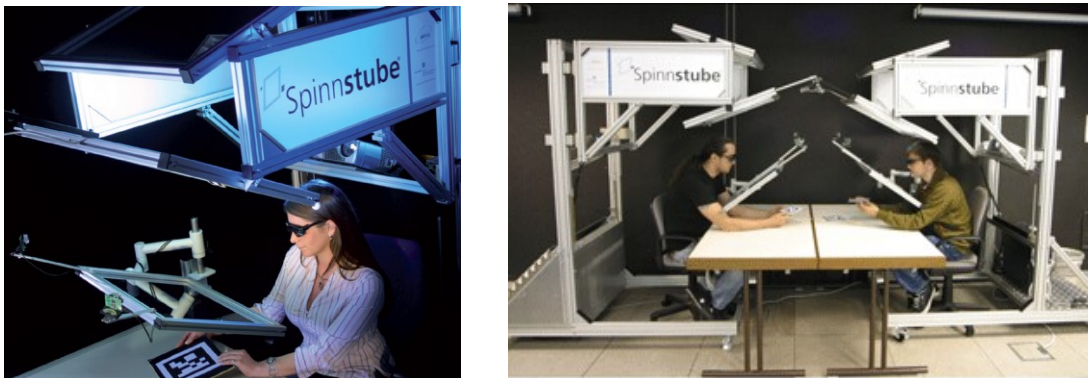


Figura 58: Plataforma de aprendizaje *ARTP* del proyecto *ARiSE*

En los informes de este proyecto se indica también de forma somera que la tecnología RA podría ser útil para la enseñanza en entornos de necesidades especiales, pero no se incluye ninguna evidencia que lo

sustente, en contraste el aspecto imponente de la plataforma probablemente sea una restricción para el uso del mismo por las personas con diferentes tipos de discapacidad intelectual.

Rovelo Ruiz (2012), en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) aplicó técnicas de realidad aumentada para la enseñanza de la Geometría, para facilitar la visualización y manipulación de objetos virtuales en el estudio de conceptos geométricos. Guzmán (2011) aplicó la realidad aumentada para diferentes conceptos en cálculo vectorial, como ayuda a la enseñanza de conceptos matemáticos *visio-espaciales*. La Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, de la *UPV/EHU*, aplica la realidad aumentada en laboratorios de algunas asignaturas, permitiendo a los alumnos simular, interactuar y experimentar con diversos dispositivos electrónicos o mecánicos reales, circuitos electrónicos, modelos a escala, o motores entre otros elementos. Por último, el sistema *Construct3D* (Kaufmann, 2004), fue diseñado para el aprendizaje de las matemáticas y la geometría.

No son pocos los informes y estudios que citan la realidad aumentada como una de las tecnologías emergentes que hay que tener en cuenta en un futuro cercano, *The NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition* (Johnson, Adams Becker, Cummins, Estrada, Freeman & Hall, 2016) sitúan la RA, junto con la RV, entre las tendencias que prometen tener un gran impacto en educación, mientras que en el informe de 2017 (Adams Becker, Cummins, Davis, Freeman, Hall & Ananthanarayanan, 2017) se citan la realidad mixta y la realidad virtual, siendo la realidad aumentada incluida entre las tendencias de los sistemas de visualización. También en las versiones de este informe equivalentes a niveles de bachillerato, *The 2017 Horizon Report K-12 (preview)* se cita la realidad virtual como una tecnología a adoptar en las aulas

con plazos de entre dos y tres años (<https://cdn.nmc.org/media/2017-nmc-cosn-horizon-report-k12-preview.pdf>).

4.5.2 Realidad Virtual en Educación

Se han referido por diversos autores la ventaja de utilizar RV para el aprendizaje, así en épocas tempranas del desarrollo de esta tecnología García Ruiz (1998), indica que a partir de los experimentos de Sherman y Judkins (1994), en la Universidad de Washington, los estudiantes *"pueden aprender de manera más rápida y asimilar información de una manera más consistente que por medio del uso de herramientas de enseñanza tradicionales (pizarra, libros, etc.), ya que utilizan casi todos sus sentidos. Los estudiantes no sólo pueden leer textos y ver imágenes dentro de un casco de realidad virtual, sino que, además, pueden escuchar narraciones, efectos de sonido y música relacionados con el tema que están aprendiendo. Por medio del uso de los guantes de datos, los estudiantes pueden sentir la textura, dimensiones e inclusive la temperatura de objetos virtuales que existen dentro del mundo virtual"*.

Numerosos estudios de la aplicación de este tipo de tecnología a la enseñanza están basados en la teoría de que los conocimientos se aprenden y retienen mejor cuando se experimentan directamente, aprendiendo de nuestras experiencias de forma natural, y de forma implícita al no ser conscientes de estar aprendiendo. De esta forma, las interacciones en entornos de aprendizaje de realidad virtual permiten a los estudiantes construir conocimiento a partir de experiencias directas, no a partir de la descripción de la experiencia, y esto satisface la teoría constructivista de Piaget (1972). Del mismo modo, Doolittle (1999) definió el constructivismo como una teoría de la adquisición del conocimiento, no como una teoría de la pedagogía.

De los estudios que han ligado el estudio de la memoria cotidiana o de la memoria prospectiva con la realidad virtual, se citan tres aspectos positivos que aporta dicho procedimiento:

- Presencia, el usuario se ve a sí mismo interactuando en el entorno, de manera muy parecida a como lo haría en la vida real.
- La realidad virtual proporciona un entorno seguro en el que se pueden evitar situaciones imprevistas, ajenas a la evaluación, que puedan interferir negativamente.
- Las tareas son realizadas sin esfuerzo físico y, por tanto, tiene escasa influencia el posible déficit motor.

En definitiva, podemos concluir diciendo que la realidad virtual es una tecnología que se puede aplicar al ámbito de la formación al permitir al alumno sumergirse en procesos de estudio inaccesibles en los métodos tradicionales. Contando con el valor añadido de fomentar el interés y la motivación por aprender al estar haciéndolo de una manera interactiva en lugar de estar aprendiendo pasivamente.

4.6 La Realidad Mixta como apoyo a la discapacidad

Los servicios basados en realidad mixta, mediante la visualización conjunta de elementos virtuales y reales permite una concepción visual del mundo nueva, que puede ser entendida más fácilmente por las personas con ciertas discapacidades psíquicas y sensoriales. Pero no sólo tenemos en

cuenta la concepción visual del entorno, también es posible introducir instrucciones mediante audio, incluso en diferentes idiomas, por lo que también puede poseer ventajas para estos colectivos.

Desde el punto de vista del uso de las tecnologías de la información y de la comunicación, y en particular de las tecnologías de la RM, con las personas con discapacidad intelectual, o disminuida, cualquier investigación para el uso de la aplicación de estas tecnologías en este ámbito debe responder a las necesidades de estas personas y donde, de una forma racional, los medios que utilicemos se deben adaptar a las necesidades de los receptores de la comunicación (Cabero, 2000). La mayoría de las veces cuando hablamos de enseñanza, sobre todo si va dirigido a personas con discapacidad intelectual, no nos estamos refiriendo a un aprendizaje estrictamente dirigido a las materias curriculares, más bien se incluye una mezcla de currículo, habilidades de lecto-escritura y del desarrollo de las facetas necesarias para aumentar las formas de interacción social (comunicación). También Cabero (2014) apunta como línea de investigación de las TIC su uso para personas con necesidades educativas especiales.

La complejidad de la interacción social mostrada por estas personas puede interferir en los procesos de enseñanza y aprendizaje, pudiendo ser la relación con otra persona (instructor, profesor) un método tan disruptivo que puede convertirse en una barrera insalvable para hacer posible el aprendizaje. Así, por ejemplo, las personas con trastornos del espectro autista (TEA) responden bien a estructuras explícitas, con expectativas consistentes, bien secuenciadas. Desde épocas tempranas se usa la informática para ayudar a las terapias en el desarrollo del lenguaje de chicos con autismo (Colby, 1968). La respuesta de los chicos con autismo a estímulos ambientales se incrementa cuando los eventos son más predecibles (Ferrara & Hill, 1980; Reed, 1994). Con un modelo adecuado de

estímulo-respuesta, las dificultades en la interacción social pueden ser más fáciles de aprender usando computadores, resultando ser un modelo adecuado, consistente y predecible (Yamamoto & Miya, 1999). Señala Strickland (1997) el éxito en la aplicación de entornos de realidad virtual trabajando con personas con autismo en investigaciones llevadas a cabo en la Universidad de Nottingham (UK). Loftin, Engelberg & Benedetti (1993) argumentan que los educadores generalmente están de acuerdo que la experiencia es el mejor profesor. Sin embargo, en la realidad a los estudiantes raramente se les da la oportunidad de experimentar lo que han aprendido. Con la incorporación de elementos multimedia se pueden aumentar las experiencias de lectura y de aprendizaje en general. El uso de estas tecnologías, en sentido amplio, para enseñar conductas no es nuevo, así Goleman (1999), basado en su teoría de inteligencia emocional sugiere utilizar en la educación juegos pedagógicos basados en el ordenador. Las ventajas de la enseñanza asistida por ordenador han sido reportadas en múltiples estudios, tanto para el autismo, como para otros síndromes que también se presentan con déficit de atención (Plienis & Romanczyk, 1985; Chen & Bernard-Opitz, 1993); proporcionando a las personas con TEA la flexibilidad necesaria para utilizar sus fortalezas y acomodar los déficits de procesamiento de información (LoPresti, Mihailidis & Kirsch, 2004).

Los intentos para enseñar un comportamiento social adecuado se basan en aprendizaje conductual o basados en la *Teoría de la mente*, definimos la teoría de la mente como la incapacidad para predecir y explicar la conducta de otros seres humanos en términos de su estado mental (Baron-Cohen, Leslie & Frith, 1985, 1986). Ambos paradigmas se ven beneficiados del uso de la realidad virtual, estas tecnologías son una herramienta ideal (Parsons & Mitchel, 2002) al actuar en un entorno simulado, promoviendo de forma flexible el aprendizaje en diferentes sitios y con diferentes situaciones.

La RA soporta bien la aumentación auditiva, la aumentación visual y la aumentación táctil (Billinghurst, Dünser & Grasset, 2008). Otras de las razones para el uso de la RA es que existe gran cantidad de interfaces que permiten el uso de este sistema tanto en interiores como en exteriores (Höllerer et al., 1999) y que son fácilmente adaptables a cualquier entorno.

Se ha argumentado tradicionalmente que el uso de estas tecnologías, sobre todo de la realidad virtual, con personas con discapacidad era problemático debido al uso de los dispositivos necesarios para su visualización e interacción: cascos con cámaras, gafas especiales, guantes electrónicos, etc., que por lo general no son bien tolerados debido a las características propias de estas personas. Para rebatir esta argumentación es suficiente indicar que con cualquier computador equipado con una cámara integrada, un dispositivo móvil con cámara (los denominados teléfonos inteligentes principalmente) y otros dispositivos revisados en este capítulo (gafas de RA, de RM o lentillas) estos problemas se pueden minimizar. Estos dispositivos nos permitirán centrarnos en la interacción y el aprendizaje, abriéndose nuevas fronteras para estas personas.

De esta forma muchas personas con discapacidad que utilizan la comunicación aumentativa y alternativa, que suelen presentar ausencia de habla o tienen dificultades para la expresión verbal, podrán utilizar la RA, la RV y la computación ubicua como una alternativa eficiente a los sistemas actuales.

4.7 Síntesis del Capítulo

Existen diversidad de conceptualizaciones en lo que se refiere al continuo de la Realidad-Virtualidad. Los usos actuales de la realidad aumentada y virtual van en aumento, mientras que los mercados se están inundando de dispositivos para la visualización de estas tecnologías, pero mayoritariamente enfocados a las áreas industriales.

La realización de experiencias educativas en realidad mixta puede proporcionar gran motivación a los estudiantes, experimentar las nuevas tecnologías en primera persona o con formatos reales aumentados, fomentan la participación activa. Son métodos alternativos para la presentación de materiales, permiten a personas con deficiencias físicas o psíquicas participar en un entorno de aprendizaje cuando no es posible que puedan hacerlo de otra manera. También los usos de estas tecnologías sobrepasan las barreras lingüísticas, y permiten explorar eventos no disponibles por otros medios, tales como escenas históricas, reconstrucciones arqueológicas, viajes de ciencia ficción o reales.

Capítulo 5

Método de investigación

5.1 Objetivos

No existen reglas específicas para identificar problemas de investigación. El problema de investigación adquiere distintos sentidos según sea la finalidad que persiga el investigador. En este contexto, esta investigación no ha sido planteada como una *dificultad* u *obstáculo* que desconcierta a los investigadores y que hay que solucionar de una forma urgente, si no como respuesta a una situación que considero que tiene un recorrido de mejora o que permitirá introducir cambios incrementales en el mundo de la educación.

Entre los muchos factores que pueden ser considerados y que inciden en la investigación, se encuentra el de la originalidad del problema y que, por tanto, al ser original y nuevo, no se tenga una contestación al mismo. En un

mundo de conocimiento, el problema debe ser *Real*, lo que llevará a analizar e investigar si es un problema nuevo. Si el problema no es nuevo y ha sido contestado anteriormente, puede ser necesaria una revisión. En lo que respecta a esta investigación el problema es *Real*, ya que no existen estudios comparativos múltiples de estas tecnologías. Sí existen, numerosos estudios sobre realidad aumentada o realidad virtual en educación.

Por otra parte, si este problema es nuevo tenemos que plantearnos si tiene solución y si posible alcanzarla con los medios disponibles de los que disponemos o podemos conseguir (*Resoluble*), lo que nos lleva a especificar y diseñar cómo vamos a plantear la investigación, dónde se va a realizar -si es necesario disponer de lugares complementarios o alternativos a los que se dispone- y el cuándo de la investigación, momento temporal que abarca el plazo de la investigación y realización de la tesis. En esta investigación los factores del cómo y dónde fueron resueltos gracias a la colaboración de diferentes entidades, el cuándo fue planificado dependiendo de la disponibilidad temporal de los participantes y colaboradores.

La importancia del problema y sus ramificaciones es otro factor a tener en cuenta. Es el problema relevante para la comunidad, en este caso la educativa y ¿es el problema *Factible?*, el equipo que va a realizar la investigación es competente y conoce el campo de investigación, ¿puede interpretar los resultados de una forma coherente? Se tiene tiempo y recursos humanos y económicos. La respuesta a esta pregunta es positiva, y, gracias a diferentes colaboraciones, tanto de los centros como de proveedores de dispositivos móviles ha sido posible realizar esta investigación.

Es el problema que tratamos de investigar *Generador de conocimiento*: ¿Produciría la solución alguna diferencia en los que se refiere

a la teoría y la práctica de la gestión cultural? Y si la resolución del problema es *Generador de nuevos problemas*: ¿Va a abrir nuevos interrogantes en el campo de estudio? Una buena investigación no sólo contesta a una pregunta, sino que plantea nuevas cuestiones de cuyo estudio depende el avance de las ciencias sociales. Esta investigación, dadas sus características innovadoras, generará nuevos experimentos y nuevos interrogantes en el uso de estas tecnologías en educación.

Finalmente, es crucial que se delimite el tema de investigación, acotarlo y especificar el alcance de estos límites. Es decir, hasta donde se va a llegar con esta investigación. No se debe investigar un tema demasiado amplio que no podamos abarcar, ya que sería difícil abordarlo en un período de tiempo razonable y dependiendo del tema, se podrían necesitar recursos de los que no disponemos. La aclaración sobre el tiempo y el lugar de estudio permite tener una visión general sobre la validez y el grado de confianza que puede tener como resultado. Esto supone determinar el alcance y los límites del tema.

En los últimos tiempos hay una continua evolución de los dispositivos móviles y la forma en que son utilizados, esto ocurre en todos los entornos en los que podamos fijarnos. Como hemos revisado en anteriores capítulos, aunque la realidad aumentada y la realidad virtual no son tecnologías con poca historia, sí son dos de esas tecnologías que están incorporándose en diferentes ámbitos en una forma más lenta de lo esperado. Sin embargo, en los últimos cinco años la realidad aumentada ha mantenido una presencia discreta pero constante en ámbitos publicitarios y también en entornos educativos, así mismo en los últimos dos años el auge de la realidad virtual y la posibilidad de conjunción de los dispositivos móviles con dispositivos

económicos para su visualización están haciendo que cada vez sea más realista la incorporación de este tipo de tecnologías en el aula.

El uso o la intención de uso con nuevos modelos inmersivos de gafas de realidad aumentada y virtual, parece haberse disparado. No son pocos los estudios que versan sobre la incorporación de dispositivos móviles a las aulas, existiendo otros sobre el uso de realidad aumentada en este mismo ámbito o la inclusión de la realidad virtual. Son raros, por su complejidad, los estudios en los que se realicen análisis múltiples sobre las diferentes tecnologías en la realidad mixta (realidad aumentada y realidad virtual) en la escuela, y que además se esté contrastando con el método tradicional de aprendizaje. Este contraste múltiple puede proporcionar información muy valiosa acerca de cómo se pueden implementar estas herramientas en educación y descubrir la forma en que estas tecnologías son valoradas y utilizadas por los alumnos.

Parece razonable, pues, investigar la inclusión y adopción de estas alternativas digitales con dispositivos móviles frente a los modelos tradicionales de aprendizaje en la escuela. En esta tesis se investigan una serie de problemas no resueltos en el campo de la educación (incorporación de estas tecnologías en el currículo, qué usar, cómo usarlo, qué es más adecuado) combinando diferentes aproximaciones sobre las mismas temáticas a estudiar para producir una serie de aplicaciones modelo que sirvan como demostraciones y como punto de partida a estudios más amplios sobre esta temática.

Esta tesis hace una serie de contribuciones de investigación al estado actual del uso de la realidad mixta en educación, usando medios fácilmente adaptables a las escuelas, tanto de desempeño técnico como asequible,

entendiendo por tal los términos económicos para la adquisición de materiales similares a los utilizados.

Algunas de las contribuciones iniciales en esta tesis han requerido de una investigación previa para seleccionar los temas, el método para el desarrollo del software a utilizar en los experimentos, su integración con dispositivos móviles estándar y con gafas de realidad virtual populares.

Con estos antecedentes, damos paso al problema de investigación que consiste en describir y profundizar en el aporte proporcionado por experiencias de aprendizaje sobre diferentes tecnologías en la realidad mixta (realidad aumentada, realidad virtual y su mezcla) aplicados al aprendizaje en entornos de educación formal.

Esta investigación, sirve como un piloto para desarrollar sistemas más adecuados, simplificados, con mejor rendimiento y económicamente más accesibles para el uso de estas tecnologías en las aulas. Debe entenderse el uso de estas tecnologías en el aula no con carácter sustitutivo de los métodos tradicionales de aprendizaje, más bien deben identificarse como métodos y alternativas complementarias para una mejor eficacia didáctica.

En los experimentos, además de explorar las escenas, se decidió tanto por la complejidad, como por el tiempo requerido para las pruebas y entrenamiento de los participantes que la mayoría de las preguntas sobre los contenidos fueran referidas principalmente al aprendizaje espacial y matemático. Pretender responder a muchas preguntas en una corta experiencia se antoja realmente complicado. A los alumnos se les indicó que deberían rellenar un cuestionario post-actividad, pero no fueron explícitamente advertidos de que se haría una evaluación con enfoque

matemático, ya que se intentaba una aproximación natural al uso de estas tecnologías, sin condicionantes previos que pudiesen modificar en alguna forma la experiencia.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos derivados de la investigación se describen a continuación:

- Examinar las diferencias que puedan existir de rendimiento en el ámbito de las matemáticas, referido a la estimación de magnitudes - longitudes y áreas- y en el reconocimiento de figuras y cuerpos geométricos, en las actividades según el método utilizado.
- Exponer la motivación de los participantes hacia las actividades realizadas.
- Analizar la actitud de los alumnos hacia las tecnologías utilizadas en los experimentos.
- Evaluar la facilidad de uso percibida de los diferentes sistemas.
- Cuantificar la utilidad percibida de los diferentes sistemas.
- Explorar la idoneidad de estos sistemas para su uso en las aulas.
- Valorar la intención de uso futuro en las aulas de estas tecnologías por los participantes.

Hipótesis de partida

Según Medina et al. (2015) *“una hipótesis es una proposición no demostrada, cuyo análisis puede llevar a una conclusión lógica, es una parte de cualquier investigación, una explicación razonable sobre el tema a tratar, que debe ser sometida a comprobación empírica, mediante la correspondiente recogida de información y de datos”*.

En esta investigación los alumnos realizan cuatro tipos de actividades diferentes, los mismos contenidos fueron adaptados a diferentes tecnologías. Se trata de averiguar si el promedio de rendimiento de los alumnos es independiente del medio utilizado y examinar las diferencias que puedan existir de rendimiento académico según el método utilizado. La formulación de la hipótesis de partida es la siguiente:

- *H₀: No existen diferencias estadísticamente significativas en la evaluación desempeñada en las actividades realizadas de acuerdo con el sistema empleado.*

- *H_a: Existen diferencias estadísticamente significativas al menos en dos grupos en la evaluación desempeñada en las actividades de acuerdo con el sistema empleado.*

Hipótesis derivada

Además de la hipótesis de partida se tratará otra hipótesis específica derivada de la investigación:

Los alumnos usando tecnologías en la realidad mixta son capaces de hacer estimaciones más precisas sobre diferentes magnitudes físicas (longitudes, áreas) y en el reconocimiento de figuras y cuerpos geométricos que los que usan métodos tradicionales.

- *H₀: No existen diferencias estadísticamente significativas en el desempeño matemático en la evaluación (comprende estimación de magnitudes físicas -longitudes, superficies-, figuras y cuerpos geométricos) de acuerdo con el sistema empleado.*
- *H_a: existen diferencias estadísticamente significativas en el desempeño matemático en la evaluación (comprende estimación de magnitudes físicas -longitudes, superficies-, figuras y cuerpos geométricos) de acuerdo con el sistema empleado*

Además de las hipótesis citadas, la principal y la derivada de esta investigación, basadas mayoritariamente en el enfoque cuantitativo, se exploran en esta tesis diferentes características de importancia o aclaratorias para este y otros posibles estudios, se analizarán las siguientes proposiciones desde un punto de vista descriptivo:

- ¿Existen diferencias de motivación en los alumnos según las actividades realizadas?
- ¿Existen diferencias en la actitud de los alumnos hacia las tecnologías utilizadas en los experimentos?
- ¿Existen diferencias en la percepción del alumnado con respecto a la facilidad de uso y utilidad entre las diferentes actividades?

- ¿Hasta qué punto los alumnos piensan que estas tecnologías son adecuadas para su uso en las aulas? ¿Están dispuestos a usar estas tecnologías en un futuro en sus clases?
- ¿Cuentan con experiencias previas en el uso de estas tecnologías y los dispositivos de visualización? ¿Cómo usan los dispositivos móviles?
- ¿Cuáles son los factores positivos y negativos derivados del uso de estas tecnologías en las aulas? ¿En qué forma influyeron en la intervención?

5.2 Diseño de la Investigación

Dannels (2010), señala que el pilar básico de la investigación es el diseño, el plan que forma la estructura para la integración de todos los elementos de un estudio empírico de forma que los resultados sean creíbles, libres de sesgo y generalizables. El diseño se encarga de aspectos tan importantes para el proceso de investigación como asignación de los participantes, control de variables o calidad en la aplicación del diseño. Según Taylor y Bogdan (1986) el trabajo de campo en la investigación incluye ciertas premisas que deben ser cumplidas, entre ellas, que la interacción debe ser no intrusiva para conseguir que los informantes estén cómodos y que nos acepten en su ámbito, y determinar de forma clara las estrategias y técnicas que utilizaremos para la obtención de los datos.

Citando literalmente a Pereira (2011): “Investigar es un proceso inherente a la vida misma; no obstante, la investigación en educación conlleva, además de un interés y una necesidad, una búsqueda para la

profundización y comprensión de los fenómenos educativos, más allá de lo meramente evidente”. Dadas las características de las intervenciones realizadas en el aula mediante los diferentes métodos (RA, RV, RM), así como de los objetivos de investigación anteriormente propuestos, el diseño metodológico más adecuado para elaborar los resultados y conclusiones que se proponen en este trabajo es aquel que combina tanto el enfoque cuantitativo como el cualitativo. Es decir, el diseño mixto de investigación, que nos ayudará a la comprensión más allá de lo evidenciado por los datos cuantitativos de la investigación. También se valoraron otro tipo de diseños, como el puramente experimental o el cuasi-experimental, pero finalmente la opción que se ajustaba mejor a nuestras necesidades de investigación fue el diseño de modelo mixto.

Los diseños mixtos en el campo de la educación son una estrategia de investigación mediante la cual un mismo objeto de estudio pedagógico es abordado desde diferentes perspectivas de contraste, donde es posible corroborar o comparar datos, teorías, contextos o instrumentos. Si bien es más general el uso de un diseño mixto secuencial en la recogida de datos, en esta investigación se ha utilizado el diseño mixto incrustado, este diseño implica que se recogen y analizan al mismo tiempo los datos cuantitativos y cualitativos dentro de un diseño tradicional cuantitativo o cualitativo, lo que permite analizar un mismo fenómeno desde diferentes acercamientos en una sola fase.

A principio de la década de los años setenta, Sieber (1973) implementó un nuevo estilo de investigación, la mezcla de estudios de caso con encuestas. Afirma Pereira (2011), que *“la utilización de los diseños de método mixto se constituyen, día a día, en una excelente alternativa para abordar temáticas de investigación en el campo educativo.”* Durante los últimos

treinta años este tipo de modelos exploratorios cualitativos y cuantitativos, han sido muy comunes y realizados por diversos autores de forma recurrente. Así, también Dellinger y Leech (2007) analizaron diferentes estudios, su diseño e implementación, proporcionando validez a este tipo de investigaciones. En los diseños mixtos puede prevalecer el enfoque cuantitativo o el enfoque cualitativo, sin embargo, no es raro ver estudios de diseño mixto en el que ambas partes tienen el mismo peso por igual.

Black, Little, McCoach, Purcell y Siegle (2008), mediante un diseño mixto concurrente evaluaron un programa académico de intervención con diferentes grupos de estudiantes, usando datos cuantitativos (puntuaciones, cuestionario) y cualitativo (entrevistas y grupos de enfoque), complementando de esta forma los datos para el estudio. Que será un método similar empleado en esta investigación, con la diferencia de que en el cuestionario de esta investigación se han recogido también datos cualitativos. Black y colaboradores (2008) destacaron la importancia de los datos cuantitativos en términos de la formulación de interpretaciones y conclusiones. García (2013) también usa el diseño mixto en la elaboración de su tesis doctoral *Entornos aumentados de aprendizaje*. Parece pues, comprensible que cuando se combinan los diferentes paradigmas en una misma etapa (simultánea o secuencialmente) tanto métodos cuantitativos, como cualitativos, las investigaciones mixtas se aprovechan de estas características para poder incorporar a la investigación materiales como observaciones, imágenes, grabaciones, vídeos, que ofrecen un sentido complementario al de los datos numéricos.

Los paradigmas pueden presentar igualdad en el estatus, de tal forma que ninguno de los métodos prevalezca sobre el otro, sólo varía el orden en cuanto a concurrencia o secuencialidad. Esta investigación responde a un

diseño de modelo mixto, con integración de datos en la interpretación y cuyo énfasis fue explicar e interpretar relaciones causales, tiene carácter eminentemente cuantitativo, siendo del tipo **CUAN** → **cual** (Johnson & Onwuegbuzie, 2004), con concurrencia de toma de datos cuantitativos y cualitativos. Usando el enfoque cualitativo en determinadas partes del estudio, muchas de las veces como refrendo de los datos cuantitativos, otras aportando diferentes observaciones y datos que no es posible obtener con un enfoque totalmente cuantitativo, ayudando en el descubrimiento de nuevas perspectivas o sacando a la luz contradicciones. El diseño mixto permite fácilmente la integración de estas facetas y visiones diferentes, ayudando a clarificar las conclusiones.

Dentro de este escenario, los datos y análisis de tipo cualitativo se han utilizado con el fin de ayudar a la interpretación y validación de los datos que provienen de los cuestionarios y demás medios utilizados mediante la triangulación, buscando respuestas mediante la integración de los datos de las diferentes fuentes

	Enfoque del Método		Recogida de Datos	
	<i>Primario</i>	<i>Secundario</i>	<i>Simultánea</i>	<i>A Posteriori</i>
CUAL + cual	Cualitativo	Cualitativo	X	
CUAL → cual	Cualitativo	Cualitativo		X
CUAL + cuan	Cualitativo	Cuantitativo	X	
CUAL → cuan	Cualitativo	Cuantitativo		X
CUAN + cuan	Cuantitativo	Cuantitativo	X	
CUAN → cuan	Cuantitativo	Cuantitativo		X
CUAN + cual	Cuantitativo	Cualitativo	X	
CUAN → cual	Cuantitativo	Cualitativo		X

Tabla 3: Clasificación de diseño mixto según referencial teórico, adaptado de Pereira (2011).

En los métodos mixtos la hipótesis se incluye en la parte o fase cuantitativa cuando se pretende un fin probatorio o confirmatorio, que es el caso de esta investigación. Es habitual que en el estudio con carácter mixto surjan nuevas hipótesis derivadas, en la investigación que nos ocupa, dado las diferencias de método utilizados, existe una principal y varias derivadas. Es viable, por lo tanto, el planteamiento de un diseño de método mixto para la aproximación a temáticas de estudio en el ámbito pedagógico, en especial, cuando hay una evidente intención de otorgar voz a los participantes cuando no sólo se desea la obtención de datos numéricos, sino también se busca una aproximación más cercana a los participantes, los datos cualitativos cobran un papel relevante.

Dos tipos de validez determinan la calidad de la aplicación del diseño, la validez interna y la validez externa. La validez interna se refiere a extraer inferencias correctas sobre la relación causal entre variables y resultados (Creswell, 2014), mediante el control efectivo de terceras variables. Las amenazas a la validez interna incluyen la precedencia temporal ambigua, la historia, la selección y la maduración (Shadish, Cook & Campbell, 2002). Para garantizar la validez interna se utilizaron métodos de triangulación. La utilización de diferentes métodos de recogida de datos, cuestionarios, entrevistas, notas de campo, observaciones, opinión de expertos durante la recogida de datos de los experimentos avalan la triangulación metodológica de esta investigación.

La validez constructiva se refiere a la calidad de la conceptualización y operacionalización del concepto relevante (Shadish et al., 2002), es decir, que concierne a la identificación, definición y medición de las variables observables (y no observables) y la generación de datos numéricos o empíricos que serán la entrada de los procedimientos de análisis estadístico.

Con el fin de aumentar la validez, Shadish et al. (2002) sugieren las siguientes estrategias: definición adecuada de la construcción, uso de métricas estándar (tiempo, precisión de la tarea) para determinar la usabilidad de los sistemas de información y el uso de múltiples medidas (tiempo, precisión de la tarea, certeza, dificultad) para cada construcción. Estas medidas fueron adoptadas durante la recopilación y análisis empíricos de los datos en esta investigación. Se definieron las tareas de una forma precisa, con una temporalidad adecuada -contrastada previamente en varios pilotos-, se simplificaron las tareas y se analizó la usabilidad del sistema a emplear para garantizar la validez del proceso.

La validez externa se refiere a la generalización de los hallazgos de la investigación a diversos contextos, poblaciones y tratamientos (Shadish et al., 2002; Creswell, 2014). En la medida de lo posible, se adoptaron varias estrategias, con la finalidad de garantizar la validez externa de los resultados, la principal preocupación era reflexionar sobre si las características de los participantes, los escenarios, métodos y los períodos en que se realizó la evaluación podrían ejercer influencia en alguna forma en el resultado de los experimentos.

La estructura de un experimento suele estar determinada por el número de variables independientes. Los experimentos con una variable independiente tienen un diseño básico de un nivel, mientras que los estudios con más variables independientes requieren diseños factoriales (Lazar, Feng & Hochheiser, 2010). Presenta una gran importancia las condiciones a las que cada participante será expuesto. En el diseño comparativo entre grupos, cada participante se expone a una sola condición experimental. La principal ventaja es que los participantes no aprenden de las diferentes condiciones de la tarea y se evita la difusión del tratamiento. Se eligió este tipo de diseño,

cada participante fue expuesto sólo a un experimento. Se evitó la influencia de los colaboradores que ayudaron en los experimentos sobre los participantes, siendo neutros en las explicaciones.

5.3 Participantes

Nuestra investigación se llevó a cabo en diferentes instituciones universitarias de la comunidad de Madrid. Participaron en las actividades estudiantes de primer curso de los grados de Educación Primaria de la Universidad Autónoma de Madrid y del Centro Universitario La Salle. Se realizaron diferentes sesiones de experimentos durante el curso escolar 2016-2017.

Los estudiantes estaban encuadrados en clases ya formadas, fueron asignados al azar, según disponibilidad, al tipo de actividad a realizar. La aleatoriedad proporciona la certeza de que cada tratamiento tenga la misma probabilidad de ser aplicado a todas las unidades experimentales al reducir el sesgo en las observaciones. Partiendo de la premisa de que son grupos formados por personas con similares características (edad, estudiantes de primer año de una facultad, misma carrera universitaria y *a priori* con los mismos conocimientos previos). Podemos considerar, por tanto, el supuesto de equivalencia de las personas asociadas a cada experiencia a excepción de las diferencias que puedan deberse meramente al azar

De los 134 estudiantes de la Universidad Autónoma 33 participaron en la actividad que usaron los métodos tradicionales de aprendizaje (denominado para nuestro estudio *Grupo 1*), 37 participaron en la actividad de realidad aumentada (encuadrados en el *Grupo 2* del estudio), otros 37 en la actividad usando realidad virtual (*Grupo 3*) y 27 realizaron la actividad de

realidad mixta (*Grupo 4*). De los estudiantes del Centro Universitario La Salle participaron 25 estudiantes en la actividad de realidad aumentada (*Grupo 2*), 22 participaron en la actividad de realidad virtual (*Grupo 3*) y 11 en la actividad de realidad mixta (*Grupo 4*).

De los 192 participantes citados anteriormente, dos se retiraron de la actividad durante el proceso de entrenamiento para el uso de las gafas de realidad virtual (uno del *Grupo 3* de la UAM -hombre- y uno del *Grupo 3* de La Salle -mujer-), no llegando a realizar el experimento, por lo que estos casos quedaron registrados para el análisis cualitativo, pero al no realizar la actividad no contabilizaron en el enfoque cuantitativo. Idealmente los tamaños muestrales por actividad deberían ser parecidos, sin embargo, debido a imponderables durante las semanas de realización de las pruebas no se pudo finalmente ajustar las muestras de otra forma, ni por centro, ni por tipo de actividad. Para consideraciones futuras sería razonable ampliar este tipo de estudios a una mayor muestra para generalizar resultados.

Al finalizar cada actividad los participantes debían rellenar un cuestionario en línea, donde tenían que contestar diferentes apartados relativos a las tecnologías utilizadas, una valoración de la actividad y otros referidos a motivación e intención de uso futuro. A los participantes se les suministró un enlace al recurso -que fue también incluido en los sitios web del curso por la universidad- y se generó un código bidimensional, que se mostraba al finalizar los vídeos, quedando en la pantalla de proyección de forma estática. Así se facilitaba rellenar la encuesta desde el propio dispositivo del usuario, evitando minimizar la pérdida de cuestionarios.

En todo momento personal del proyecto estuvo a disposición de los estudiantes para clarificar preguntas o ayudar en el acceso a la encuesta, de

tal forma que se evitara en lo posible el no contestar a preguntas por no comprenderlas bien. Se indicó en repetidas veces la necesidad de ser objetivos en las respuestas para intentar en lo posible el sesgado en las respuestas.

No se registró de forma adecuada una pequeña parte de los cuestionarios, bien por problemas técnicos o bien porque nunca hubieran sido enviados, el detalle de participantes y cuestionarios recibidos se muestra a continuación en la *Tabla 4*.

Cuestionarios recibidos por actividad realizada

	UAM	La Salle	Total participantes	Cuestionarios recibidos	Cuestionarios perdidos
Actividad 1	33	0	33	28	5
Actividad 2	37	25	62	61	1
Actividad 3	36	21	57	54	3
Actividad 4	27	11	38	37	1
Total	133	57	190	180	10

Tabla 4: Cuestionarios recibidos por actividad y centro.

Las respuestas de los participantes fueron codificadas y filtradas en el campo *Grupo* de acuerdo con la actividad realizada, de esta forma se dirigía a cada participante directamente su cuestionario correspondiente.

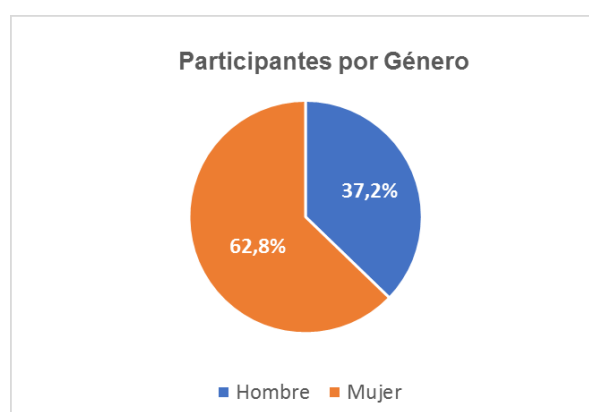


Gráfico 1: Participantes en las actividades por género.

El porcentaje de mujeres participantes fue del 62.8%, frente a los participantes hombres que fue del 37.2%. Estas proporciones tan dispares no son extrañas en el contexto dónde se realizaron los experimentos, en las carreras de magisterio la presencia de mujeres ha sido y es mayoritaria a día de hoy. En cuanto al centro de procedencia por género en la siguiente *Tabla 5* podemos ver el detalle, el promedio de edad de las mujeres es inferior en los dos centros (UAM 19.4, La Salle 19.6) a la edad promedio de los hombres (UAM 20.7, La Salle 21.4).

Participantes por centro y género

		Hombre	Porcentaje	Edad media	Mujer	Porcentaje	Edad media
Válido	UAM	58	32,2	20,7	67	37,2	19,4
	La Salle	9	5,0	21,4	46	25,6	19,6
	Total	67	37,2		113	62,8	

Tabla 5: Participantes por centro y género.

En cuanto a los participantes por centro, un 70% pertenecen a la Universidad Autónoma de Madrid y el 30% restante al Centro Universitario La Salle.

		Edad			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	18	54	30,0	30,0	30,0
	19	50	27,8	27,8	57,8
	20	28	15,6	15,6	73,3
	21	15	8,3	8,3	81,7
	22	10	5,6	5,6	87,2
	23	12	6,7	6,7	93,9
	24	3	1,7	1,7	95,6
	25	3	1,7	1,7	97,2
	26	3	1,7	1,7	98,9
	38	2	1,1	1,1	100,0
	Total	180	100,0	100,0	

Tabla 6: Participantes por edad.

En lo relativo a la edad de los participantes podemos ver que se encuentran por debajo de 26 años en el 99% de los casos, a excepción de dos. Estos dos corresponden por partes iguales, uno y uno, a la UAM y a La Salle y se corresponden con profesores que decidieron participar libremente en una de las actividades, como un estudiante más.

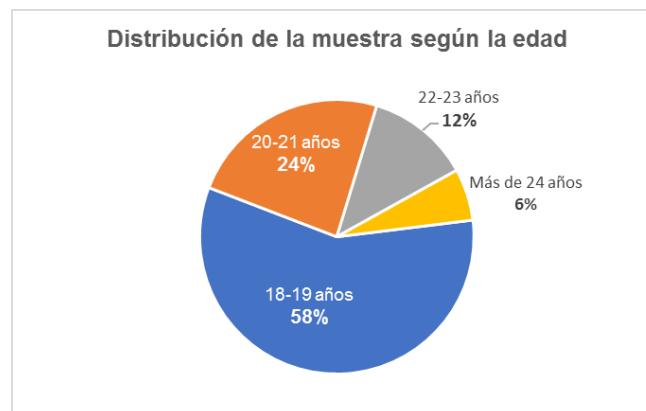


Gráfico 2: Distribución de la muestra agrupada según la edad.

5.4 Instrumentos de recogida de datos

En esta investigación predomina el enfoque cuantitativo, aunque no es puramente experimental por sus características particulares puede considerarse como una investigación cuasi-experimental, al estudiar la relación causa-efecto derivada de la aplicación de los diferentes sistemas. Se utilizaron también instrumentos propios de la investigación cualitativa, orientando el estudio del significado de las acciones humanas e interrelaciones sociales, buscando tendencias y tipologías.

La limitación fundamental de esta investigación es la carencia formal de grupo de control que dificultará el establecimiento de argumentos de causalidad acerca del tratamiento, si bien el grupo sin intervención digital, que realizó la actividad con métodos tradicionales de aprendizaje, podría considerarse un grupo de *cuasi-control*, compartiendo todas las características de los grupos participantes en las experiencias digitales (mismo centro educativo, mismo curso, misma materia o asignatura, mismo período de tiempo).

En este tipo de trabajos, de acuerdo a nuestro método de investigación, ambas técnicas (cualitativas y cuantitativas) pueden considerarse que poseen un carácter complementario. Por último, destacar que los resultados obtenidos de esta investigación debida a sus limitaciones y particularidades no sería adecuado la generalización de los resultados.

Debido al modelo mixto elegido para la investigación, los instrumentos utilizados son propios de los dos enfoques, cuantitativo y cualitativo. Se usaron cuestionarios, notas de campo y registros permanentes para la recogida de datos.

5.4.1 Cuestionarios

Se crearon varios cuestionarios, uno para cada tipo de intervención. Las preguntas incluidas fueron sencillas y estaban formuladas de forma que pudieran ser comprendidas fácilmente, formuladas de forma neutral o en positivo. Los cuestionarios fueron utilizados para tomar diferentes datos de interés, tanto cuantitativos como cualitativos: datos generales de los participantes (edad, género), preguntas sobre los modelos estudiados (con la finalidad de evaluación), preguntas sobre la actitud hacia los diferentes

sistemas, preguntas sobre el uso que hacían del dispositivo móvil. Las preguntas fueron de carácter cerrado, excepto la última pregunta en que se pedía su opinión sincera sobre el desarrollo de la actividad, en un campo de texto libre largo.

Los diferentes cuestionarios fueron validados por expertos en educación y por personas relacionadas con diferentes áreas relacionadas de tecnología, además se realizaron otras validaciones como la lectura en voz alta y pruebas piloto del cuestionario, con las sugerencias recogidas se realizó el modelo final de cuestionario. Se pensó en un principio presentar los cuestionarios impresos físicamente en papel, pero finalmente se realizó mediante *Google Forms*, lo que proporcionaba cierta flexibilidad, como se indicó anteriormente, se creó un código QR como enlace que se mostró al final de los videos de instrucción. El cuestionario era específico según el método de intervención y diferenciados en diferentes bloques. Los participantes fueron tomados de grupos ya formados y fueron asignados a uno de los siguientes grupos que se diferenciaban por el método que emplearían, un participante sólo podía participar en una única actividad:

- *Grupo 1*: sin intervención digital (método tradicional de aprendizaje).
- *Grupo 2*: Realidad Aumentada.
- *Grupo 3*: Realidad Virtual.
- *Grupo 4*: Realidad Mixta (Realidad Aumentada, Realidad Virtual).

Cuestionario Grupo 1

Los bloques existentes en el cuestionario del *Grupo 1* fueron los siguientes:

- Instrucciones del cuestionario.
- Datos generales, incluye variables como el género, edad de la persona y filtro de la actividad realizada.
- Cuestiones para la evaluación de la actividad: 15 preguntas de selección múltiple (5 por escena) con una única respuesta correcta, y una abierta sobre figuras y cuerpos geométricos.
- Uso del dispositivo móvil.
- Motivación de la actividad.
- Comentarios libres.

Cuestionario Grupo 2

Los bloques existentes en el cuestionario del *Grupo 2* fueron los siguientes:

- Instrucciones del cuestionario.
- Datos generales, incluye variables como el género, edad de la persona y filtro de la actividad realizada.
- Cuestiones para la evaluación de la actividad: 15 preguntas de selección múltiple (5 por escena) con una única respuesta correcta, y una abierta sobre figuras y cuerpos geométricos.
- Uso del dispositivo móvil.
- Preguntas sobre el uso de la Realidad Aumentada: uso anterior, facilidad de uso, utilidad e intención de uso.
- Motivación de la actividad.
- Comentarios libres.

Cuestionario Grupo 3

Los bloques existentes en el cuestionario del *Grupo 3* fueron los siguientes:

- Instrucciones del cuestionario.
- Datos Generales, incluye variables como el género, edad de la persona y filtro de la actividad realizada.
- Cuestiones para la evaluación de la actividad: 15 preguntas de selección múltiple (5 por escena) con una única respuesta correcta, y una abierta sobre figuras y cuerpos geométricos.
- Uso del dispositivo móvil.
- Preguntas sobre el uso de la Realidad Virtual: uso anterior, facilidad de uso, utilidad, intención de uso e incidencias con el uso de las gafas de RV.
- Motivación de la actividad.
- Comentarios libres.

Cuestionario Grupo 4

Los bloques existentes en el cuestionario del *Grupo 4* fueron los siguientes:

- Instrucciones del cuestionario.
- Datos Generales, incluye variables como el género, edad de la persona y filtro de la actividad realizada.

- Cuestiones para la evaluación de la actividad: 15 preguntas de selección múltiple (5 por escena) con una única respuesta correcta, y una abierta sobre figuras y cuerpos geométricos.
- Uso del dispositivo móvil.
- Preguntas sobre el uso de la Realidad Aumentada: facilidad de uso, utilidad e intención de uso.
- Preguntas sobre el uso de la Realidad Virtual: facilidad de uso, utilidad, intención de uso e incidencias con el uso de las gafas de RV.
- Preguntas sobre el uso de la Realidad Mixta (RA+RV), utilidad e intención de uso.
- Motivación de la actividad.
- Comentarios libres.

5.4.2 Instrumentos cualitativos

Como se destacó anteriormente, el método cuantitativo busca verificar la relación de causalidad entre la acción de formación y sus impactos, pero este enfoque no quedaría completo sin el enfoque cualitativo, que servirá para validar, complementar y modular los resultados. Los instrumentos utilizados para el enfoque cualitativo fueron algunas preguntas abiertas en el cuestionario, observaciones que quedaron reflejadas como notas de campo y medios de registro como fotografías o videos cortos.

Los datos fueron reforzados por las investigaciones contextuales (Beyer y Holtzblatt, 1997), se realizaron breves entrevistas grupales informales después de las pruebas, esta información complementaria fue registrada y sirvió de complemento y contraste frente a la información obtenida mediante cuestionarios.

En los cuestionarios se recogieron también datos cualitativos acerca de molestias o problemas derivados al usar los dispositivos (gafas de realidad virtual), también como cierre de los cuestionarios se incluyó una pregunta con carácter abierto para que el participante incluyese los comentarios sobre la actividad que considerase oportunos. (Te damos las gracias por tu participación. Puedes incluir a continuación cualquier comentario que desees con respecto a estas actividades.)

Notas de campo: las notas de campo son elementos propios del enfoque cualitativo, se llevó un registro de las observaciones realizadas y de cualquier otra característica importante para la investigación. Las notas de campo constituyen un sistema tradicional para registrar datos que son fruto de la observación, tuvieron carácter descriptivo.

Registro permanente: La comunicación no verbal no es fácil de reconstruir partiendo de notas de campo. El uso del video, fotografías y grabaciones de audio nos ofrecen diferentes opciones para la recolección de datos y su posterior almacenaje. Se realizaron algunos vídeos cortos y algunas fotografías de forma no intrusiva. Estos registros se complementarán con texto para evitar sesgos o informaciones parciales. Se explicó que eran acciones parte de la investigación, que sólo se usarían para este fin, existiendo restricciones para su difusión.

5.5 Variables de la investigación

Los datos recogidos fueron codificados y analizados. Los cuestionarios y experimentos de evaluación se analizaron en primera instancia con el enfoque cuantitativo, utilizando de forma general diferentes métodos estadísticos comentados más adelante y que se consideraron apropiados para los fines que nos proponemos. Se utilizaron dos versiones diferentes del programa SPSS (*versiones 17 y 21*) para analizar los datos cuantitativos.

Se han definido una serie de variables, la independiente, covariables y variables dependientes. Se resumen a continuación las variables en la siguiente tabla:

Variable	Tipo	Valores	Nivel de medida
Aplicación de Tecnologías en la Realidad Mixta en la escuela.	Variable Independiente	1. Sin intervención 2. Intervención RA 3. Intervención RV 4. Intervención RM	Nominal
Sexo	Covariable	0. Hombre 1. Mujer	Nominal
Edad	Covariable	1. 18-19 años 2. 20-21 años 3. 22-23 años 4. >24 años	Ordinal
Centro	Covariable	1. UAM 2. La Salle	Nominal
Rendimiento académico en la evaluación (todos los ítems).	VD	Rango 0 – 10	Ordinal
Rendimiento académico en la evaluación (ítems matemáticos).	VD	Rango 0 – 6.92	Ordinal

Tabla 7: Variables de la investigación

GRUPO I (Sin intervención Digital)			
¿Usas de forma habitual un dispositivo móvil?	VD	SI/NO	Dicotómica
(<i>FILTRO: Pregunta anterior = S</i>) ¿Puedes indicarme el sistema operativo?	VD	1. Android 2. iOS 3. Otro 4. Lo desconozco	Nominal
Indícanos qué usos le das al teléfono móvil:	VD	1. Hacer llamadas de Voz 2. Enviar mensajes de texto tradicionales (SMS). 3. Usar mensajería instantánea (Whatsapp o similar) 4. Hacer fotos o grabar vídeo. 5. Acceder a Redes Sociales 6. Acceder a Internet 7. Acceder al correo electrónico 8. Usar Mapas, sistema de Navegación	Nominal
Soy capaz de realizar las siguientes acciones:	VD	1. Instalar aplicaciones. 2. Formatear el dispositivo. 3. Configurar cuentas personales.	Nominal
¿Te ha parecido interesante la actividad?	VD	Escala de actitud (1-6)	Ordinal
¿Participarías en otras actividades parecidas?	VD	SI/NO	Dicotómica

Tabla 7: Variables de la investigación (Continuación)

GRUPO 2 (Realidad Aumentada)			
¿Usas de forma habitual un dispositivo móvil?	VD	SI/NO	Dicotómica
(<i>FILTRO: Pregunta anterior =SI</i>) ¿Puedes indicarme el sistema operativo?	VD	1. Android 2. iOS 3. Otro 4. Lo desconozco	Nominal
Indícanos qué usos le das al teléfono móvil:	VD	1. Hacer llamadas de Voz 2. Enviar mensajes de texto tradicionales (SMS). 3. Usar mensajería instantánea (Whatsapp o similar) 4. Hacer fotos o grabar vídeo. 5. Acceder a Redes Sociales 6. Acceder a Internet 7. Acceder al correo electrónico 8. Usar Mapas, sistema de Navegación	Nominal
Soy capaz de realizar las siguientes acciones:	VD	1. Instalar aplicaciones. 2. Formatear el dispositivo. 3. Configurar cuentas personales.	Nominal
¿Has usado anteriormente aplicaciones de RA?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Te ha parecido fácil el uso de la RA en la actividad?	VD	Escala (1 Fácil - 6 Díficil)	Ordinal
¿Te ha parecido útil el uso de la RA?	VD	Escala (1 Muy útil - 6 Nada útil)	Ordinal
¿Crees que la Realidad Aumentada es adecuada para su uso en las aulas?	VD	Escala (1 Muy adecuada - 6 Nada adecuada)	Ordinal

Tabla 7: Variables de la investigación (Continuación)

GRUPO 2 (Realidad Aumentada) Cont.			
¿Tienen intención en un futuro de usar este tipo de Tecnología (Realidad Aumentada) en tus clases?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Te ha parecido interesante la actividad?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Participarías en otras actividades parecidas?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Crees que este tipo de tecnologías (RA, RV) motivan más a los alumnos que usar medios	VD	SI/NO	Dicotómica
GRUPO 3 (Realidad Virtual)			
¿Usas de forma habitual un dispositivo móvil?	VD	SI/NO	Dicotómica
(<i>FILTRO: Pregunta anterior =SI</i>) ¿Puedes indicarme el sistema operativo?	VD	1. Android 2. iOS 3. Otro 4. Lo desconozco	Nominal
Indícanos qué usos le das al teléfono móvil:	VD	1. Hacer llamadas de Voz 2. Enviar mensajes de texto tradicionales (SMS). 3. Usar mensajería instantánea (Whatsapp o similar) 4. Hacer fotos o grabar vídeo. 5. Acceder a Redes Sociales 6. Acceder a Internet 7. Acceder al correo electrónico 8. Usar Mapas, sistema de Navegación	Nominal
Soy capaz de realizar las siguientes acciones:	VD	1. Instalar aplicaciones. 2. Formatear el dispositivo. 3. Configurar cuentas personales.	Nominal

Tabla 7: Variables de la investigación (Continuación)

GRUPO 3 (Realidad Virtual) Cont.			
¿Has usado anteriormente aplicaciones de RV?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Has usado alguna vez gafas de Realidad Virtual?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Te ha parecido fácil el uso de la RV en la actividad?	VD	Escala (1 Fácil - 6 Díficil)	Ordinal
¿Te ha parecido útil el uso de la RV?	VD	Escala (1 Muy útil - 6 Nada útil)	Ordinal
¿Crees que la Realidad Virtual es adecuada para su uso en las aulas?	VD	Escala (1 Muy adecuada - 6 Nada adecuada)	Ordinal
¿Tienen intención en un futuro de usar este tipo de Tecnología (Realidad Virtual) en tus clases?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Llevas medios de corrección de la visión (gafas, lentillas)?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Has sufrido molestias o mareos durante la actividad?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Te ha parecido interesante la actividad?	VD	Escala (1. Muy interesante - 6 Nada interesante)	Ordinal
¿Participarías en otras actividades parecidas?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Crees que este tipo de tecnologías (RA, RV) motivan más a los alumnos que usar medios tradicionales de aprendizaje?	VD	SI/NO	Dicotómica

Tabla 7: Variables de la investigación (Continuación)

Grupo 4 (Realidad Mixta)			
¿Usas de forma habitual un dispositivo móvil?	VD	SI/NO	Dicotómica
(<i>FILTRO: Pregunta anterior =SI</i>) ¿Puedes indicarme el sistema operativo?	VD	1. Android 2. iOS 3. Otro 4. Lo desconozco	Nominal
Indícanos qué usos le das al teléfono móvil:	VD	1. Hacer llamadas de Voz 2. Enviar mensajes de texto tradicionales (SMS). 3. Usar mensajería instantánea (Whatsapp o similar) 4. Hacer fotos o grabar vídeo. 5. Acceder a Redes Sociales 6. Acceder a Internet 7. Acceder al correo electrónico 8. Usar Mapas, sistema de Navegación	Nominal
Soy capaz de realizar las siguientes acciones:	VD	1. Instalar aplicaciones. 2. Formatear el dispositivo. 3. Configurar cuentas personales.	Nominal
¿Has usado anteriormente aplicaciones de RA?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Te ha parecido fácil el uso de la RA en la actividad?	VD	Escala (1 Fácil - 6 Díficil)	Ordinal
¿Te ha parecido útil el uso de la RA?	VD	Escala (1 Muy útil - 6 Nada útil)	Ordinal
¿Crees que la Realidad Aumentada es adecuada para su uso en las aulas?	VD	Escala (1 Muy adecuada - 6 Nada adecuada)	Ordinal
¿Tienen intención en un futuro de usar este tipo de Tecnología (Realidad Aumentada) en tus clases?	VD	SI/NO	Dicotómica

Tabla 7: Variables de la investigación (Continuación)

Grupo 4 (Realidad Mixta) Cont.			
¿Has usado anteriormente aplicaciones de RV?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Has usado alguna vez gafas de Realidad Virtual?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Te ha parecido fácil el uso de la RV en la actividad?	VD	Escala (1 Fácil - 6 Díficil)	Ordinal
¿Te ha parecido útil el uso de la RV?	VD	Escala (1 Muy útil - 6 Nada útil)	Ordinal
¿Crees que la Realidad Virtual es adecuada para su uso en las aulas?	VD	Escala (1 Muy adecuada - 6 Nada adecuada)	Ordinal
¿Tienen intención en un futuro de usar este tipo de Tecnología (Realidad Virtual) en tus clases?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Llevas medios de corrección de la visión (gafas, lentillas)?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Has sufrido molestias o mareos durante la actividad?	VD	SI/NO	Dicotómica
Me resultó fácil/díficil la transición entre RA y RV.	VD	Escala (1 Fácil - 6 Díficil)	Ordinal
¿Crees que la Realidad Mixta (RA+RV) es adecuada para su uso en las aulas?	VD	Escala (1 Muy adecuada - 6 Nada adecuada)	Ordinal
¿Tienen intención en un futuro de usar este tipo de Tecnología (Realidad Mixta) en tus clases?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Te ha parecido interesante la actividad?	VD	Escala (1. Muy interesante - 6 Nada interesante)	Ordinal
¿Participarías en otras actividades parecidas?	VD	SI/NO	Dicotómica
¿Crees que este tipo de tecnologías (RA, RV) motivan más a los alumnos que usar medios tradicionales de aprendizaje?	VD	SI/NO	Dicotómica

Tabla 7: Variables de la investigación (Continuación)

5.6 Desarrollo de los experimentos

Aunque se han propuesto formas específicas de diseñar sistemas de realidad aumentada y de realidad virtual, se hace uso en esta investigación de la filosofía del diseño centrado en el usuario, combinados con otras procedentes de estudios relativos a la interacción hombre-ordenador (HCI). El sistema debe ser fácil de usar (Gabbard, 2001; Dünser, Grasset, Seichter, Billingham, 2007) y por tanto también debe ser fácil aprender cómo se usa, debe permitir cierta flexibilidad en las tareas a realizar, requerir un bajo esfuerzo cognitivo, pero manteniendo el foco en la tarea que estamos realizando; y debe ser eficiente (como por ejemplo evitar esperas a la reacción). Desde un punto de vista técnico el sistema debe ser fiable y responder según lo programado: debe ser estable, no sufrir cortes imprevistos ni presentar problemas con los sistemas operativos.

La interactividad es generalmente vista como una característica intrínseca de la práctica educativa no sólo en el sentido de la comunicación social, sino también como una propiedad inherente de cualquier sistema multimedia interactivo. Por lo que consideramos este factor de mucha importancia en nuestra investigación. A causa de la riqueza de interacciones que producen gran variabilidad en las respuestas, y que no siempre se pueden anticipar (Hornecker & Dünser, 2009), es necesario un proceso iterativo de diseño, con diferentes ciclos e ir incorporando las mejoras de forma incremental para evitar errores en lo posible achacable al sistema.

El desarrollo de esta intervención pasa por múltiples estados, destacaremos los más importantes, entre ellos los relativos a:

- Medios necesarios para llevar a cabo la intervención.

- Diseño de los experimentos pedagógicos.
- Selección de contenidos pedagógicos (modelos, escenas).
- Sistemas empleados (hardware y software).
- Metodología educativa.
- Realización y evaluación de los experimentos.

5.6.1 Medios necesarios para llevar a cabo la intervención

Una parte muy importante para la realización de esta investigación era conseguir los recursos materiales necesarios (dispositivos móviles, gafas de realidad virtual) y los colaboradores necesarios para ayudar en las tareas de ejecución-observación durante los experimentos.

Se requería una cantidad de conjuntos gafas de realidad virtual-dispositivo móvil suficientes para poder organizar grupos, que no fueran grupos muy pequeños como para que temporalmente se alargasen las pruebas de una forma excesiva y tampoco muy grandes, para que la actividad quedase circunscrita en un marco controlado. El tamaño ideal se situaba entre 8-12 personas por grupo. Los dispositivos móviles debían de tener unas características técnicas mínimas para poder ser útiles en la realización de las pruebas, entre ellas la más importante y que era restrictiva, es que dispusieran de giroscopio, para poder ser utilizados con la realidad virtual.

Huawei proporcionó los dispositivos necesarios para realizar la actividad, se nos proporcionaron diez teléfonos móviles *Huawei P8* (con cargador y auriculares). Este dispositivo cumplía las especificaciones necesarias para poder ser utilizado en los experimentos. Las gafas de

realidad virtual, hasta el número de 10 unidades, fueron recuperadas de otras actividades anteriores.

El lugar dónde se desarrollarían las pruebas y que la muestra fuera representativa de la población (estudiantes de magisterio) eran también aspectos a resolver. Se solicitó la colaboración en esta investigación a diversos profesores de la Facultad de Formación y Profesorado de la Universidad Autónoma de Madrid y de la Facultad de Educación y Ciencias Sociales del Centro Universitario La Salle de Madrid. Todos accedieron de muy buen grado a colaborar y organizar el calendario de desarrollo de las pruebas para que la participación de los alumnos no obstruyese el desarrollo normal de las clases.

5.6.2 Diseño de los experimentos

El diseño de los experimentos implicaba muchos factores diversos que debían ser integrados de una forma adecuada, la parte didáctica estaba supeditada por los modelos 3D que se eligiesen, que a su vez estaban condicionados para ser elegidos si eran apropiados para el propósito y si cumplían los condicionantes de desempeño en los dispositivos móviles.

La idea original de la actividad era realizar un conjunto de escenas con modelos diferentes, que pudieran ser representados (adaptados) de una forma similar en realidad aumentada y en realidad virtual. Mediante la observación de los modelos en 3D o mediante la inmersión, permitir que los alumnos explorasen las escenas de una forma natural, sin condicionantes de evaluación y que contestasen a preguntas específicas sobre los contenidos visualizados. Para el grupo que realizaba la actividad sin intervención digital,

se adaptarían también los contenidos, su *lección* incorporaría texto y fotografías.

5.6.3 Selección de los contenidos pedagógicos

Se exploraron múltiples posibilidades para los contenidos pedagógicos, teniendo en cuenta la evaluación desde diferentes puntos de vista:

- Limitaciones temporales para el desarrollo del experimento.
- Simplicidad de los experimentos, de tal forma que cualquier alumno sin conocimientos previos pudiera realizar las actividades.
- Complejidad de la programación e interacción entre las escenas.
- Capacidad técnica de los medios a utilizar: dispositivos móviles, gafas de realidad virtual.

Además de estas consideraciones básicas se quería contar con modelos que no fuesen habituales en el mundo educativo, para prevenir tener un conocimiento anterior que pudiera influir en la evaluación posterior de la actividad. Otra característica que también influyó en el desarrollo del diseño es que se requería que tanto el software para el desarrollo del programa, como los modelos fuesen gratuitos, con la finalidad de que cualquier persona interesada en estas tecnologías fuese capaz de replicar escenas parecidas con modelos diferentes. Las preguntas que formarían parte de la evaluación debían ser referidas a los modelos elegidos, por lo que deberían tener características interesantes para ser probadas, como longitudes, áreas, volúmenes o figuras geométricas.

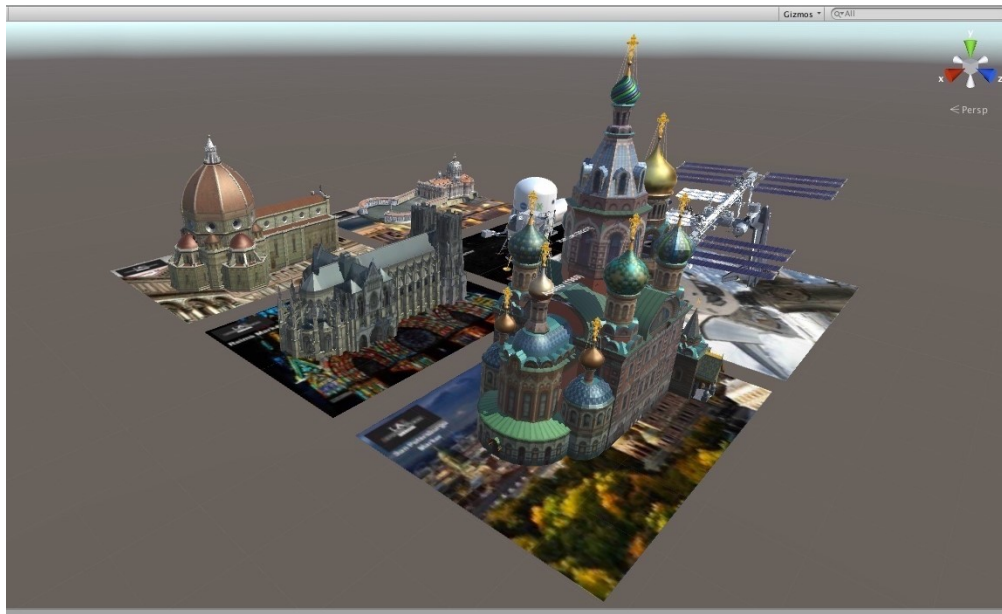


Figura 59: Diferentes modelos testados para la selección.

La presentación y selección de los contenidos era también una tarea crítica que se tenía que abordar, proporcionar el contenido adecuado a los participantes en entornos educativos no podemos considerarlo de ninguna forma una tarea trivial. Después de varias pruebas de visualización y desempeño de diferentes modelos, se seleccionaron seis modelos para realizar tres escenas, nos referimos a escenas porque tanto en realidad virtual como en la experiencia de Realidad Mixta se incluía cielo y terreno para dar un cierto viso de realidad, que era un requisito necesario para la inmersión. También los marcadores de realidad aumentada incluían información relacionada con el modelo para su fácil correlación, el marcador en la aplicación quedaría oculto por la oclusión del terreno. Las escenas finales fueron llamadas *Escena Lunar*, *San Pedro* y *The People's Dome*.

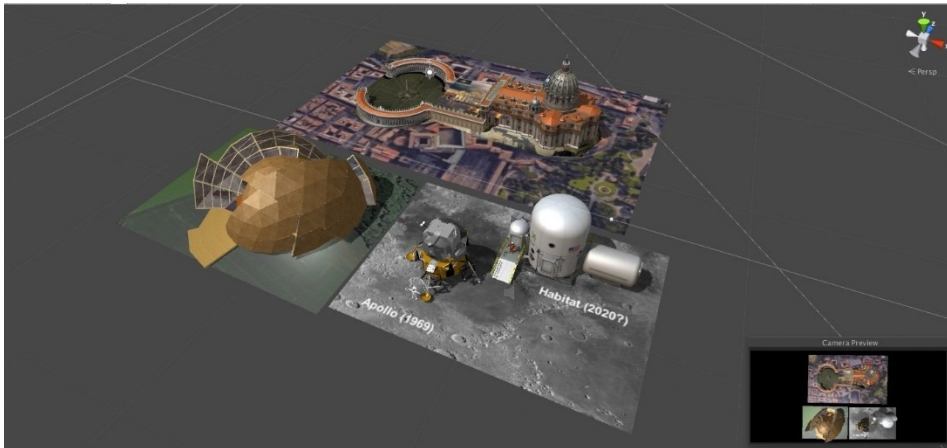


Figura 60: Escenas seleccionadas realizadas en realidad aumentada.

Escena Lunar

La escena lunar es una composición realizada con el modelo del módulo lunar del proyecto *Apollo* que en 1969 se posó por primera vez en la Luna y con un hábitat artificial (X-habitat), para realizar futuras estancias intermedias en viajes espaciales a Marte. Cada uno de los dos modelos principales estaba complementado con un modelo de astronauta, uno de la década de los 60 y otro actual.

Los modelos fueron obtenidos del sitio web de la NASA (NASA 3D Resources; <https://nasa3d.arc.nasa.gov/models>). Es un sitio web con múltiples recursos educativos. El módulo lunar añadido a la colección de la NASA por Michael Carbajal (NASA Headquarters) en 2009 y se compone de 100 628 polígonos y 60 845 vértices, es un modelo texturizado, en formato .3DS (Autodesk), 0.97 MB. Este modelo fue posteriormente convertido a formato .fbx (Autodesk).

Astronauta naranja (Advanced Crew Escape Suit), formado por 44 656 polígonos y 44 684 vértices, también de Carbajal (2010), en formato .3DS,

1.1MB. y Astronauta de los años 60 (DigitalSpace Corporation, 2009). Formado por 6381 polígonos y 3739 vértices, en formato .3DS. El último de los modelos elegidos para esta escena, *Habitat Demonstration Unit* (NASA LaRC Advanced Concepts Lab, AMA Studios, 2015), no indica el sitio web de la NASA la cantidad de polígonos, pero es bastante inferior a los de los otros modelos, formato .obj (Wavefront Technologies), 1.22MB.

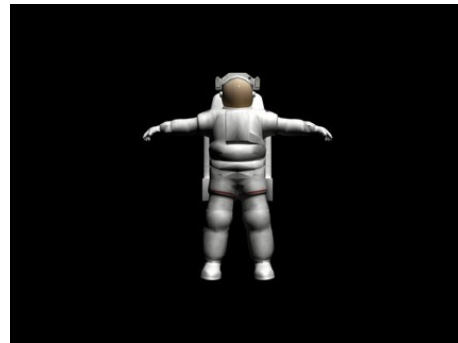
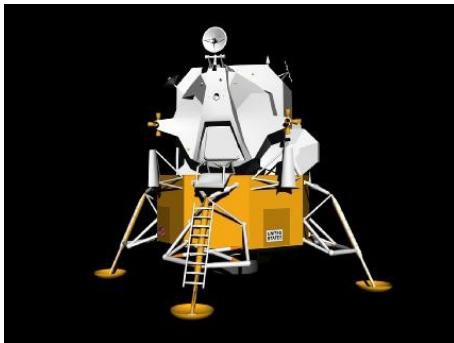


Figura 61: Modelo del módulo lunar y su astronauta.



Figura 62. Modelo del X-habitat y su astronauta.

Escena de San Pedro de Roma

Se probaron diferentes modelos arquitectónicos, ya que es un tema fácil para conseguir modelos gratuitos en Internet, al mismo tiempo que el

resultado de la visualización suele ser bastante bueno. Se eligió el modelo de San Pedro de Roma por varias razones, se podía pasear por su plaza, entre las columnas, tenía una dimensiones enormes y formas geométricas interesantes.



Figura 63: Modelo de San Pedro de Roma, de Enrico Dalbosco.

El modelo de la San Pedro de Roma, Plaza y Columnata de Bernini se se obtuvo de 3D Warehouse:

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/30be7ffa11d79288ee7128ac0228a7ac/Saint-Peters-Basilica-and-Berninis-Colonnade>

El autor es Enrico Dalbosco (Arrigo Silva). Con un tamaño de tan sólo 2.9 MB, pero compuesto por 13840 polígonos (112 materiales), es un modelo en formato *SketchUp* (.skp), que posteriormente fue convertido a formato *.fbx*. Fueron probados otros modelos de este autor por su calidad visual durante las pruebas.

Escena The People's Dome

Es un modelo sencillo, pero de gran interés geométrico. Es el único de los modelos a los que se ha permitido el acceso a la sala interior.

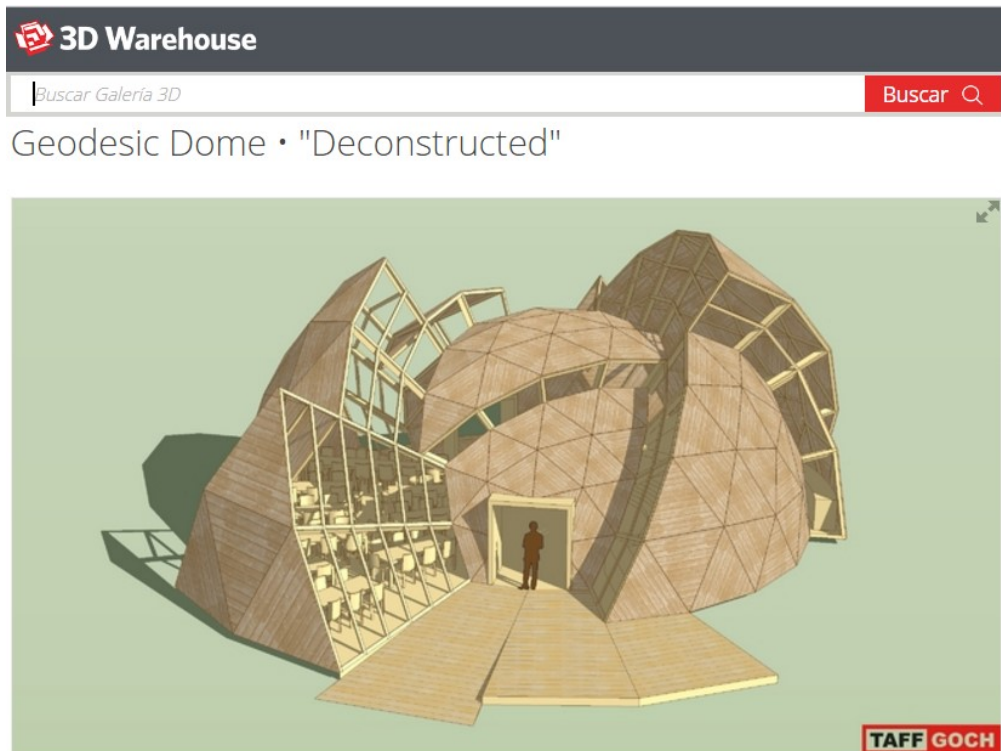


Figura 64: Modelo de The People's Dome.

El autor de este modelo es *TaffGoch*, el tamaño del archivo es de 437.3 Kb, con 7.930 polígonos y 11 materiales. Fue modificado por última vez en el año 2015, se puede encontrar en el siguiente enlace: <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/72a9405f70a5f039203539b535ac2a9a/Geodesic-Dome-Deconstructed>.

5.6.4 Hardware para los experimentos

Gracias a Huawei, fueron cedidos para estos experimentos diez dispositivos *Huawei P8*, las características principales de este modelo se relacionan a continuación:

Sistema Operativo:	Android 6.0
Banda:	GSM, UMTS, LTE
Dimensiones:	144.9x72.1x6.4mm
Pantalla:	5.2" FHD, 1080p (1920x1080), 424ppi 16M colores
Batería:	2680mAh
Memoria:	RAM: 3 GB; ROM: 16 GB
Cámara:	Cámara principal de 13 MP, Cámara frontal 8MP.
Peso	144 g
Otros:	GPS/A-GPS/Glonass/BDS(BeiDou Navigation Satellite System) G-Sensor, Sensor Giroscopio, Sensor de luz ambiente, Sensor de proximidad, Brújula, Acelerómetro



Figura 65: Huawei P8. Fuente: Huawei España
<http://www.huaweispain.com/smartphones/huawei-p8/>

Se utilizaron también los auriculares originales de estos dispositivos para reproducir las escenas con audio.

Las gafas de realidad virtual utilizadas para el desarrollo de las actividades en realidad virtual y mixta fueron las *VR Box*. Es un dispositivo compatible con teléfonos móviles con pantallas entre 3.5 y 6 pulgadas, con unas medidas máximas de teléfono de 163mm x 83mm. El ángulo de visión varía dependiendo de los ajustes, entre 85 y 95 grados. La visión resultante equivale a visualizar una pantalla de 100 pulgadas a 3 metros de distancia. El peso sin el teléfono móvil en su interior ronda los 600 gramos.

Gracias a que la tapa frontal es deslizable se puede usar la cámara del móvil para la modalidad de realidad aumentada. Estas gafas poseen dos tipos de ajustes, uno que permite adaptar la distancia entre los ojos y un segundo ajuste que permite afinar el plano de enfoque, pudiéndose graduar de forma independiente para cada ojo.



Figura 66: Gafas de realidad virtual VR Box. Fuente: <http://tienda.vr-box.es>

5.6.5 Aplicaciones para la realización de las actividades

Para realizar los diferentes experimentos se desarrollaron tres aplicaciones para dispositivo móvil sobre sistema operativo Android. Una aplicación de realidad aumentada (UAM-RA), una aplicación de realidad virtual (UAM-RVn) y una tercera aplicación que usaba de forma enlazada, mediante transiciones realidad aumentada y realidad virtual (UAM-AVR).

No sólo la calidad de representación de los objetos y del entorno, junto con el desempeño del dispositivo móvil se tuvo en cuenta, sino que se puso énfasis en cómo se iban a utilizar los elementos, cuáles eran las secuencias lógicas y la estructuración, el grado de dificultad de uso y el grado de interacción con los diferentes entornos. Fue de suma importancia el diseño de la interfaz de usuario y cómo se presentó gráficamente las funcionalidades y la información.

Una vez que los modelos fueron seleccionados se comenzó por el diseño de la aplicación más sencilla, la de realidad aumentada, partiendo de esta aplicación la disposición y representación de los objetos se replicó para ser adaptada al entorno inmersivo, de realidad virtual. Finalmente se volvieron a adaptar los contenidos para la aplicación de realidad mixta.

Sistema de Realidad Aumentada

El sistema para la generación de la experiencia de realidad aumentada está basado en *Vuforia*, que son un conjunto de librerías especializadas derivadas de las librerías *ARToolkit* de realidad aumentada de Kato y Billinghurst (1999), para diferentes sistemas operativos: *Android*, *iOS* y que se puede utilizar en diferentes plataformas multi dispositivo como *Unreal* o *Unity 3D*. El hardware utilizado para el desarrollo de las aplicaciones fue un ordenador iMac de mediados de 2011 (21.5”) junto con Unity versión 5.6.0., con paquete *Vuforia* versión 6.2.

Como elementos de interacción con el programa se crearon marcadores individuales (basados en imágenes) para facilitar la interacción y manipulación, los contenidos fueron agrandados más de lo que es habitual en este tipo de aplicaciones para que el detalle de los objetos fuese más evidente y facilitar la interacción. Mediante la presentación del marcador adecuado al mecanismo de entrada de información del sistema (cámara) se genera una imagen en 3D que muestra el modelo asociado al marcador, dando paso también al inicio de la reproducción de audio que narraba el mismo texto utilizado en la intervención tradicional. El cambio de escena se realiza al cambiar el marcador. El audio integrado se quedaba en pausa al

cambiar de escena y continuaba la reproducción en el mismo sitio en que se quedó al volver a detectar ese mismo marcador.



Figura 67: Imágenes usadas como marcadores.

Para un uso adecuado del sistema es fundamental que los marcadores presentasen buenas características para la detección y seguimiento de los mismos, para que puedan ser manipulados adecuadamente. Las características propias de la imagen son los que nos va a proporcionar la eficiencia en las tareas indicadas, vemos en las siguientes imágenes las características distintivas de cada marcador, la característica de *augmentabilidad* de los marcadores es suficientemente alta para los propósitos de esta investigación.

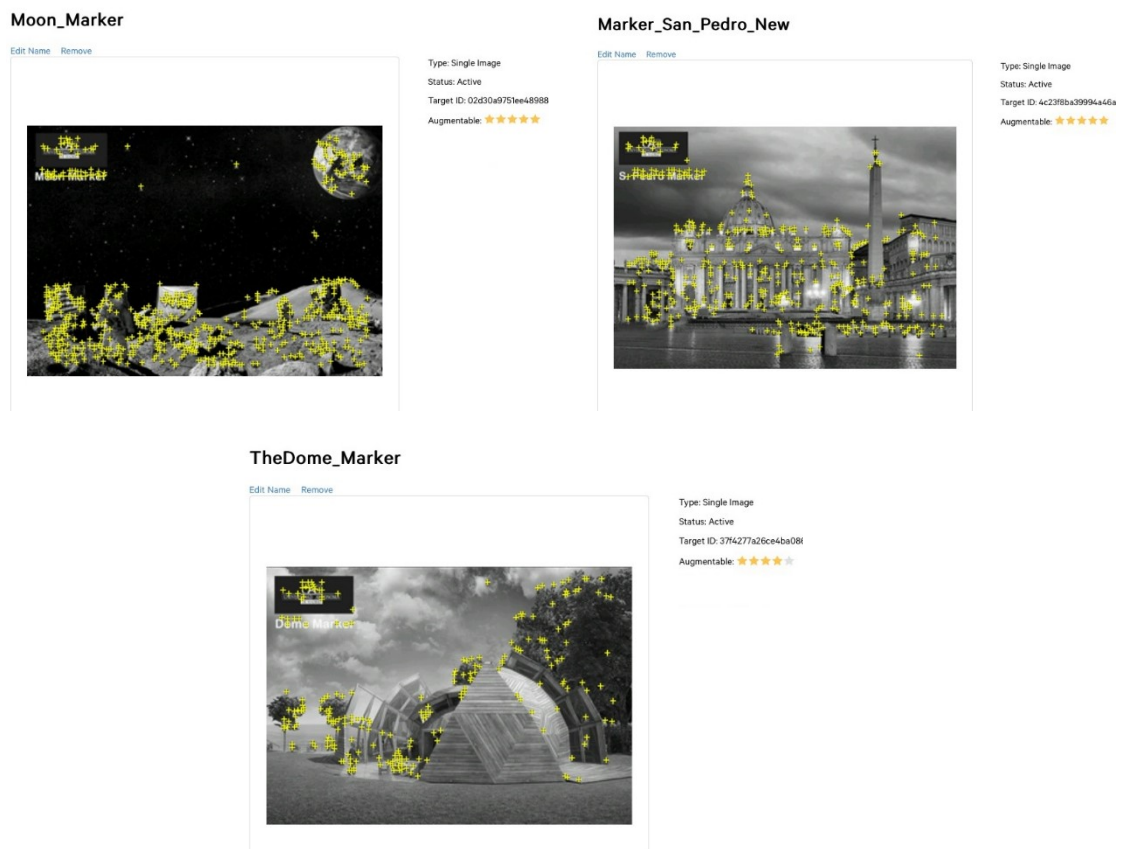


Figura 68: Marcadores mostrando las características distintivas encontradas. Imágenes procesadas en el Target Manager de Vuforia.

Sistema de Realidad Virtual

El sistema para la generación de la experiencia de realidad virtual está basado en el *SDK* de *Google VR*, se utilizó el paquete disponible para *Unity*. Se tuvieron en cuenta a la hora de desarrollar la aplicación de realidad virtual las siguientes premisas:

- La exploración del entorno por el usuario y su velocidad relativa en el mundo de realidad virtual.
- La visión del usuario, en términos de pose y campo de visión, debería tener un punto de vista lo más aproximado al real.
- Los modelos serían complementados con terreno y cielo para conseguir una sensación próxima a la de la realidad.

Al poder moverse por el entorno había que tener en cuenta diferentes condicionantes: cuál iba a ser el recorrido permitido, cómo se iban a tratar la colisión con los objetos, plantear cómo salir de la aplicación o cambiar de escena de forma sencilla o cuál sería la velocidad del usuario en el entorno.

Para seleccionar la escena se decidió utilizar un Menú principal, que se mostraría al iniciar la aplicación, al ser un menú que se visualiza con el dispositivo ya introducido en las gafas se decidió que el modo de usarlo y activar las escenas sería mediante la fijación de la mirada (*Gaze Input*), de tal forma que al pasar por encima de un ítem del menú (botón), este se destacase y al tenerlo seleccionado más de 1.5 segundos el botón se activase dando paso a la escena seleccionada, esta acción es similar al *click* de un ratón en un ordenador.

Mediante la indicación visual de un círculo dinámico se permitía ver al usuario el avance de la carga y cancelar la acción antes de que se finalizase si fuera necesario.

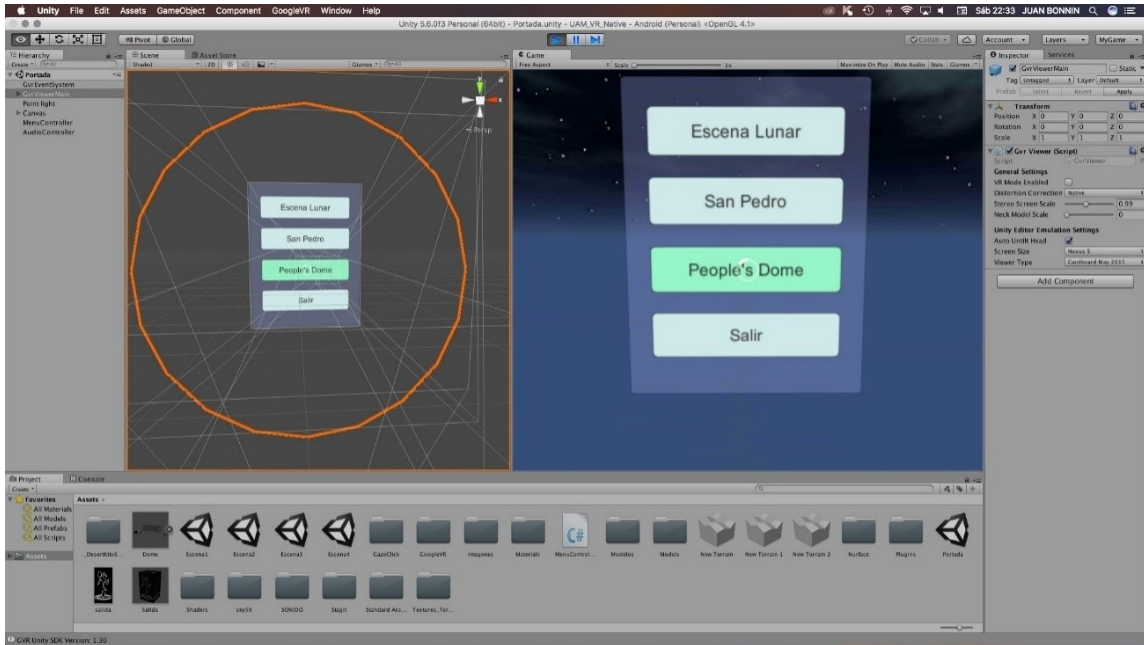


Figura 69: Desarrollo del Menú principal, con las diferentes opciones, el cursor se encuentra en People's Dome destacado en un color diferente.

Se limitó el espacio por donde podían explorar en todas las actividades en una forma similar, cercándolo con un rectángulo virtual que no podían atravesar. Se dotó a los objetos con detección de colisión y al usuario (player) con un cuerpo rígido, de esta forma se evitó que se traspasasen los objetos.



Figura 70: Punto de vista del usuario en cada una de las escenas, en la última escena se puede apreciar la máscara con las dos imágenes para la realidad virtual.

Para el mecanismo de exploración, de paseo, se implementó un script modificado de *NurfaceGames*, de tal forma que al inclinar la cabeza unos 15 grados por debajo de la línea del horizonte se simulase el avance del usuario en la escena, el control de dirección se realizaba mediante el movimiento de cabeza, siguiendo de forma natural la mirada.

Para salir de la escena al menú principal, se colocaron de forma estratégica en cada escenario tres o cuatro prismas rectangulares con el símbolo de salida, de forma general situadas al principio y final de la escena para que tuvieran la opción de salir rápido si se han equivocado de escena o para explorar y llegar a las salidas al final de las escenas. En esta aplicación la activación de la salida se realizaba mediante la activación de los objetos por la fijación de la visión.



Figura 71: Fotograma del video de entrenamiento mostrando las salidas hacia el menú en la aplicación de realidad mixta.

Sistema de Realidad Mixta

El sistema para la generación de la experiencia de realidad mixta está formado por una mezcla de las *APIs* del *SDK* de *Google VR* y de *Vuforia 6.2*, los dos paquetes fueron integrados en la versión de *Unity3D 5.4.3*.

Se construyeron dos mundos diferentes, uno virtual y uno para realidad aumentada en la misma escena, *Figura 72*. Se tuvieron en cuenta las mismas consideraciones de diseño que individualmente presentaban la aplicación de RA más la aplicación de RV, además de estas premisas también debía existir un Menú de selección de escenas, una salida desde la aplicación hacia al menú principal y botones interactivos en las escenas para realizar la transición entre los dos mundos. Una diferencia importante en el sistema de RA es que en esta aplicación se utilizan las gafas de RV para todas las modalidades.

Para la transición entre modalidades de visión se decidió utilizar botones interactivos, colocados de forma muy visible y, para obligar a que los participantes explorasen la escena un mínimo de tiempo en lugar de ser activadas por la visión, eran activadas mediante colisión. Existe un *Botón* interactivo en el mundo virtual (Puerto RA) para pasar a la escena de realidad aumentada y de la misma manera existe un *Botón* interactivo (Puerto RV) en el entorno de realidad aumentada para pasar a realidad virtual.

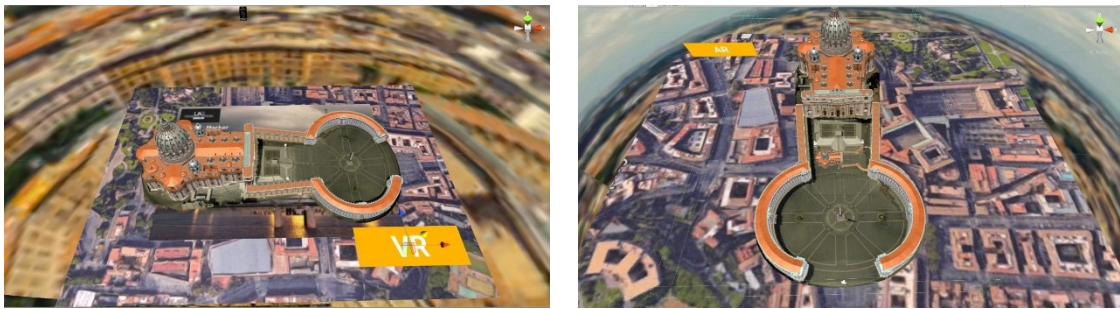


Figura 72: Mundos en realidad aumentada (izquierda) y mundo en realidad virtual (derecha).

La lógica de menú y transiciones entre las modalidades se puede observar en la figura siguiente, aunque existían otras posibilidades de diseño, cuantas más opciones se incluyeran más difícil sería la curva de aprendizaje para los usuarios, por lo que se optó en primer término por la sencillez.

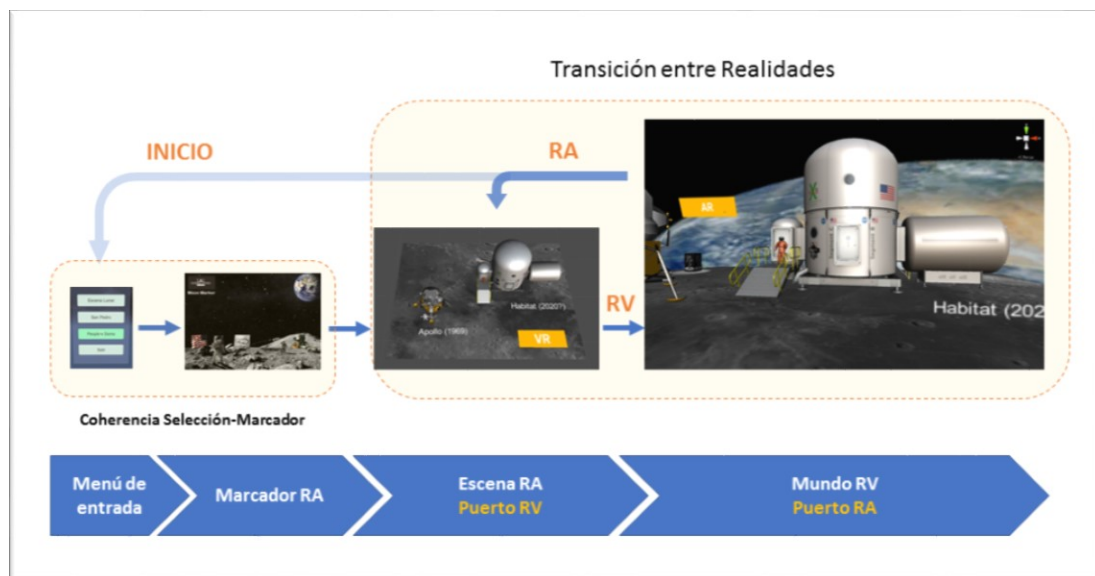


Figura 73: Lógica de la aplicación de realidad mixta.

En la *Figura 74* puede verse como el mundo correspondiente a realidad aumentada se ve incrustado en el mundo de realidad virtual (en el interior del círculo naranja en la fotografía) durante el desarrollo con *Vuforia*. Al ejecutar la aplicación sólo uno de los mundos es visible, quedando el otro oculto (no

representado visualmente), esto permite el cambio fácil de escena. Nótese también la diferencia de tamaño de los dos mundos, que corresponde con las escalas reales de visualización.

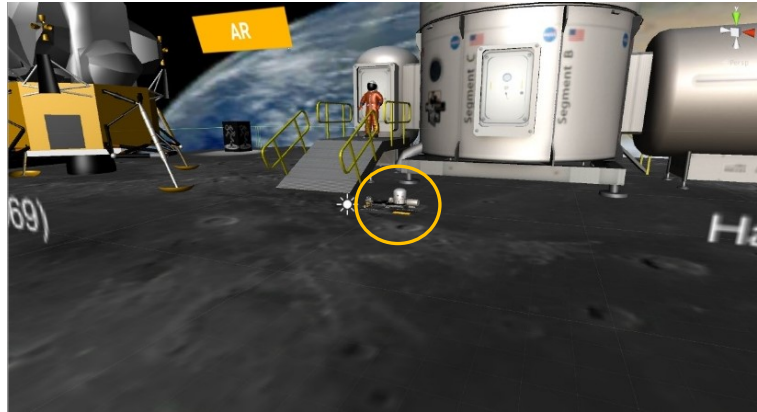


Figura 74: Los dos mundos en la misma escena durante la fase de desarrollo.

5.6.6. Metodología educativa

Teniendo en cuenta que son tecnologías conocidas, pero no muy utilizadas aún en el ámbito educativo, se diseñó el sistema de una forma muy visual y comprensible, poniendo extremo cuidado en la planificación y ejecución de las actividades que se realizaron. La instrucción inicial fue totalmente guiada y estructurada, con videos de formación, soporte verbal por parte del instructor e incluso uno a uno cuando fue necesario con ayuda por parte del instructor para guiar las acciones (McClannahan & Krantz, 1999) hasta que el usuario fue capaz de forma autónoma de comprender y usar el sistema. El conocimiento y habilidades previas que tenían los participantes podían ser factores claves en el éxito o fracaso del uso de estas tecnologías (Hörnecker & Dünser, 2009).

5.6.7. Realización de los experimentos

Antes de cada sesión de experimentos se verificaban que todos los materiales estuviesen listos para el desarrollo de la sesión: instalación de los programas, la carga de las baterías de los móviles, la limpieza de las lentes de las gafas de realidad virtual, de la pantalla de los móviles o de los auriculares, consiguiendo en todas las sesiones que los materiales y programas tuvieron una disponibilidad del 100% durante las actividades. No se registraron fallos destacables de los programas y los dispositivos móviles funcionaron como estaba previsto. Entre cada ronda de experimentos se reseteaban los dispositivos, se procedía a la limpieza de pantallas y adecuación de las gafas de realidad virtual y auriculares.

Cada grupo de participantes realizaba la experiencia de forma independiente, en una clase habilitada sólo para este fin. Cada experiencia comprendía varias etapas principales, excepto las pruebas sin intervención digital cuyas instrucciones eran relativamente simples.

- Fase de pre-prueba o entrenamiento.
- Fase de prueba.
- Fase posterior a la prueba.

Fase de pre-prueba

En esta fase, de duración variable según el experimento, se explicó a los participantes el propósito del experimento y en qué consistía. El participante es informado de que las respuestas recogidas en el cuestionario y los resultados referentes a él tienen carácter anónimo. Se daban las gracias

por su participación y se intentaba con un cierto lenguaje informal que los participantes se sintieran cómodos antes de empezar.

En los grupos con intervención digital se proyecta un vídeo específico para que se familiarizarasen con la actividad que iban a realizar. Cada video es diferente según la actividad y explica con detalle materiales a utilizar, cómo utilizarlos: marcadores de RA, gafas de realidad virtual -ajustes-, forma de interacción en los programas, uso del móvil (arranque de la aplicación, cierre de aplicaciones, cómo comenzar de nuevo).

Además del vídeo se explicaba *a posteriori*, o se paraba el vídeo para explicar mejor algún aspecto que no fuese comprendido perfectamente por los participantes.

Fase de prueba

Una vez que los participantes comprenden qué es lo que tienen que hacer y tienen el material listo y saben qué aplicación tienen que usar y la localizan en el teléfono. Se pide a los participantes que exploren o naveguen por cada escena.

Cada experiencia se realizaba en grupos de 10 participantes, cada actividad tenía el tiempo límite establecido como máximo en 40 minutos.

- GRUPO I (Sin intervención, método tradicional). Se proporcionaron los materiales (3 hojas de texto con fotografías y dibujos) con tiempo máximo para su lectura de 15 minutos. Los textos son explícitos y es bastante fácil su correlación con las preguntas posteriores de

evaluación. El mismo texto utilizado en esta actividad se proporcionó como audio a los participantes de los demás grupos.

- GRUPO II (Intervención con Realidad Aumentada, dispositivo móvil). Se dispone de 10 dispositivos móviles (con auriculares) y 10 conjuntos de marcadores para realizar la experiencia. El tiempo máximo para la prueba era de 15 minutos, una vez finalizada la fase de pre-pueba. Exploración de los modelos con los marcadores y audio descriptivo de la escena. La mayoría de las personas que realizaron esta actividad no agotaron el tiempo máximo.

- GRUPO III (Intervención con Realidad Virtual, gafas con dispositivo móvil). Se dispone de 10 dispositivos móviles (con auriculares) y 10 gafas de realidad virtual para realizar la experiencia. El tiempo máximo para la prueba era de 15 minutos. Exploración de los modelos en modalidad inmersiva (paseo por la escena) y audio descriptivo de la escena. La mayoría de las personas que realizaron esta actividad no agotaron el tiempo máximo, si bien es la actividad que más personas agotaron el tiempo, por disfrute y curiosidad personal.

- GRUPO IV (Intervención con Realidad Mixta, cambio de escenas de RA a RV, gafas con dispositivo móvil). Se dispone de 10 dispositivos móviles (con auriculares) 10 conjuntos de marcadores y 10 gafas de realidad virtual para realizar la experiencia. El tiempo máximo para la prueba era de 15 minutos. Exploración de los modelos con los marcadores en realidad aumentada y uso de la realidad virtual en modalidad inmersiva (paseo por la escena) y audio descriptivo de la escena. Es posible intercambiar entre las modalidades y escenas las

veces que sea necesario. La mayoría de las personas que realizaron esta actividad no agotaron el tiempo máximo previsto.

Fase de postprueba

En la fase de post-prueba se recordaba de forma continua la necesidad de realizar el cuestionario, en esta fase se orientó a varios alumnos en la descarga de alguna aplicación para la lectura de códigos bidimensionales.

Después de tomar notas sobre las impresiones y opiniones de los alumnos se volvían a preparar los materiales para la siguiente actividad. notas, etc....

5.7 Síntesis del capítulo

Se han descrito en este capítulo los objetivos de esta investigación, así como el diseño elegido para llevarla a cabo. En la presentación de los datos recogidos se ofrece información general acerca de los estudiantes participantes y de los instrumentos de recogida de datos. Son enumeradas las variables utilizadas y expresado el método seguido en la realización de los experimentos, incluyendo los medios utilizados y la forma en que fueron organizados.

Capítulo 6

Análisis de Datos

En el presente capítulo se exponen, una vez estructurados los datos, los diferentes análisis de los datos recogidos en la investigación. Se realizará en primera instancia una visión descriptiva de los datos y, posteriormente, se utilizarán diferentes técnicas estadísticas para un análisis más a fondo cuando sea necesario para clarificar las diferentes hipótesis o para incidir en las diferentes cualidades del objeto de estudio.

Se empieza este apartado con el contraste de la hipótesis de partida, para posteriormente, analizar el resto de variables muestreadas en el cuestionario, sin embargo, no podemos dejar de resaltar la importancia de algunas de las variables con respecto a otras que podemos considerar secundarias y, cuyo estudio es complementario del objeto principal de este trabajo de investigación.

El enfoque de las principales variables muestreadas exige una aproximación cuantitativa, mientras que para los campos de texto libre o para

indagar en hechos particulares (como el uso de gafas de realidad virtual) usaremos el enfoque cualitativo.

Para el análisis estadístico se han utilizado, principalmente por las características de los datos, métodos de contraste no paramétricos. Esta aproximación no paramétrica es debida a la heterogeneidad de los datos recabados, incluidas observaciones que pueden parecer atípicas, pero que viniendo de una evaluación con diferentes tipos de intervención se ha considerado que son reflejo de esto y no deben ser eliminados ni tratados con métodos robustos que puedan desvirtuar los resultados obtenidos.

Se han utilizado elementos típicos de la estadística descriptiva, como tablas de distribución de frecuencias y diferentes tipos de gráficos (barras, histogramas, circulares) para mostrar los datos recogidos de una forma clara.

Diferentes contrastes estadísticos han sido empleados, entre ellos el test de *Kolmogorov-Smirnov* para verificar la normalidad de las distribuciones o el test de *Kruskal-Wallis* para realizar comparaciones múltiples, también se han usado técnicas de correlación en algunos análisis.

6.1 Contraste de la hipótesis principal

El resultado numérico de la evaluación formal una vez finalizada cada actividad, es el motor de esta investigación. En esta investigación analizaremos estos datos por cada *Grupo*, entendiendo cada grupo como participante en una de las actividades. De esta forma consideramos cuatro agrupaciones según la actividad que realizaron:

- Grupo 1: sin intervención digital, usando métodos tradicionales.
- Grupo 2: usando realidad aumentada móvil.
- Grupo 3: usando realidad virtual con gafas de RV.
- Grupo 4: usando realidad aumentada y realidad virtual, en una aplicación con gafas de realidad virtual.

La hipótesis a contrastar es la principal o de partida, donde se trata de analizar si existen diferencias de desempeño, referido como tal al número de preguntas respondidas de forma correcta en las actividades realizadas entre los grupos participantes utilizando diferentes sistemas para el aprendizaje.

- *H₀: No existen diferencias estadísticamente significativas en la evaluación desempeñada de acuerdo con el sistema empleado.*
- *H_a: Existen diferencias estadísticamente significativas al menos en dos grupos en la evaluación desempeñada de acuerdo con el sistema empleado.*

Las respuestas obtenidas en el cuestionario fueron 180 y se procesaron el 100% de los casos: 28 del *Grupo 1*, 61 del *Grupo 2*, 54 del *Grupo 3* y 37 del *Grupo 4*.

	GRUPO	Válido		Casos Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
PUNTUACION	1	28	100,0%	0	0,0%	28	100,0%
	2	61	100,0%	0	0,0%	61	100,0%
	3	54	100,0%	0	0,0%	54	100,0%
	4	37	100,0%	0	0,0%	37	100,0%

Tabla 8: Resumen de procesamiento de casos evaluación.

Para decidir qué tipo de análisis es el adecuado para contrastar la igualdad de desempeño entre los grupos, analizaremos en primer lugar si los parámetros de la distribución de la variable a estudiar asumen las condiciones para realizar las pruebas o contrastes paramétricos. El análisis sobre variables cuantitativas requiere el cumplimiento de ciertos supuestos, entre ellos:

- Las observaciones deben ser independientes y no estar condicionadas entre ellas.
- La distribución de la variable debe seguir una distribución normal.
- Debe existir homogeneidad de varianzas -homocedasticidad-.
- Las variables implicadas deben ser de tipo lineal.

Algunos de los condicionantes expuestos se cumplen debido al carácter del experimento (carácter cuantitativo, observaciones independientes, linealidad). La normalidad de la distribución y la homogeneidad de la varianza son de la mayor importancia, para inferir sobre la normalidad de las cuatro muestras a comparar usaremos aproximaciones gráficas y en última instancia la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* para contrastar la hipótesis de normalidad, el nivel de significación será de $\alpha=0,05$ (intervalo de confianza del 95%):

- *H₀: El conjunto de datos siguen una distribución normal.*
- *H_a: El conjunto de datos no siguen una distribución normal.*

La variable que vamos a explorar es la puntuación total obtenida en la evaluación formal de la actividad. Es una variable, como hemos explicado anteriormente, con cuatro categorías: *Grupo 1*, *Grupo 2*, *Grupo 3* y *Grupo 4*.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Típica
Válido 1	28	,85	8,09	4,7379	2,05494
2	61	1,77	9,32	5,5957	1,87694
3	54	,080	8,78	4,1622	1,64920
4	37	,080	7,93	4,3638	1,78046
Total	180	,080	9,32	4,7790	1,90753

Tabla 9: Resultados de la Evaluación por Grupo.

Usaremos el diagrama de cajas y bigotes de las cuatro categorías para ver si existen diferencias significativas entre los grupos o para detectar *outliers* o saltos en los datos.

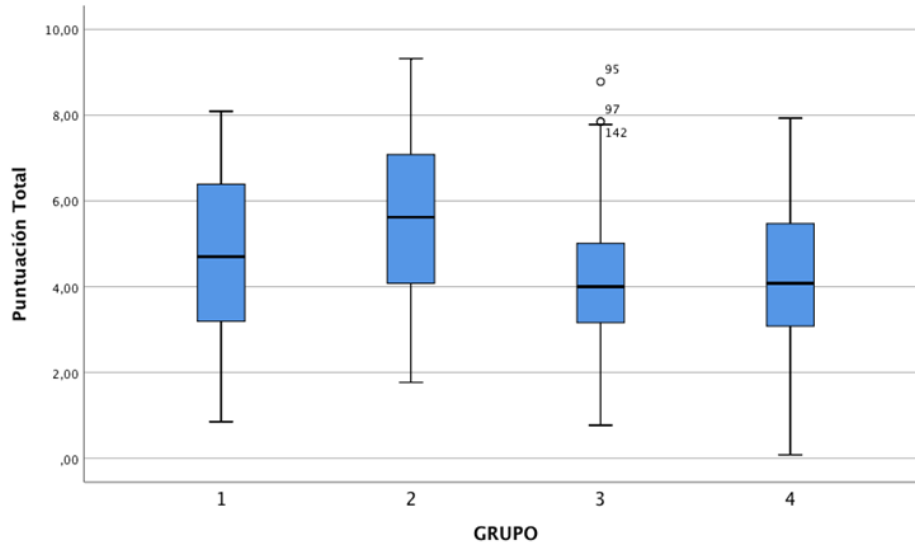


Gráfico 3: Puntuaciones totales por Grupo.

El programa de análisis estadístico utilizado para los datos cuantitativos ha sido *SPSS* (en la versión 21). El gráfico nos indica la

existencia en el *Grupo 3* de valores extremos (en las posiciones 95, 97 y 142), al mismo tiempo la caja es diferencialmente más reducida que en el resto de grupos. Las medianas de los grupos 1 y 2 tienen un valor mayor que las de los grupos 3 y 4. La mediana del *Grupo 4* está desplazada ligeramente hacia los valores inferiores.

Al respecto de los valores extremos algunos autores como Hoaglin y Iglewicz (1987) destacan que señalar este tipo de valores extremos basados en $x1,5$ veces la diferencia inter-cuartil (Q_3-Q_1) puede resultar inexacto aproximadamente en un 50% de las observaciones. Se revisaron los datos y si bien es cierto, que son datos en los extremos (sin superar $x3$ veces la diferencia inter-cuartil Q_3-Q_1) no se van a tratar de forma diferente al resto de los datos debido a la heterogeneidad de las observaciones inducido por las diferentes intervenciones que tuvieron lugar.

Las frecuencias observadas en los grupos para la puntuación obtenida se exponen a continuación:

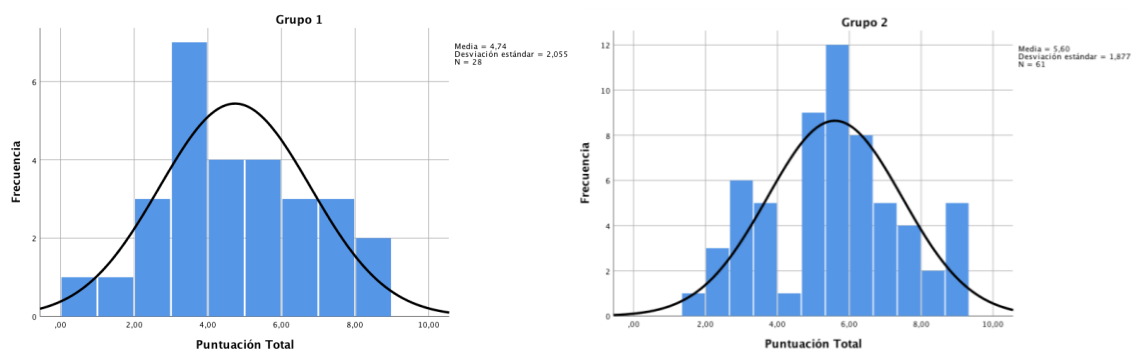


Gráfico 4: Distribución de frecuencias Grupo 1 y Grupo 2.

Para los *Grupos 1* ($M=4.74$; $DT=2.06$), *Grupo 2* ($M=5.60$; $DT=1.88$) y *Grupo 4* ($M=4.36$; $DT=1.78$), observamos como la curva normal ajusta relativamente bien, aunque no perfectamente a los datos.

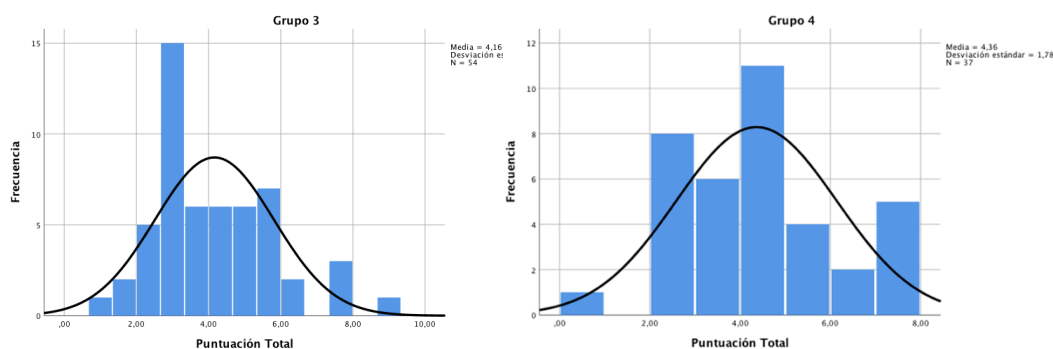


Gráfico 5 y 6: Distribución de frecuencias Grupos 3 y 4.

En el *Grupo 3* ($M=4.16$; $DT=1.65$), observamos como gran parte de los datos no ajustan bien a la curva normal, aparentemente no cumple la condición de normalidad. El coeficiente de asimetría dividido por su desviación ($754/325=2.32$) no encaja en el intervalo para una curva normal (-1.96, + 1.96), por lo que deberíamos considerar que la distribución del *Grupo 3* no sigue la distribución normal. Para verificar estas diferencias observadas y asumir la normalidad de los datos de los diferentes grupos realizamos la prueba de *Kolmogorov-Smirnov*. Se suele utilizar este contraste para muestras superiores a 50 observaciones, donde es un test más robusto que otro contraste usado de normalidad, el de *Shapiro-Wilk*, que para muestras inferiores a 50 observaciones parece dar mejores resultados.

El programa SPSS nos proporciona los datos relativos a estos dos contrastes:

	GRUPO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Total	1	,126	28	,200*	,959	28	,323
	2	,085	61	,200*	,977	61	,290
	3	,123	54	,040	,951	54	,027
	4	,097	37	,200*	,963	37	,248

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 10: Pruebas de normalidad. Kolmogorov-Smirnov y Saphiro-Wilk

Incluimos aquí los dos test, coincidiendo ambos en la misma observación de no normalidad en la muestra del *Grupo 3*, con un valor de significación de *.027*, siendo el resultado inferior al nivel de significación *.05* ($p < 0.05$) *rechazamos la hipótesis nula de normalidad* (las muestras proceden de poblaciones normales).

Por tanto, no sería apropiado usar métodos paramétricos como el análisis de la varianza ANOVA para inferir sobre las posibles diferencias entre los grupos, ya que los resultados de este método son muy sensibles a la violación del supuesto de normalidad. Adicionalmente los datos de la evaluación tienen un carácter cuasi-continuo, pero no son totalmente continuos, por lo que por esta vía también parece adecuado usar métodos no paramétricos para el análisis.

La alternativa no paramétrica a la ANOVA de un factor es el test de *Kruskal-Wallis*. Esta prueba no requiere que los datos sean normales, es una prueba libre de distribución, ya que en su lugar se utiliza la clasificación de los valores de los datos en lugar del valor real de los datos para el análisis (ranking por posición). También este test se utiliza en muestras relativamente pequeñas o con datos con saltos o muy irregulares e incluso se muestra bastante robusto con distribuciones normales. El test de *Kruskal-Wallis* es una extensión de la prueba *U de Mann-Whitney* para tres o más grupos, que se utiliza para variables cuantitativas, con nivel de medida ordinal.

El test de *Kruskal-Wallis* nos aporta los siguientes resultados:

	GRUPO	N	Rango promedio
Puntuación Total	1	28	90,30
	2	61	112,75
	3	54	73,03
	4	37	79,46
	Total	180	

Tabla 11: Rangos promedio de la puntuación por grupo.

Revisando la *Tabla 11* de rangos promedio podemos observar que los rangos de los *Grupos 1 y 2* son más altos que los de los *Grupos 3 y 4*, lo que induce a pensar que el desempeño de estos dos grupos (*1 y 2*) ha sido mejor que el de los *Grupos 3 y 4*. El estadístico de prueba de *Kruskal-Wallis* nos proporciona el siguiente resultado:

Estadísticos de prueba^{a,b}

	Puntuación Total
H de Kruskal-Wallis	18,886
gl	3
Sig. asint.	,000

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: GRUPO

Tabla 12: Resultado del Test de Kruskal-Wallis de la comparación entre grupos.

El resultado obtenido es significativo, el *p-valor* = .000; es menor que el nivel de significación ($p < 0.05$) rechazamos la hipótesis nula de igualdad entre los grupos y aceptamos la hipótesis alternativa de que al menos existen diferencias en dos grupos. Haremos un análisis *Post Hoc* para verificar estas diferencias, mediante las opciones en *SPSS* de los nuevos diálogos del programa, el resultado que nos devuelve al realizar la prueba de *Kruskal-Wallis* es:

Resumen de prueba de hipótesis

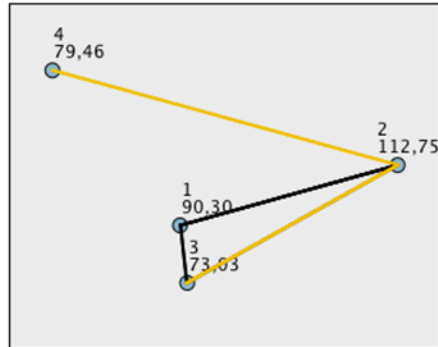
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Puntuación Total es la misma entre las categorías de GRUPO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Tabla 13: Resultado del Test de Kruskal-Wallis de la comparación entre grupos, nuevos diálogos de SPSS.

Este resultado, como no puede ser de otra forma, avala lo visto anteriormente (se rechaza la igualdad entre los grupos) y nos permite analizar los datos por parejas para averiguar más sobre las diferencias encontradas. En la siguiente figura (*Gráfico 7*) el análisis *Post Hoc* del contraste nos muestra la distancia entre los grupos, mediante el análisis por parejas.

Comparaciones entre parejas de GRUPO



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de GRUPO.

Muestra 1-...	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
3-4	-6,432	11,113	-,579	,563	1,000
3-1	17,276	12,126	1,425	,154	,926
3-2	39,726	9,729	4,083	,000	,000
4-1	10,844	13,043	,831	,406	1,000
4-2	33,295	10,850	3,069	,002	,013
1-2	-22,451	11,886	-1,889	,059	,354

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas.
Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05.
Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni

Gráfico 7: Análisis PostHoc de Kruskal-Wallis

El resultado final de esta prueba para evaluar las diferencias entre las cuatro modalidades de intervención sobre la mediana de la puntuación obtenida en la evaluación proporciona un valor de $H=18.886$. La proporción de variabilidad en la variable dependiente clasificada representada por la variable de tratamiento (sistema empleado) fue de $p=.000$, lo que indica una relación bastante fuerte entre el sistema empleado y la puntuación total obtenida en el test.

Para controlar el error de *Tipo I* se utilizó el enfoque de *Bonferroni*. Los resultados de estas pruebas indicaron una diferencia significativa en el desempeño entre el grupo de que utilizó realidad aumentada y los grupos que utilizaron realidad virtual y realidad mixta. Siendo de forma general el *Grupo 2* el de mejor rendimiento, por tanto, rechazamos la hipótesis nula de igualdad entre grupos en el desempeño según sistema empleado y aceptamos la hipótesis alternativa: *Existen diferencias estadísticamente significativas al menos en dos grupos en la evaluación desempeñada de acuerdo con el sistema empleado.*

6.2 Contraste de la hipótesis de igualdad entre Grupos en Matemáticas

Contrastaremos esta hipótesis derivada de la principal en la investigación, donde se trata de analizar si existen diferencias de desempeño en la evaluación parcial de la actividad, en este caso referidas a las preguntas con contenido matemático (estimación de superficies, longitudes e identificación de cuerpos y formas geométricas). La puntuación se corresponde con el número de preguntas respondidas de forma correcta en las actividades realizadas entre los grupos participantes que han utilizado los diferentes sistemas de intervención.

- *H₀: No existen diferencias estadísticamente significativas en el desempeño matemático en la evaluación de acuerdo con el sistema empleado.*

- *H_a: Existen diferencias estadísticamente significativas en el desempeño matemático en la evaluación de acuerdo con el sistema empleado.*

Los pasos a seguir para este apartado son los mismos que los mostrados en el punto anterior, vamos por tanto con los cálculos omitiendo los comentarios teóricos ya anteriormente expuestos.

La variable que vamos a explorar es la puntuación parcial obtenida en la evaluación formal de la actividad, referida a las cuestiones matemáticas, principalmente estimación de superficies, alturas y reconocimiento de figuras y cuerpos geométricos.

		N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Típica
Válido	1	28	,77	5,78	2,8404	1,62047
	2	61	,77	6,39	3,6392	1,37104
	3	54	,00	6,47	2,7220	1,25489
	4	37	,08	5,62	2,8238	1,24381
	Total	180	,00	6,47	3,0722	1,40402

Tabla 14: Resumen por Grupo en los ítems con carácter matemático

Al ser evaluación parcial el rango de puntos obtenido se encuentra en un rango con recorrido más corto (0-6.92) que para la variable total de la puntuación (0-10). Usaremos el diagrama de cajas y bigotes de las cuatro muestras para ver si existen diferencias significativas en los datos o para detectar *outliers* o saltos en los datos:

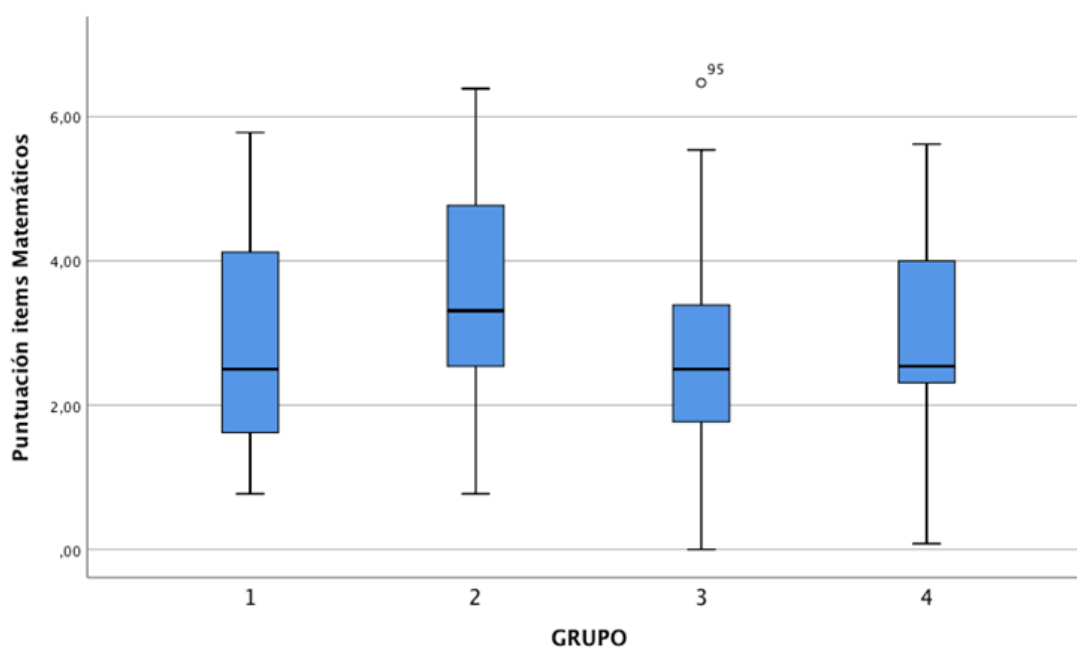


Gráfico 8: Resumen de la Puntuación total en ítems matemáticos.

El Grupo 3 ($M=2.72$; $DT=1.25$) presenta un valor extremo en la posición 95, y en el Grupo 4 ($M=2.82$; $DT=1.24$) la mediana se sitúa en el extremo inferior cerca del primer cuartil.

Las frecuencias observadas en los grupos para la puntuación obtenida se exponen a continuación:

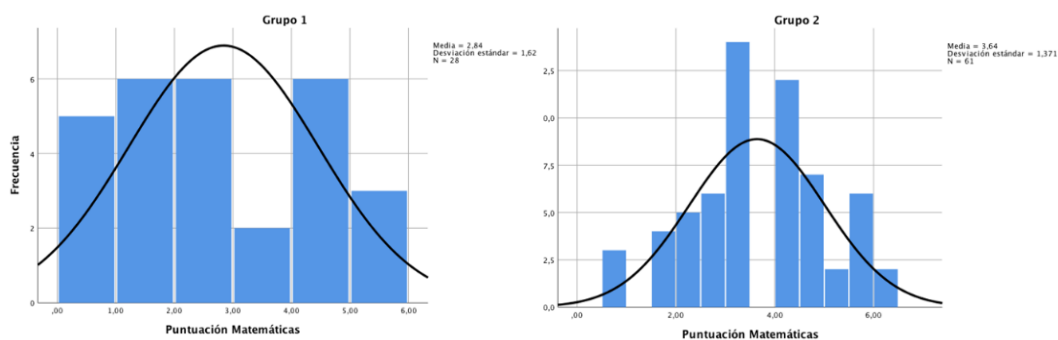


Gráfico 9: Distribución de frecuencias de la puntuación matemática, Grupos 1 y 2.

El *Grupo 1* ($M=2.84$; $DT=1.62$) es bastante homogéneo, exceptuando entre los valores de puntuación 3 y 4. El *Grupo 2* ($M=3.64$; $DT=1.37$) y el *Grupo 3* ($M=2.72$; $DT=1.25$) presentan saltos en algunos de los valores.

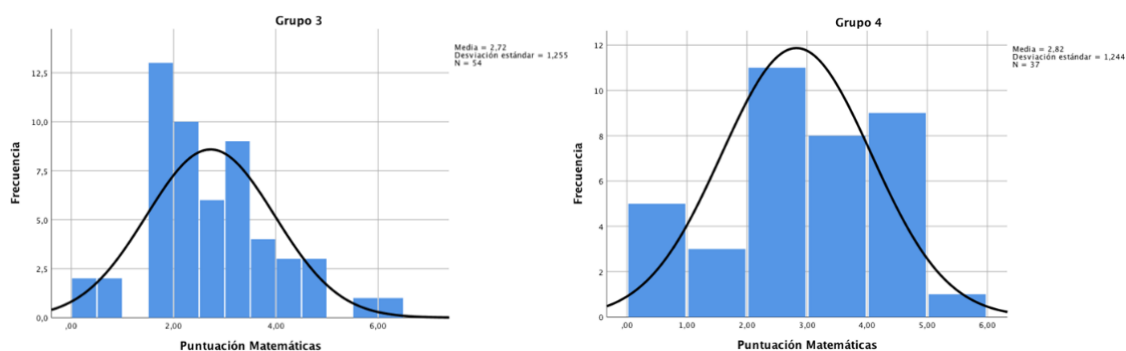


Gráfico 10: Distribución de frecuencias de la puntuación matemática, Grupos 3 y 4.

En el *Grupo 3* ($M=2.72$; $DT=1.25$) vemos que existen dos saltos, uno en cada zona de la distribución y, como en el caso visto para la puntuación total presenta bastantes datos fuera de la campana. Para contrastar la normalidad de los datos de los diferentes grupos realizamos nuevamente la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* y el contraste de *Shapiro-Wilk*.

	GRUPO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación ítems Matemáticos	1	,181	28	,020	,914	28	,025
	2	,103	61	,172	,977	61	,309
	3	,150	54	,004	,966	54	,135
	4	,124	37	,166	,972	37	,459

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 15: Pruebas de normalidad. *Kolmogorov-Smirnov* y *Saphiro-Wilk*

Incluimos los dos test que coinciden en la misma observación de no normalidad en la muestra del *Grupo 1*, con un p valor de .025 para *Shapiro-Wilk* y de .020 para *Kolmogorov-Smirnov*, para el *Grupo 3* el resultado es dispar entre las dos pruebas, si bien el test de *KS* se suele utilizar con

muestras mayores a 50 observaciones, por lo que a efectos prácticos consideramos que el *Grupo 3* tampoco presenta la cualidad de normal.

Rechazamos la hipótesis nula de que las muestras proceden de poblaciones normales. Como en el ejercicio anterior usaremos la prueba no paramétrica alternativa a la ANOVA de un factor que es el test de *Kruskal-Wallis*.

El test de Kruskal-Wallis nos aporta los siguientes resultados:

	GRUPO	N	Rango promedio
Puntuación items Matemáticos	1	28	80,61
	2	61	111,96
	3	54	76,19
	4	37	83,49
	Total	180	

Tabla 16: Resumen de Rangos Promedio.

Como en el caso de la puntuación global el *Rango* correspondiente al *Grupo 2* es significativamente mayor que el del resto de los grupos, estando más igualados entre el resto de los grupos.

Estadísticos de prueba^{a,b}

	Puntuación items Matemáticos
H de Kruskal-Wallis	16,135
gl	3
Sig. asint.	,001

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: GRUPO

Tabla 17: Resultado del test de Kruskal-Wallis

El resultado obtenido es significativo, el *p-valor* =.001; es menor que el nivel de significación ($p < 0,05$) rechazando la hipótesis de igualdad entre los grupos y aceptando la hipótesis alternativa de que al menos existen diferencias en dos grupos. Haremos un análisis *Post Hoc* para verificar estas diferencias, mediante las opciones en SPSS de los nuevos diálogos del programa, el resultado que nos devuelve al realizar la prueba de *Kruskal-Wallis* es:

Resumen de prueba de hipótesis

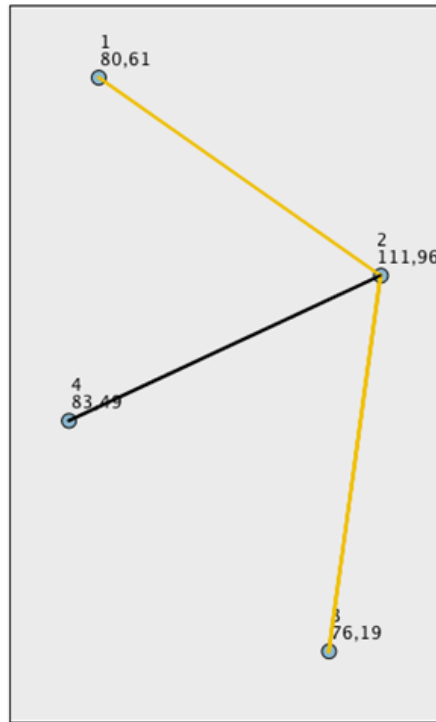
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Puntuación items Matemáticos es la misma entre las categorías de GRUPO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Tabla 18: Resultado del Test de Kruskal-Wallis de la comparación entre grupos, nuevos diálogos de SPSS.

Este resultado, como no puede ser de otra forma, avala de forma sencilla lo visto anteriormente (se rechaza la igualdad entre los grupos) y nos permite analizar los datos por parejas para averiguar más sobre las diferencias encontradas. En la siguiente figura (*Gráfico 11*) el análisis *Post Hoc* nos muestra la distancia entre los grupos, mediante el análisis por parejas.

Comparaciones entre parejas de GRUPO



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de GRUPO.

Muestra 1-...	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
3-1	4,413	12,120	,364	,716	1,000
3-4	-7,292	11,107	-,657	,511	1,000
3-2	35,765	9,724	3,678	,000	,001
1-4	-2,879	13,036	-,221	,825	1,000
1-2	-31,352	11,880	-2,639	,008	,050
4-2	28,473	10,845	2,625	,009	,052

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni

Gráfico 11: Resultado del análisis por parejas.

Rechazamos la hipótesis nula de igualdad y aceptamos la hipótesis alternativa: Existen diferencias estadísticamente significativas al menos en

dos grupos en la evaluación desempeñada en los ítems matemáticos de acuerdo con el sistema empleado.

Se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para evaluar las diferencias entre las cuatro modalidades de intervención (sin intervención, realidad aumentada, realidad virtual y realidad mixta) sobre la mediana de la puntuación obtenida en la evaluación de matemáticas ($H=16.135$, $p=0.01$), lo que indica una relación bastante fuerte entre el sistema empleado y la puntuación de los ítems matemáticos obtenida en el test.

Se llevaron a cabo pruebas de seguimiento para evaluar las diferencias entre parejas entre los cuatro grupos, controlando el error de Tipo I a través de las pruebas utilizando el enfoque de *Bonferroni*. Los resultados de estas pruebas indicaron una diferencia significativa entre el grupo que utilizó la realidad aumentada y el grupo que utilizó realidad virtual, así mismo existen diferencias, en el límite del valor de significación, entre el rendimiento del *Grupo 2* y el *Grupo 1* (sin intervención). Siendo el Grupo con mejor desempeño el que realizó las actividades con realidad aumentada, que corresponde al *Grupo 2*.

6.3 Desempeño por género

La hipótesis a contrastar es una hipótesis derivada de la principal, donde se trata de analizar si existen diferencias de desempeño en la evaluación con respecto al género. Analizamos los dos casos anteriores conjuntamente (Evaluación total y parcial correspondiente a ítems matemáticos). La puntuación se corresponde con el número de preguntas

respondidas de forma correcta en las actividades realizadas entre los grupos participantes que han utilizado diferentes sistemas.

Los pasos a seguir para este apartado son los mismos que hemos realizado para las evaluaciones anteriores.

	2-Género	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Típica
5-Puntuación items Matemáticos	Hombre	67	,08	6,47	3,1561	1,43426
	Mujer	113	,00	6,39	3,0224	1,38982
7- Puntuación Total	Hombre	67	,08	8,93	5,0409	1,86712
	Mujer	113	,077	9,32	4,6237	1,92242

Tabla 19: Puntuaciones por género en las evaluaciones.

Las frecuencias observadas en los grupos según el tipo de evaluación se exponen a continuación:

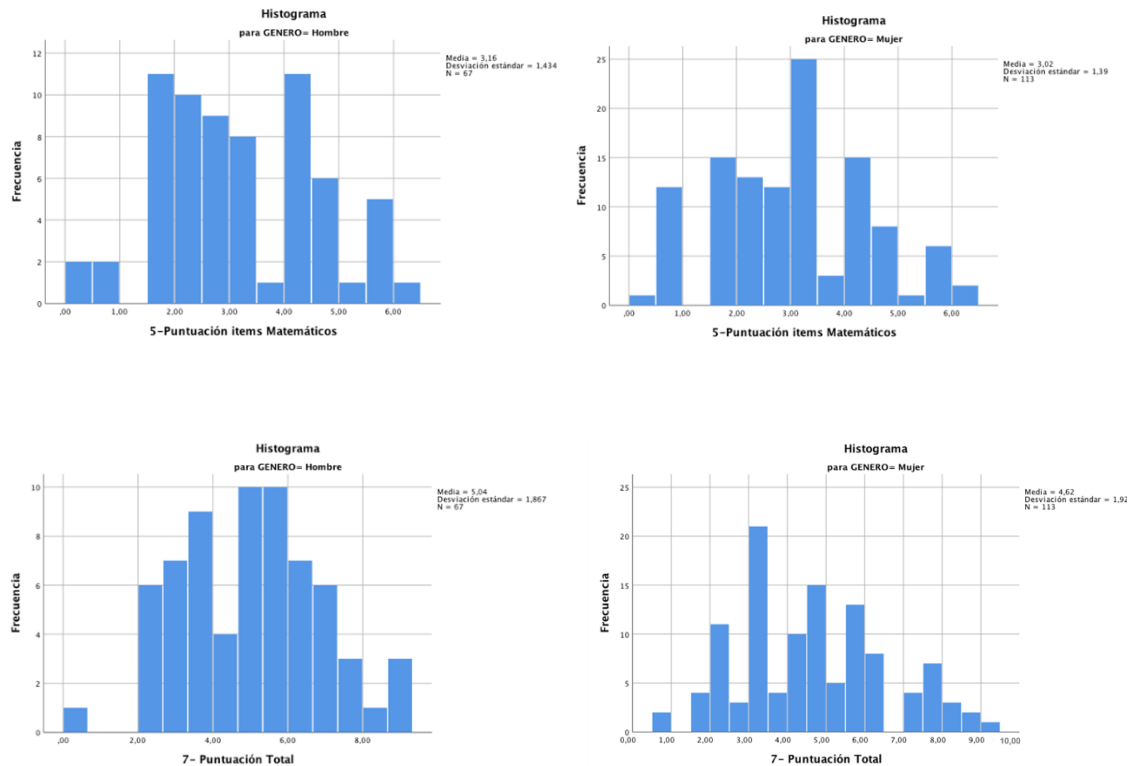


Gráfico 12: Distribución de frecuencias por puntuación y género.

Para contrastar la normalidad de los datos de los diferentes grupos realizamos la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* y el contraste de *Shapiro-Wilk*.

	2-Género	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
5-Puntuación ítems Matemáticos	Hombre	,159	67	,000	,969	67	,098
	Mujer	,099	113	,008	,977	113	,049
7- Puntuación Total	Hombre	,085	67	,200*	,979	67	,310
	Mujer	,116	113	,001	,967	113	,007

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 20: Prueba de normalidad KS.

Incluimos los dos test que coinciden en la misma observación de no normalidad para algunas de las muestras, tomamos en este caso el test de *Kolmogorov-Smirnov* estrictamente, ya que las muestras son superiores a 50 observaciones.

En la realización del contraste *U de Mann-Whitney* el nivel de significación de la prueba para la puntuación de los ítems matemáticos es de .599 y para la puntuación total es de .118, por lo que en estos apartados aceptamos la hipótesis de igualdad de desempeño independientemente del género del participante.

En la siguiente tabla vemos el resumen de la prueba *U de Mann-Whitney* para las diferentes puntuaciones.

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de 5-Puntuación items Matemáticos es la misma entre las categorías de GenBin.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,599	Retener la hipótesis nula.
3	La distribución de 7- Puntuación Total es la misma entre las categorías de GenBin.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,118	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Tabla 21: Prueba U de Mann-Whitney sobre las puntuaciones por género

6.4 Dimensión Uso del Móvil

Las actividades se realizaron con dispositivos móviles, el descubrimiento del uso que hacen actualmente del móvil los participantes, nos ayudará de una forma descriptiva y cualitativa a complementar la información de las experiencias realizadas.

¿Usas de forma habitual un dispositivo móvil?

En este apartado se indaga sobre la incidencia del uso cotidiano del dispositivo móvil por parte de los participantes. De todas las personas que participaron en este estudio, únicamente dos participantes (1.1%) confesaron

no usar un dispositivo móvil habitualmente. El resto de los participantes (98.9%) confirmaron hacer un uso del dispositivo móvil de forma habitual.

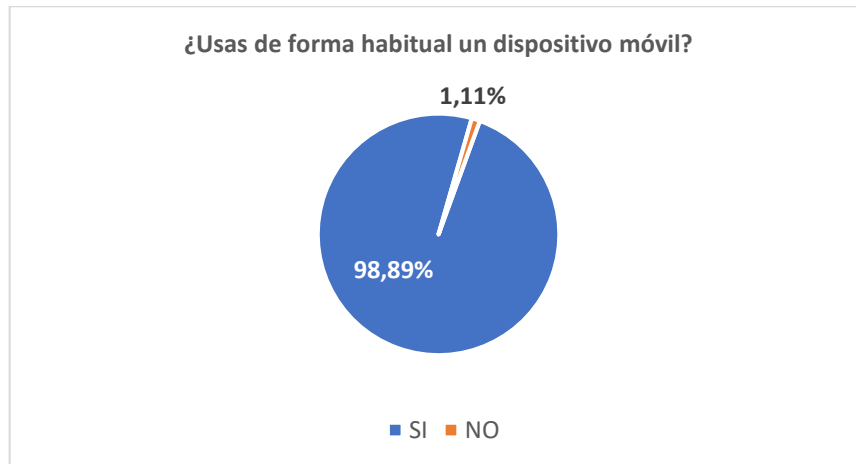


Gráfico 13: Uso habitual del dispositivo móvil por los participantes

Los dos participantes que indicaron que no usaban el dispositivo móvil de forma habitual eran mujeres y estaban encuadrados entre los participantes que realizaron la actividad más compleja, la de realidad mixta (realidad aumentada, realidad virtual), correspondiente al *Grupo 4*. Sus notas en la evaluación estuvieron por debajo de la media de su grupo, sin embargo con tan poca muestra y al usarse el dispositivo móvil en el interior de las gafas de realidad virtual no se puede inferir ningún tipo de conclusión.

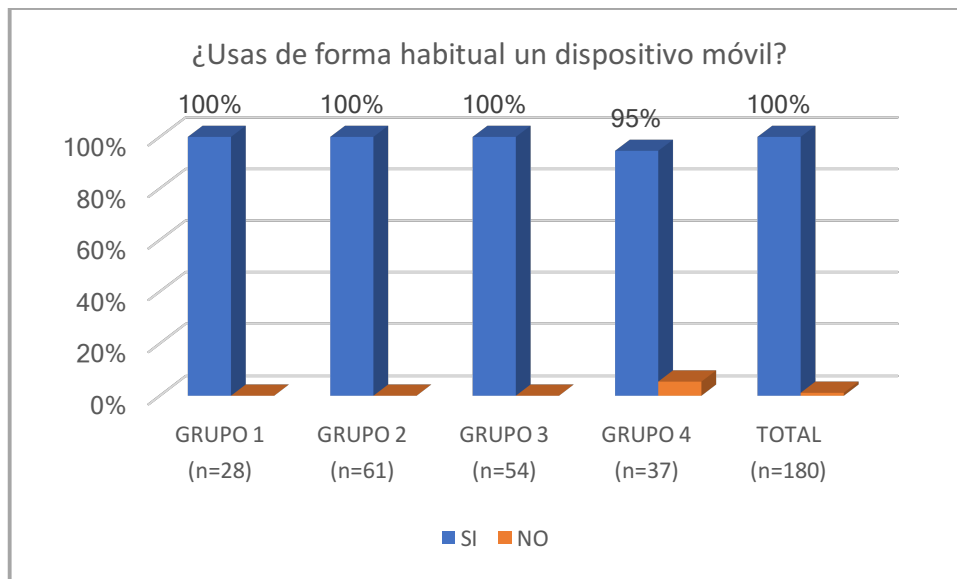


Gráfico 14: Uso habitual del dispositivo móvil por los participantes por Grupo

Sistema Operativo del Dispositivo Móvil

La mayoría de los participantes disponen de dispositivo móvil con sistema operativo Android (71.3%), frente a los que indican que su móvil dispone de sistema operativo de Apple (iOS: 24.2%). Dos participantes (1.1%) indicaron disponer de dos móviles con diferentes sistemas operativos de forma habitual (Android, iOS) y un pequeño porcentaje (3.4%) no sabía cuál era el sistema operativo de su dispositivo o era diferente de los especificados anteriormente.

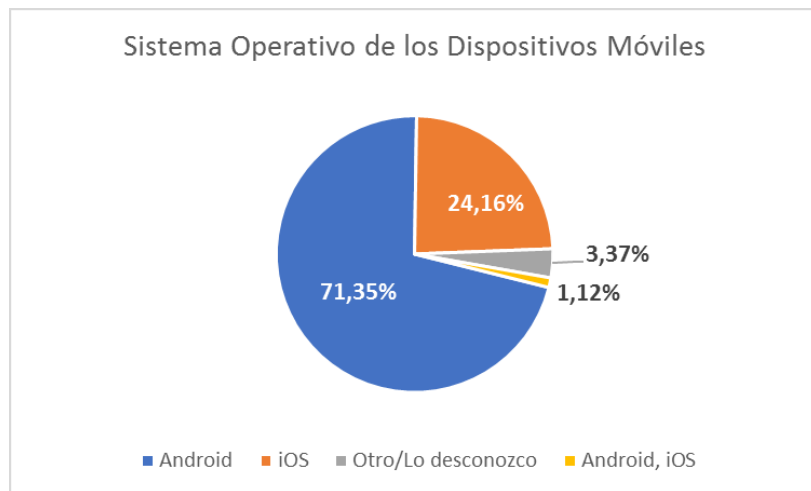


Gráfico 15: Sistema operativo de los dispositivos móviles.

En la figura (*Gráfico 16*) podemos observar las diferencias por grupos, el grupo con menor distancia entre los dos sistemas operativos es el *Grupo 2* (Android 62%, iOS 36%), seguido por el *Grupo 3* (Android 70%, iOS 30%). La actividad 2 -realidad aumentada- (*Grupo 2*) fue realizada con dispositivos móviles Android, podría haber representado una desventaja añadida para los usuarios de iOS, sin embargo, el entrenamiento previo a las actividades y la asistencia durante los experimentos por parte del equipo investigador tiende a minimizar la incidencia de este efecto sobre el resultado.

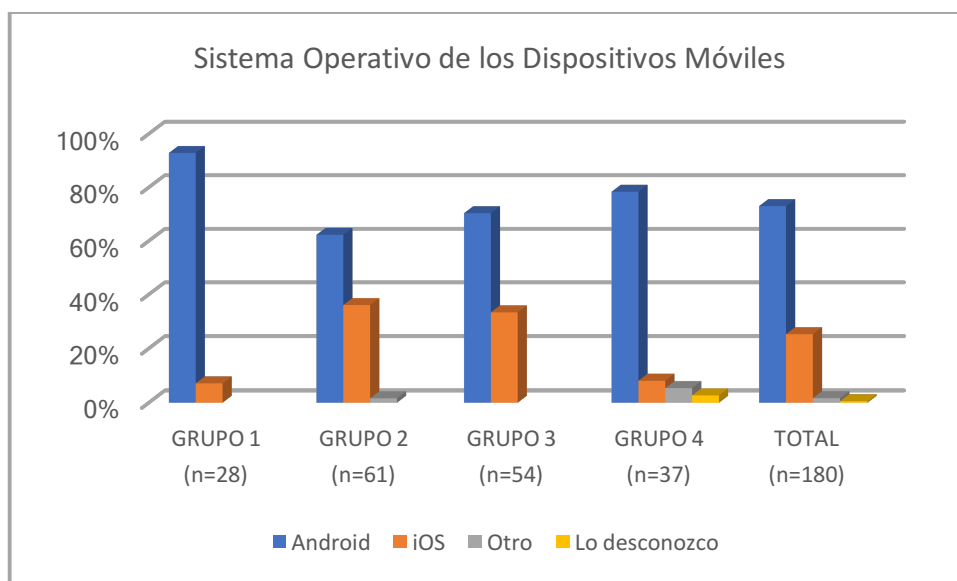


Gráfico 16: Sistema operativo de los dispositivos móviles por Grupo.

Indícanos qué usos le das al teléfono móvil

Es una pregunta de selección con ocho ítems diferentes, la *Tabla 22* siguiente resume el uso y el porcentaje de casos en que se ha usado.

Es de destacar el bajo uso, apenas un 13.9%, de los mensajes de texto tradicionales (SMS) en oposición a los sistemas de mensajería instantáneos, con casi un 99% de uso por parte de los participantes.

Los apartados relacionados con consumo de datos son los servicios más utilizados, por encima del 90% en promedio: uso de mensajería instantánea 98.9%, acceder a redes sociales 98.3%, navegar por internet 97.2% y hacer uso de las cuentas de correo electrónico (85%). El 96.1% de los participantes utilizan su teléfono móvil para captar multimedia (fotografía y video). Los servicios de ubicación son usados por el 91.7% de los

encuestados. El 75.6% de los participantes realizan llamadas de voz con sus dispositivos de forma habitual.

	N	Porcentaje de casos	
\$UsoMovil ^a	Hacer llamadas de Voz	136	75,6%
	Enviar mensajes de texto tradicionales (SMS)	25	13,9%
	Usar mensajería instantánea (Whatsapp o similar)	178	98,9%
	Hacer fotos o grabar vídeo	173	96,1%
	Acceder a Internet	175	97,2%
	Acceder a Redes Sociales	177	98,3%
	Acceder al correo electrónico	153	85,0%
	Usar Mapas, sistema de Navegación	165	91,7%

Tabla 22: Uso del dispositivo móvil en función del grupo.

En lo que se refiere a si existen diferencias significativas entre los grupos que han realizado las actividades digitales que puedan condicionar o sesgar los datos de la investigación, podemos observar en la siguiente agrupación que no existen diferencias significativas en cuanto al uso del móvil se refiere teniendo en cuenta la actividad realizada. El grupo que hace un uso más intensivo del dispositivo móvil es el *Grupo 1*, que sin embargo no participó en las actividades digitales.

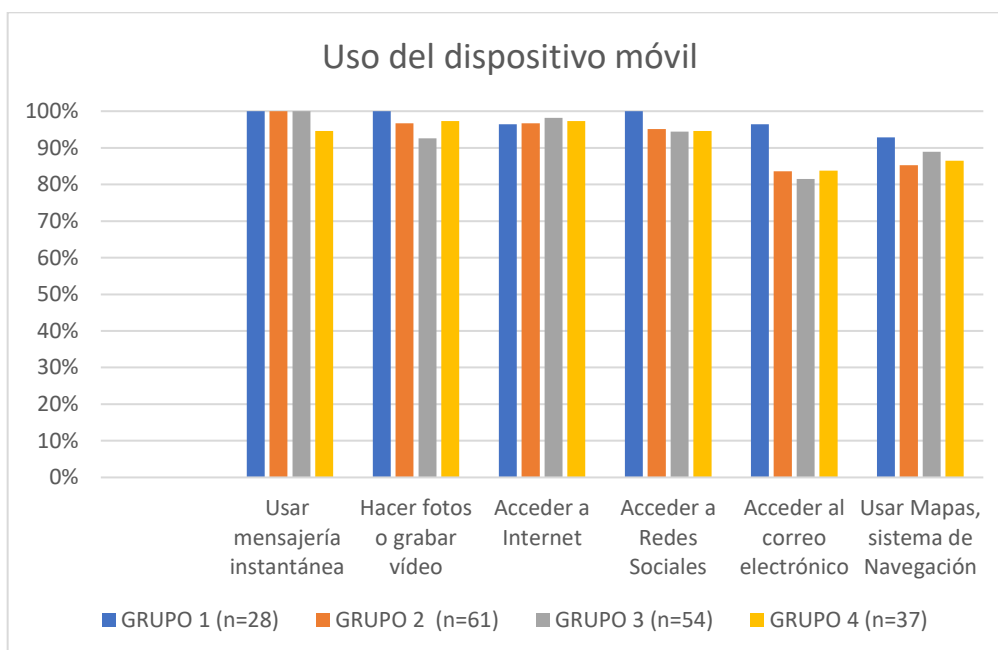


Gráfico 17: Uso del dispositivo móvil en función del grupo.

Soy capaz de realizar las siguientes acciones

Esta pregunta de carácter múltiple también explora el uso del móvil, en contraste con la pregunta anterior, en esta pregunta se requieren ciertas habilidades de orden superior, que no suelen realizarse de una forma tan habitual. Las acciones que se realizan en este apartado requieren un conocimiento más profundo del dispositivo móvil, son funciones más avanzadas que el uso de las funciones básicas.

En 4 casos (2.2%) no se marcó ninguna opción -correspondiendo con una persona de los Grupos 2 y 4 y dos personas del Grupo 4-, por lo que suponemos que no saben realizar ninguna de las acciones descritas. Las respuestas recibidas en este apartado han sido 176. Casi un 97% de los participantes (Grupo 1= 96%, Grupo 2= 98%, Grupo 3= 93% y Grupo 4 =

100%) afirman que son capaces de instalar aplicaciones en sus dispositivos, y un 88.6% en global son capaces de configurar cuentas personales.

El dato más significativo de este apartado es el bajo porcentaje de participantes capaces de formatear el dispositivo, si lo comparamos con otros ítems de los usos del apartado anterior y de este apartado, que baja hasta un 66% en global y en el caso del *Grupo 4* en particular tiene un valor apenas del 49%.

		N	Porcentaje
\$CapacitacionMovil ^a	Instalar Aplicaciones	176	100,0%
	Formatear el dispositivo	116	65,9%
	Configurar cuentas personales	156	88,6%

Tabla 23. Uso avanzado del móvil.

En lo que se refiere a si existen diferencias significativas entre los grupos que han realizado las actividades digitales, el uso que hacen es bastante similar. Podemos observar en la siguiente agrupación, exceptuando el caso del *Grupo 4* comentado, que no existen diferencias significativas en cuanto al uso del móvil se refiere.

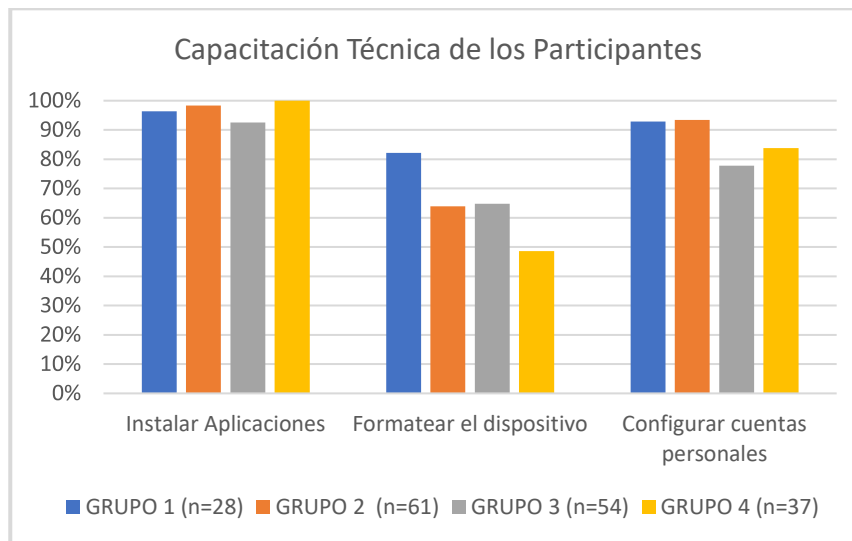


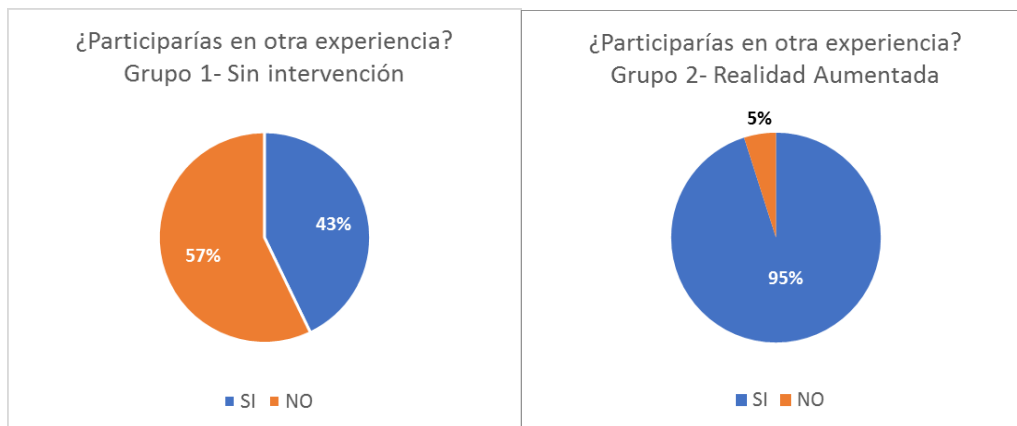
Gráfico 18: Uso avanzado del móvil.

6.5 Dimensión Motivación

¿Participarías en otras actividades parecidas si se te propusiera?

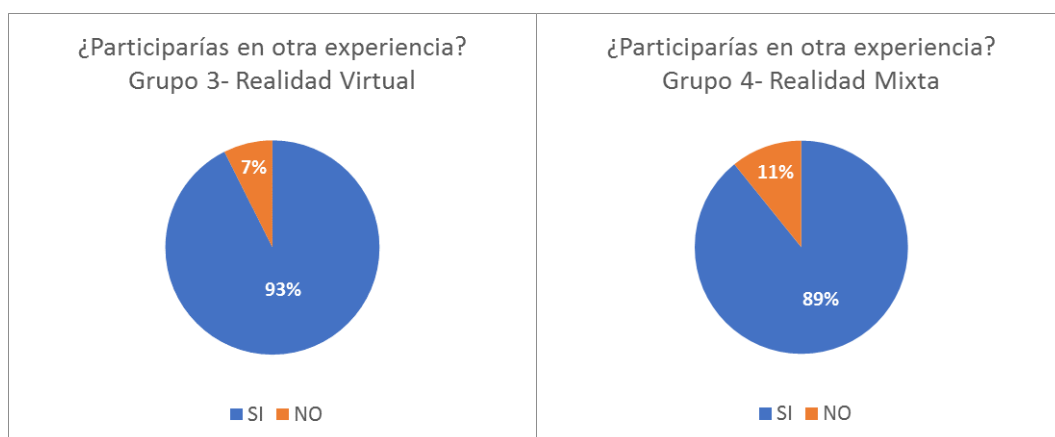
La intención de colaborar en otras investigaciones con actividades similares ha dependido en gran medida en los diferentes sistemas empleados. Como era de esperar el grupo que realizó la actividad basada en métodos tradicionales de aprendizaje fue el más reacio a la hora de expresar su intención de participar en próximas actividades, cerca del 57% no estuvo dispuesto a participar nuevamente en una actividad similar.

Los datos relativos a los diferentes grupos que han realizado las actividades con los diferentes medios digitales se muestran en los *Gráficos 19 y 20*.



Gráficos 19 y 20. Intención de participación en otras actividades Grupos 1 y 2.

Los participantes que realizaron la actividad de realidad aumentada sin gafas de realidad virtual (Grupo 2) expresan su intención de participar nuevamente en actividades similares en un 95% de los casos. Seguidos por los participantes que realizaron la actividad de realidad virtual, con un porcentaje de intención de participación del 93%.



Gráficos 21 y 22. Intención de participación en otras actividades Grupos 3 y 4.

El porcentaje baja hasta el 89% en los participantes que realizaron la actividad de realidad mixta, estas diferencias pueden ser producidas por la mayor complejidad del uso de la aplicación del *Grupo 4*.



Gráfico 23. Intención de participación en otras actividades total de participantes.

La intención de participación en nuevas actividades, en promedio, de los encuestados que utilizaron medios digitales fue del 92.3%, frente al 43% de los que no los usaron. En el global de todos los alumnos participantes la gran mayoría (85%) estarían dispuestos a repetir experiencia frente al 15% que no, lo que indica que existe una muy buena disposición por parte de los alumnos para colaborar en la participación nuevamente en este tipo de actividades, sobre todo si se utilizan métodos diferentes a los habituales.



Gráfico 24: Intención de participación en otras actividades por grupos.

El *Grupo 2* es de todos los grupos el que está dispuesto en mayor porcentaje (95%) a participar en actividades similares, este dato proporciona una visión complementaria al mejor desempeño global de este grupo, ya que parece que se sienten más cómodos que otros grupos durante el desarrollo de la actividad.

¿Te ha parecido interesante la actividad?

La escala de actitud comprende una valoración del 1 al 6, con valores comprendidos entre *Muy Interesante-Muy indiferente*, que se corresponden con los valores indicados, las respuestas obtenidas se muestran a continuación. Se analizan las respuestas en función del Grupo.

Grupo 1

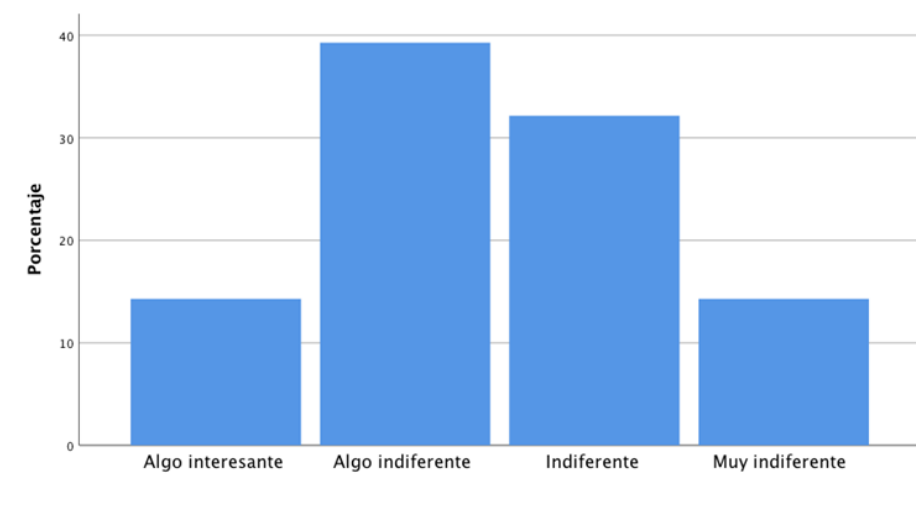


Gráfico 25: Grado de interés de la actividad. Grupo 1

El *Grupo 1* (sin intervención digital) no tiene ninguna puntuación en los valores más positivos de la escala (Interesante, Muy interesante), destacando los valores medios en la escala con carácter indiferente o negativo, el 40% de los respondientes se sitúan en el bloque “Algo indiferente” y el 32% en “Indiferente”. Este carácter de indiferencia parece estar relacionado con el tipo de actividad realizada, donde no se han utilizado medios digitales y les parece una actividad normal dentro del desarrollo en las aulas.

Grupo 2

Los datos recogidos para el *Grupo 2* (realidad aumentada) se muestran en el Gráfico 26. Existiendo respuestas en toda la escala de medición, destacando claramente (61%) los participantes que opinan que la actividad les ha parecido “Muy Interesante”, seguidos por los participantes que opinan que la actividad les ha parecido “Interesante” (13%).

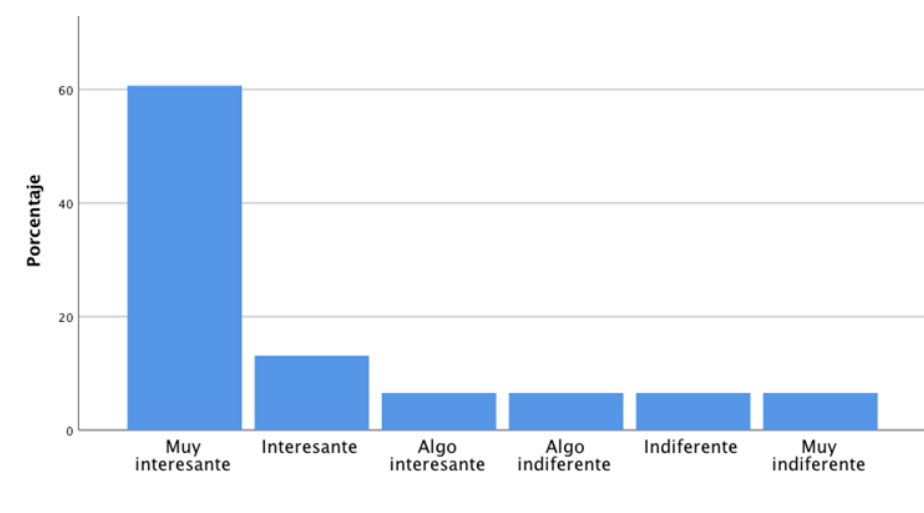


Gráfico 26: Grado de interés de la actividad. Grupo 2

Grupo 3

Los datos recogidos para el *Grupo 3* (realidad virtual) se muestran en el Gráfico 27. Existiendo respuestas en toda la escala de medición, destacando las respuestas en los apartados “Interesante” (39%) y “Muy interesante” (24%). El 74% de los participantes expresan en global que la actividad es en cierto grado interesante, frente al 26% que opina que no es interesante, el 5.5% (3 participantes) se sitúan en la parte más baja de la escala, opinando que la actividad no es en absoluto interesante.

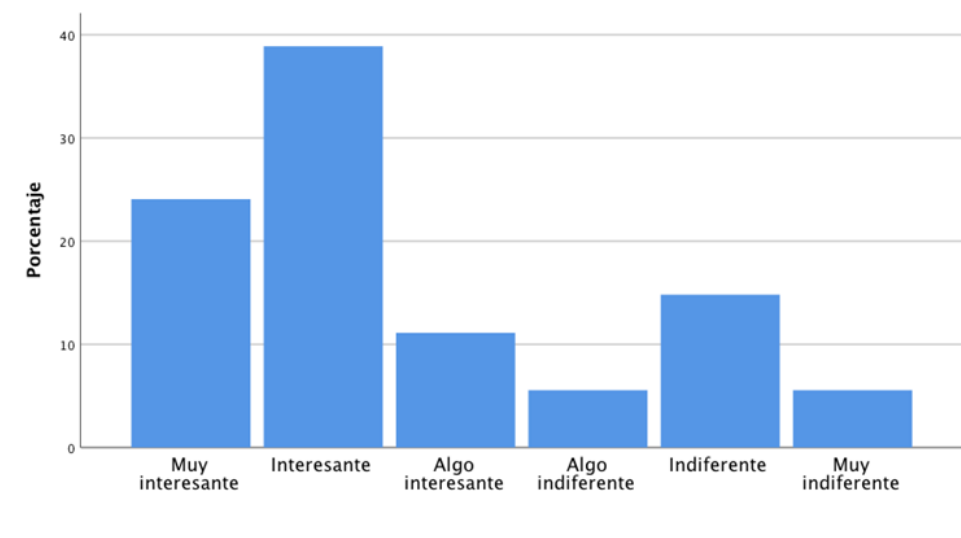


Gráfico 27: Grado de interés de la actividad. Grupo 3

Grupo 4

Los datos recogidos para el *Grupo 4* (realidad mixta) se muestran en el *Gráfico 28*. Existiendo respuestas en toda la escala de medición, destacando las respuestas en los apartados “Muy Interesante” (32.4%) e “Interesante” (24.3%). El 78% de los participantes expresan en global que la actividad es en cierto grado interesante, frente al 22% que opina que no es interesante, el 5.4% (2 participantes) opinan que la actividad para ellos no tiene ningún interés.

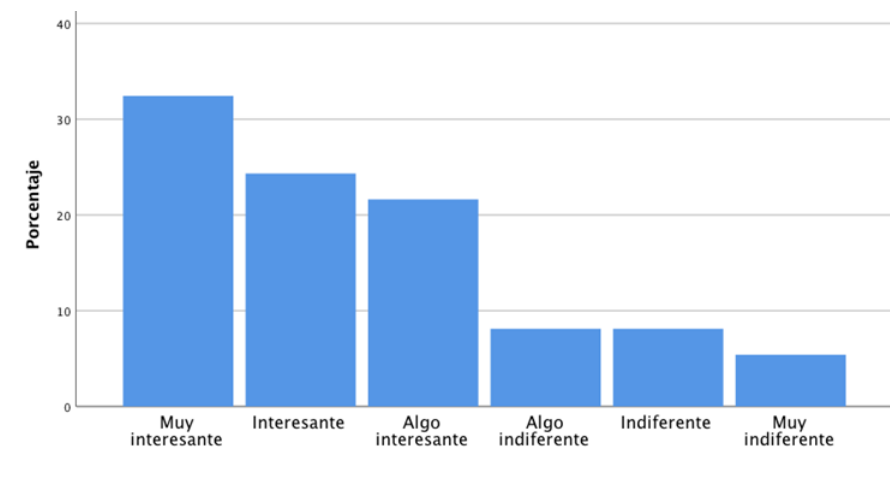


Gráfico 28: Grado de interés de la actividad. Grupo 4

Todos los Grupos

Los datos acumulados para todos los grupos (con intervención digital y sin intervención) se muestran en el *Gráfico 29*. Destacan las respuestas en los apartados “Muy Interesante” (34.4%) de todas las respuestas e “Interesante” (21.1%), siguiendo en valoración el ítem “Indiferente” (13.3%). El 68% de los participantes expresan en global que la actividad es en cierto grado interesante, frente al 32% que opinan que no es interesante, el 7.2% (13 participantes) opinan que la actividad no es en absoluto interesante.

La valoración de la actividad por el *Grupo 1* ($M=4.46$) se sitúa en valores cercanos a la indiferencia, la actividad que han realizado, como por otra parte parece razonable pensar, no les ha parecido interesante. Las valoraciones medias del resto de los grupos, *Grupo 2* ($M=2.05$), *Grupo 3* ($M=2.65$), *Grupo 4* ($M=2.51$) indican que las actividades les parecieron en global interesantes.

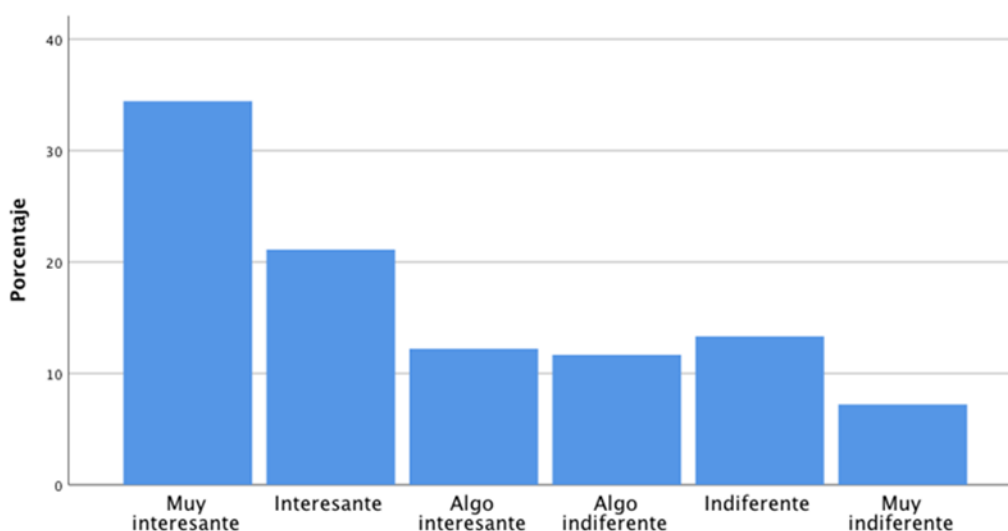


Gráfico 29: Grado de interés de la actividad. Todos los participantes

Motivación de RA y RV frente a métodos tradicionales

En este apartado se responde a la pregunta “¿Crees que este tipo de Tecnologías (RA, RV) motivan más a los alumnos que el usar medios tradicionales de aprendizaje?”, donde se infiere sobre la preferencia de los estudiantes al usar los diferentes métodos digitales en contraposición de los métodos tradicionales.

Grupo 1

El resultado entre grupos difiere, sobre todo y como era de esperar por las respuestas de los participantes del *Grupo 1* (75% SI, 25% NO), es el grupo más escéptico con el uso de estas tecnologías. Si bien el resultado de este Grupo está condicionado porque no han utilizado medios digitales, aunque

con posterioridad a los experimentos se les permitió explorar estas tecnologías.

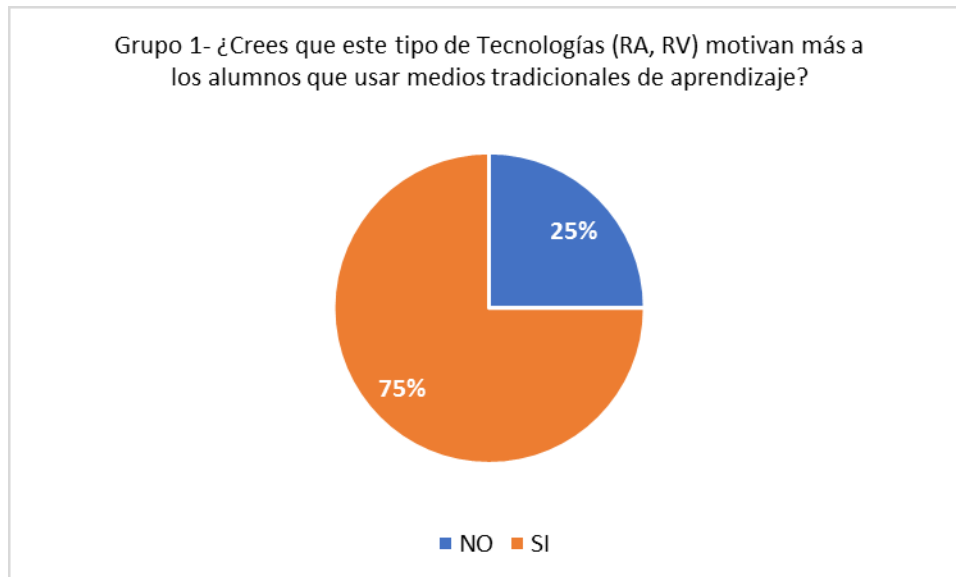


Gráfico 30: Motivación medios digitales Grupo 1.

Grupo 2

En el *Gráfico 31* se recoge la distribución de las respuestas del *Grupo 2*. Donde el 95% de los encuestados opinan de forma sobresaliente que el uso de estas tecnologías en la realidad mixta (realidad aumentada + realidad virtual) motivan más a los alumnos que el uso de métodos tradicionales.

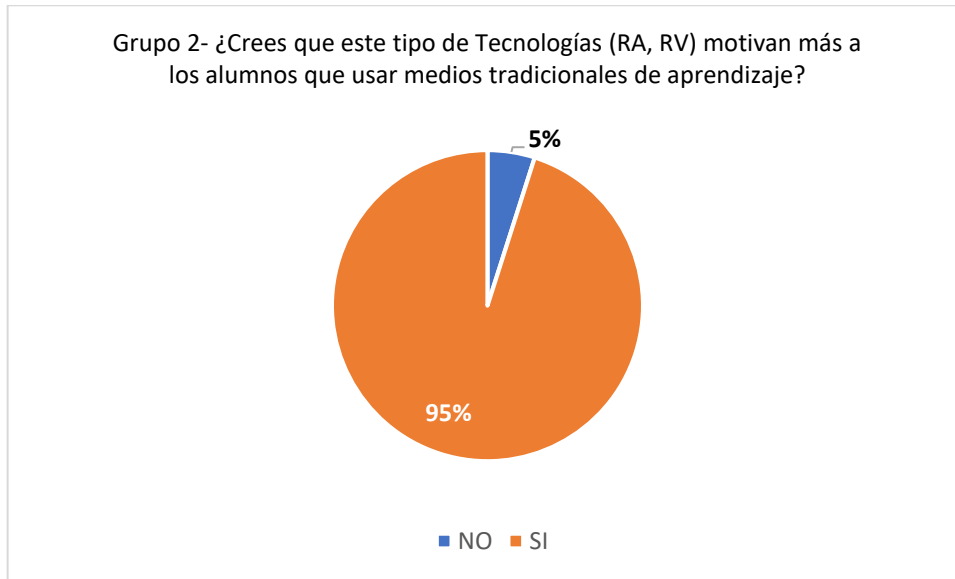


Gráfico 31: Motivación medios digitales Grupo 2.

Grupo 3

Los resultados indican una aceptación positiva (Gráfico 32) de los participantes en un 89% para el *Grupo 3* (realidad virtual), mientras que el resto (11%) opinan que estas tecnologías digitales no son más motivadoras que los métodos tradicionales.

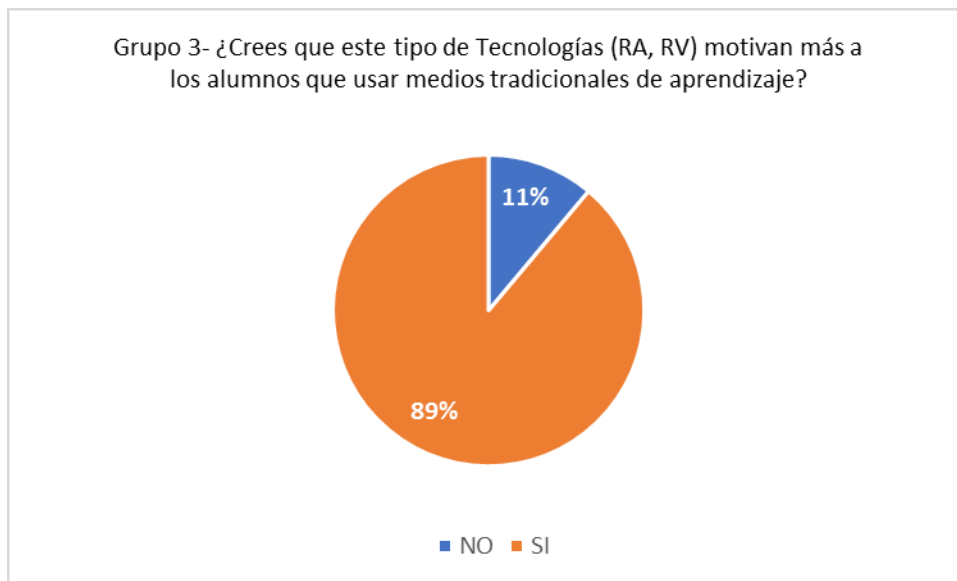


Gráfico 32: Motivación medios digitales Grupo 3.

Grupo 4

En el *Gráfico 33* se observan la distribución de las respuestas del *Grupo 4*. Donde el 95% de los encuestados opinan de forma sobresaliente que el uso de estas tecnologías en la realidad mixta (realidad aumentada + realidad virtual) motivan más a los alumnos que los métodos tradicionales. Los resultados son similares obtenidos a los del *Grupo 2*.

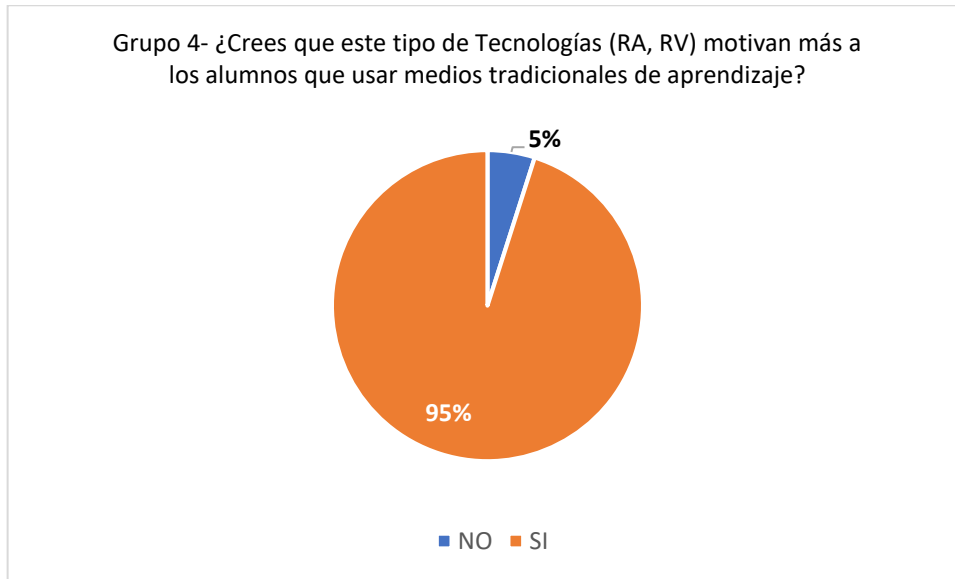


Gráfico 33: Motivación medios digitales Grupo 4

Global (todos los participantes)

En el *Gráfico 34* se recoge la distribución de las respuestas en global sobre la valoración que han realizado los alumnos respecto a la motivación del uso de tecnologías en la realidad mixta (realidad aumentada + realidad virtual) a nivel general. Los resultados indican una aceptación positiva de los participantes en un 90%, mientras que el resto (10%) opinan que estas tecnologías digitales no son más motivadoras que los métodos tradicionales.

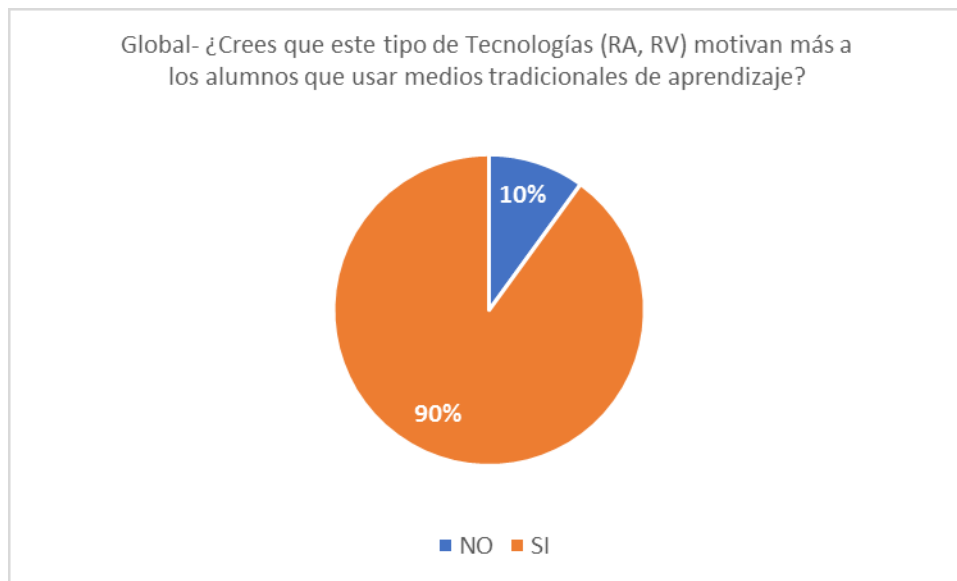


Gráfico 34: Motivación medios digitales. Todos los participantes.

6.6 Dimensión Realidad Aumentada

En este apartado indagamos de forma explícita sobre las experiencias anteriores de los participantes con respecto a la realidad aumentada, percepción de la facilidad de uso, percepción de utilidad de la tecnología, idoneidad de su uso en las aulas e intención de futuro uso en las aulas. Participan los encuestados de los *Grupos 2* (realidad aumentada) y *Grupo 4* (realidad aumentada más realidad virtual). Las percepciones de facilidad de uso y de utilidad de una tecnología son claves en el proceso de aceptación de las tecnologías.

¿Has usado anteriormente aplicaciones de Realidad Aumentada?

Para saber si han tenido experiencias anteriores se preguntó expresamente si habían utilizado aplicaciones anteriormente que incluyesen esta tecnología. El 38.8% de los participantes habían usado anteriormente la realidad aumentada, en las notas tomadas durante reuniones informales al finalizar los experimentos quedó reflejado que la mayoría de los que respondieron sí en la encuesta era debido a que conocían la aplicación de realidad aumentada *Pokémon Go*, o habían visto en clase conceptos de esta tecnología. El 61.2% restante indicó que nunca antes habían utilizado este tipo de aplicaciones.

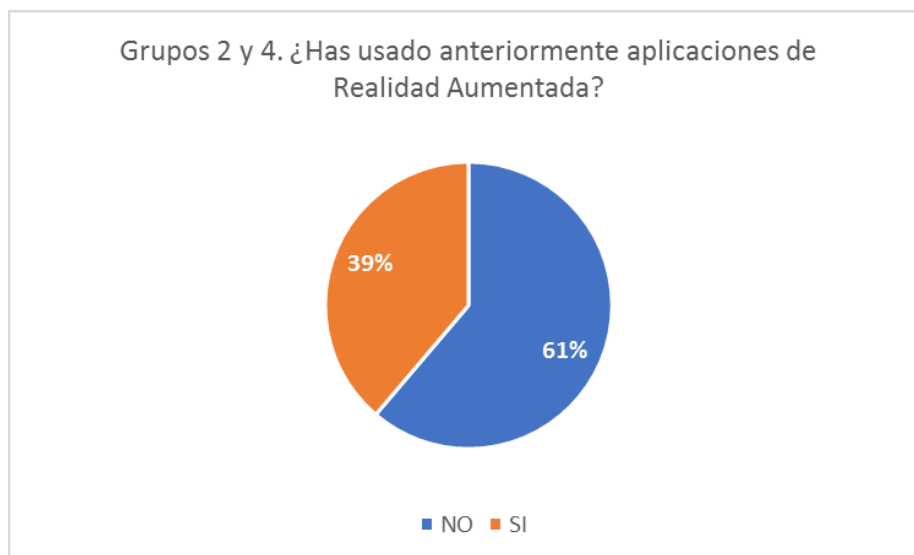


Gráfico 35: Grupos 2 y 4. Uso anterior de la Realidad Aumentada.

Facilidad percibida del sistema

Se respondió a la pregunta *¿Te ha parecido fácil el uso de la realidad aumentada en la actividad?* En cuanto a lo que se refiere a facilidad de uso

percibida por el *Grupo 2* (N=61, M=2.30, DT=1.66), que realizaron la actividad con realidad aumentada dispositivo móvil en mano frente al *Grupo 4* (N=37, M=2.54, DT=1.12) realizada como parte del experimento de realidad mixta con gafas de realidad virtual, arroja un resultado que difiere sólo un par de décimas, por lo que podemos decir que son muy parecidos, siendo algo inferiores las cualidades de facilidad percibida por los participantes del *Grupo 4*.

La escala de actitud comprende una valoración del 1 al 6, con valores relacionados comprendidos entre *Muy fácil- Muy difícil*, que nos ofrece una forma sencilla de valorar este apartado. Los resultados indican que existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos de la escala, con el 38.8% de los participantes indicando que la percepción de la facilidad de uso de la realidad aumentada en la actividad era “Muy fácil” e indicando que era “Fácil” el 21.4%.

En global podemos ver como el 60.2% de las observaciones se posicionan en algún grado de que la percepción de uso es fácil, hay un 26.6% en la zona neutra de la escala (no lo consideran fácil ni difícil) y lo consideran en algún grado de dificultad el 13.3% de los participantes.

La percepción de facilidad de uso de la realidad aumentada medida en esta actividad únicamente está condicionada por las características propias de la misma, no pudiendo generalizarse a otros ámbitos.

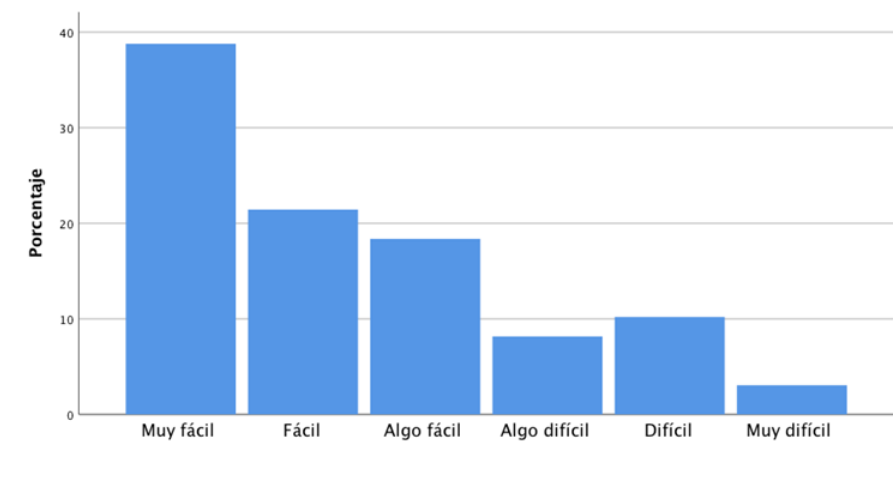


Gráfico 36: Grupos 2 y 4. Percepción de la facilidad de uso de la Realidad Aumentada.

Utilidad percibida del sistema

En cuanto a lo que se refiere a la percepción de utilidad de la tecnología en estos experimentos, en respuesta a la pregunta *-¿Te ha parecido útil el uso de la realidad aumentada en la actividad?-* el *Grupo 2* de realidad aumentada (N=61, M=2.40, DT=1.66) frente al *Grupo 4* (N=37, M=2.70, DT=1.43) -experimento de realidad mixta con gafas de realidad virtual-, arroja un resultado a favor de la percepción de utilidad por aquellos usuarios del *Grupo 4* que realizaron la actividad con gafas de realidad virtual.

La escala de actitud comprende una valoración del 1 al 6, comprendiendo desde Muy útil-Nada útil. En la siguiente figura (*Gráfico 37*) vemos las frecuencias observadas.

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos de la escala, con el 36.7% de los participantes indicando que su percepción de la utilidad del sistema de la realidad aumentada en la actividad era “Muy útil” y con puntuación 2 en la escala (sigue pareciendo bastante útil) el 21,4%. En global podemos ver como el 58.2% de las

observaciones se posicionan en que la percepción de utilidad es positiva, hay un 26,5% en la zona neutra de la escala (valores 3 y 4) que no lo consideran útil ni inútil y no lo consideran en algún grado de utilidad el 15.3% de los participantes.

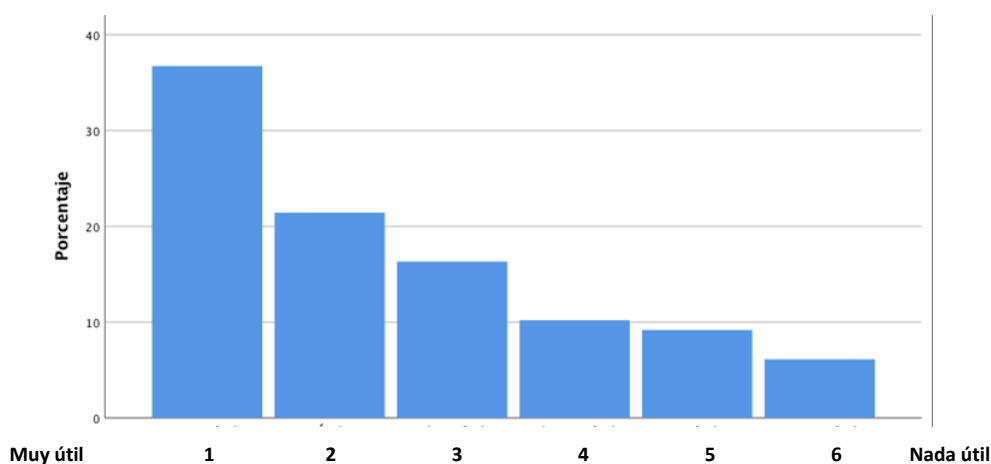


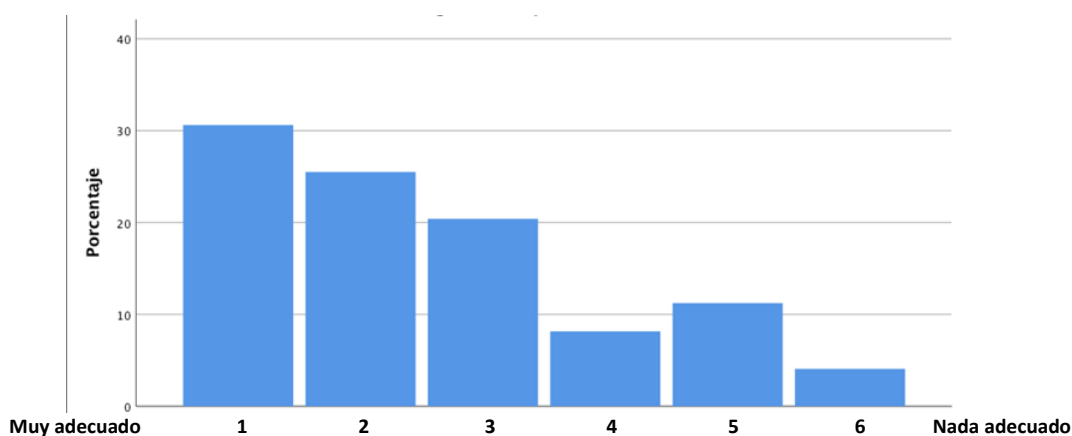
Gráfico 37: Grupos 2 y 4. Percepción de utilidad de la Realidad Aumentada.

Percepción de la adecuación de la Realidad Aumentada para su uso en las aulas

En este apartado se indaga sobre la percepción de la RA para su uso en las aulas, mediante la pregunta *¿Crees que la realidad aumentada es adecuada para su uso en las aulas?* En cuanto a lo que se refiere a la percepción de si el sistema (realidad aumentada) es adecuado o no para su uso en las aulas, el *Grupo 2* (N=61, M=2.34, DT=1.42) frente al *Grupo 4* (N=37, M=2.91, DT=1.53) realizada como parte del experimento de realidad mixta con gafas de realidad virtual, arroja un resultado a favor de que es más adecuado por aquellos usuarios del *Grupo 4* que realizaron la actividad con gafas de realidad virtual.

La escala de actitud comprende una valoración del 1 al 6, con valores comprendidos entre *Muy adecuado- Nada adecuado*, que nos ofrece una forma sencilla de valorar este apartado, la escala es:

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos de la escala, con el 30.6% de los participantes indicando que su percepción de la adecuación del sistema de la realidad aumentada para su uso en las aulas era “Muy adecuado” y con una puntuación de 2 (Adecuado) en el 56,1% de los casos. Hay un 28,6% de observaciones en la zona neutra de la escala (no lo consideran adecuado ni inadecuado) y lo consideran en alguna forma inadecuado el 15.3% de los participantes (valores 5 y 6).



Gráfica 38: Grupos 2 y 4. Percepción de idoneidad de la RA para ser usada en las aulas.

Intención de uso futuro de la RA en las aulas

Mediante la pregunta ¿Tienes intención en un futuro de usar la realidad aumentada en clase?, exploramos la actitud que se tiene hacia esta

tecnología. En el *Gráfico 39* se recoge la distribución de las respuestas de los grupos que utilizaron realidad aumentada. Donde el 78% de los encuestados opinan de forma positiva acerca del uso de estas tecnologías en las aulas. Los participantes que contestaron que no tenían intención en un futuro de usar esta tecnología en las aulas (22%) es muy similar (23.5%) a los que pensaban que la realidad aumentada no era adecuada para su uso en las aulas.

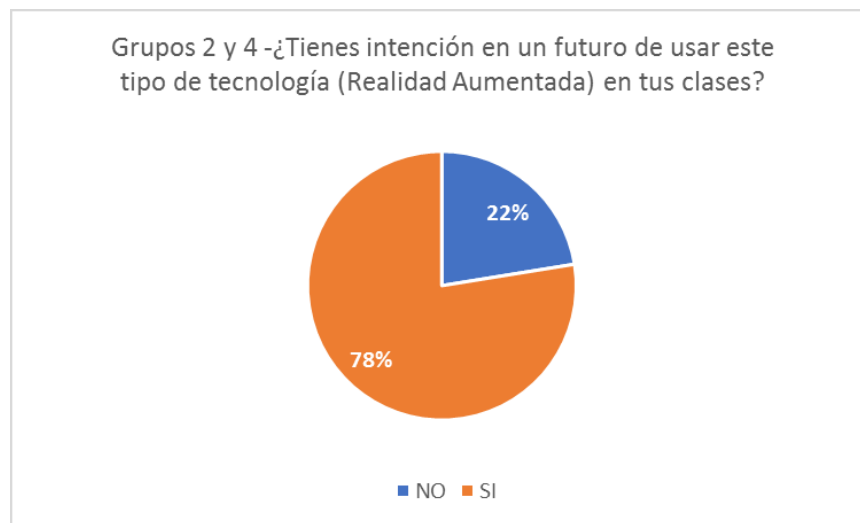


Gráfico 39: Grupos 2 y 4. Intención de futuro uso en las aulas de la RA.

6.7 Dimensión Realidad Virtual

En este apartado indagamos sobre las experiencias anteriores de los participantes con respecto a la realidad virtual, percepción de la facilidad de uso, percepción de utilidad de la tecnología, idoneidad de su uso en las aulas e intención de futuro uso. Participan los encuestados de los *Grupos 3* (realidad virtual) y *4* (realidad aumentada más realidad virtual).

¿Has usado aplicaciones de Realidad Virtual?

Para saber si han tenido experiencias anteriores se preguntó expresamente si habían utilizado aplicaciones anteriormente que incluyesen esta tecnología. El 34% de los participantes habían usado anteriormente la realidad virtual, en los apuntes tomados durante reuniones informales se confirmó que la mayoría de los que respondieron sí era porque alguien en su familia había adquirido dispositivos de realidad virtual en oferta a la compra del dispositivo móvil (por ejemplo Samsung Gear) e incluso dos de los participantes disponían del mismo modelo de gafas que el utilizado en las pruebas, pero sólo lo habían usado para ver algún video 360. El 66% restante indicó que nunca antes habían utilizado este tipo de aplicaciones.

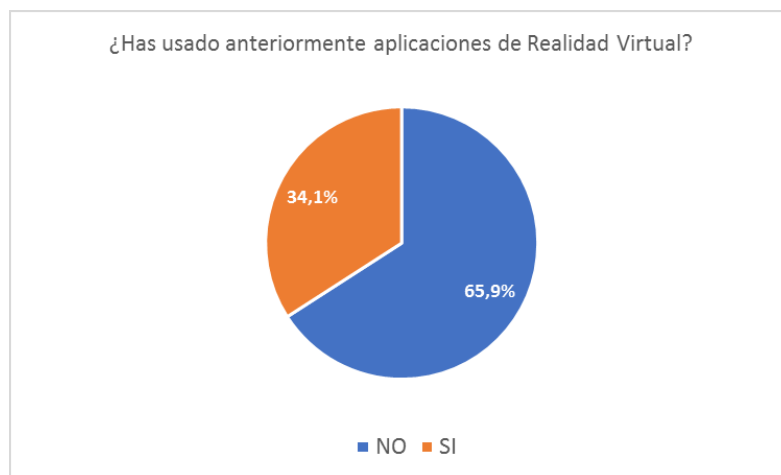


Gráfico 40: Uso anterior de aplicaciones de Realidad Virtual

¿Has usado alguna vez unas gafas de Realidad Virtual?

Se preguntó expresamente a los participantes si habían usado alguna vez unas gafas de realidad virtual. El 62.6% informó que nunca habían utilizado gafas de RV, frente al 37.4% que especificó que sí había usado. Existe una pequeña diferencia entre los resultados entre el uso de aplicaciones (34.1%) y el uso de las gafas (37.4%). Esto es debido a que los participantes han usado aplicaciones diferentes aplicaciones de RV que no han identificado como tal, como panoramas 360 o videos en 360, para los que sí han usado las gafas.

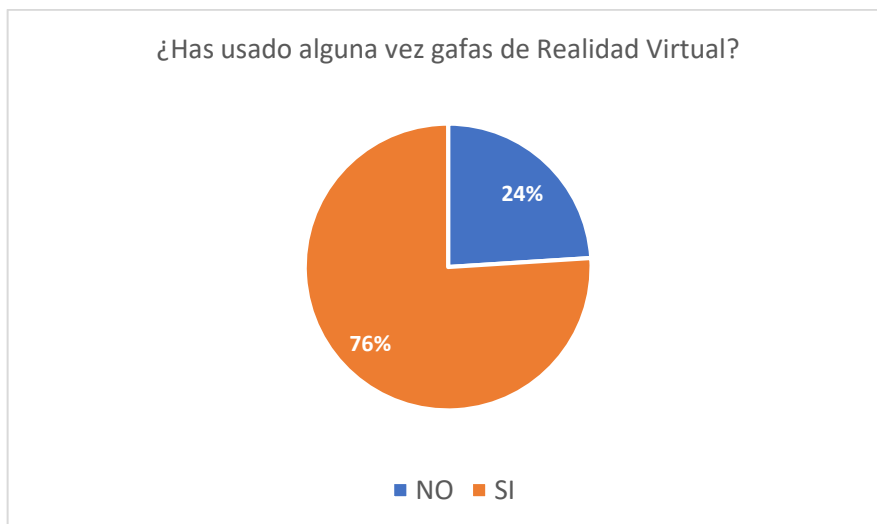


Gráfico 41: Grupos 3 y 4. Uso anterior de Gafas de RV.

Facilidad percibida de uso

En este apartado indagamos sobre la facilidad percibida de uso por los participantes en respuesta a la siguiente pregunta, *¿Te ha parecido fácil el uso de la realidad virtual en la actividad?*, en cuanto a lo que se refiere a facilidad de uso percibida por el Grupo 3 (N=54, M=2.74, DT=1.55) de la

actividad con realidad virtual frente al *Grupo 4* (N=37, M=2.62, DT=1.18) realizada como parte del experimento de realidad mixta con gafas de realidad virtual, arroja un resultado bastante similar, algo inferiores los de la actividad del *Grupo 4*.

La escala de actitud comprende una valoración del 1 al 6, con valores comprendidos entre *Muy fácil-Muy difícil*, que nos ofrece una forma sencilla de valorar este apartado, la escala es:

- 1- Muy fácil
- 2- Fácil
- 3- Algo fácil
- 4- Algo difícil
- 5- Difícil
- 6- Muy difícil

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos de la escala, con el 25.3% de los participantes indicando que su percepción de la facilidad de uso de la realidad virtual en la actividad era "Muy fácil" y "Fácil" con el 24,2%. En global podemos ver como el 49.5% de las observaciones se posicionan en que la percepción de uso es fácil, hay un 36,3% en la zona neutra de la escala (no lo consideran fácil ni difícil) y lo consideran en algún grado de dificultad el 14.3% de los participantes.

La percepción de los participantes se refiere a esta actividad y que puede diferir según el ámbito del experimento.

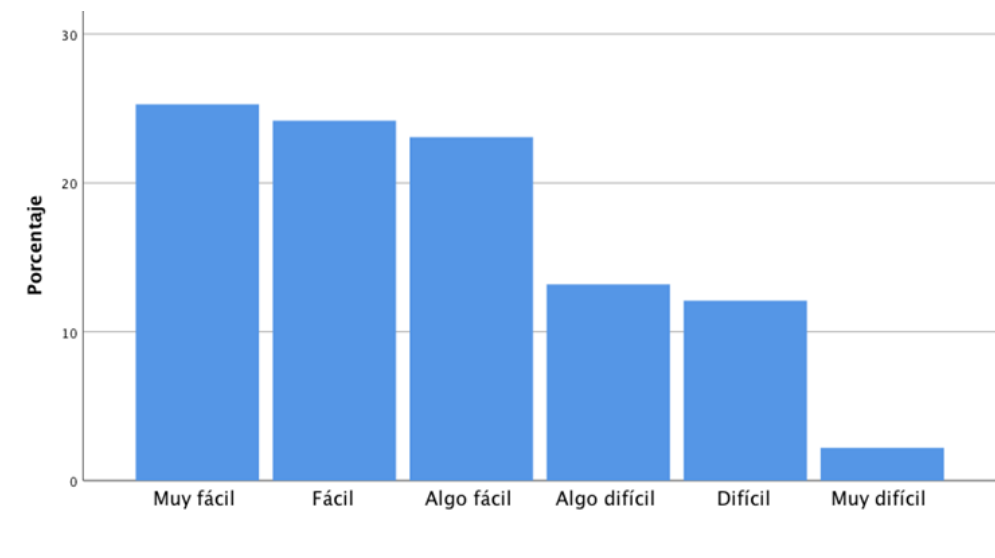


Gráfico 42: Grupos 3 y 4. Percepción de facilidad de uso de la RV.

Utilidad Percibida de la Realidad Virtual en la actividad

En cuanto a lo que se refiere a la utilidad de la tecnología de la realidad virtual percibida por el *Grupo 3* (N=54, M=2.85, DT=1.46) frente al *Grupo 4* (N=37, M=2.49, DT=1.26) realizada como parte del experimento de realidad mixta con gafas de realidad virtual, arroja un resultado a favor de la percepción de utilidad por aquellos usuarios del *Grupo 3* que realizaron exclusivamente la actividad de realidad virtual. Para explorar este apartado se realizó la siguiente pregunta: *¿Te ha parecido fácil el uso de la realidad virtual?*

La escala de actitud comprende una valoración del 1 al 6, con valores comprendidos entre *Muy útil- Nada útil*.

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos, con el 25,3% de los participantes indicando que su

percepción de la utilidad del sistema de la realidad virtual en la actividad era bastante útil (valor 2 de la escala) y “Muy útil” el 24,2%. En global podemos ver como el 49.5% de las observaciones se posicionan en que la percepción de utilidad es positiva (valores 1 y 2), hay un 38,5% en la zona neutra de la escala (no lo consideran útil ni inútil y lo consideran “Nada útil” el 12.1% de los participantes.

Podemos observar en el *Gráfico 43* las frecuencias observadas

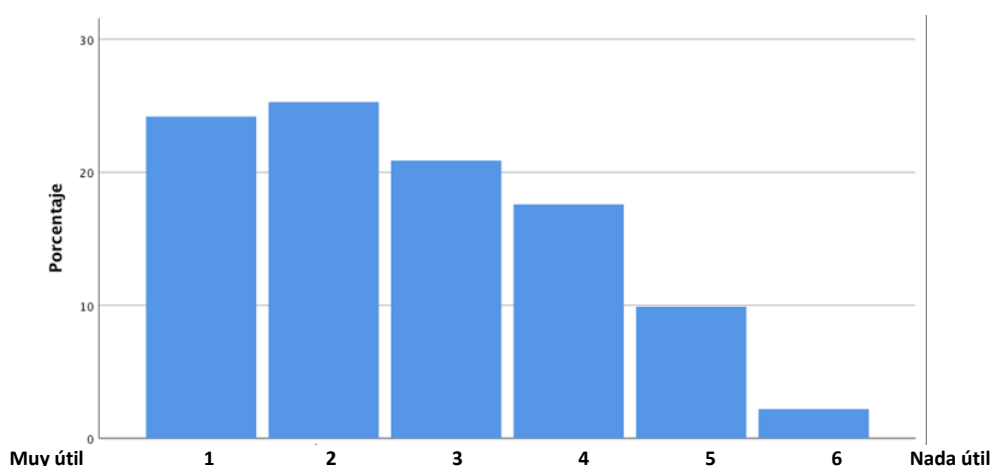


Gráfico 43: Grupos 3 y 4. Percepción de utilidad de la RV.

Percepción de la adecuación de la Realidad Virtual para su uso en las aulas

Al igual que en el apartado de realidad aumentada, mediante la pregunta *¿Crees que la realidad virtual es adecuada para su uso en las aulas?* Se explora la motivación de uso de estas tecnologías. Así, la percepción de si el sistema es adecuado o no para su uso en las aulas, el *Grupo 3* (N=61, M=3.03, DT=1.40) actividad con realidad virtual frente al

Grupo 4 (N=37, M=2.72, DT=1.43) realizada como parte del experimento de realidad mixta con gafas de realidad virtual, arroja un resultado a favor de los que realizaron la actividad de realidad mixta.

La escala de actitud comprende una valoración del 1 al 6, con valores comprendidos entre *Muy adecuado- Nada adecuado*, que nos ofrece una forma cualitativa de expresión para valorar este apartado, podemos observar en el *Gráfico 44* las frecuencias observadas.

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos de la escala, con el 27.5% de los participantes indicando que su percepción de la adecuación del sistema de la realidad virtual para su uso en las aulas era bastante adecuado (valor 2 de la escala) y “Muy adecuado” en el 16.5% de los casos. Hay un gran número de opiniones (38.5%) en la zona neutra de la escala (no lo consideran adecuado ni inadecuado) y lo consideran en alguna forma inadecuado para el uso en las aulas el 17.6% de los participantes.

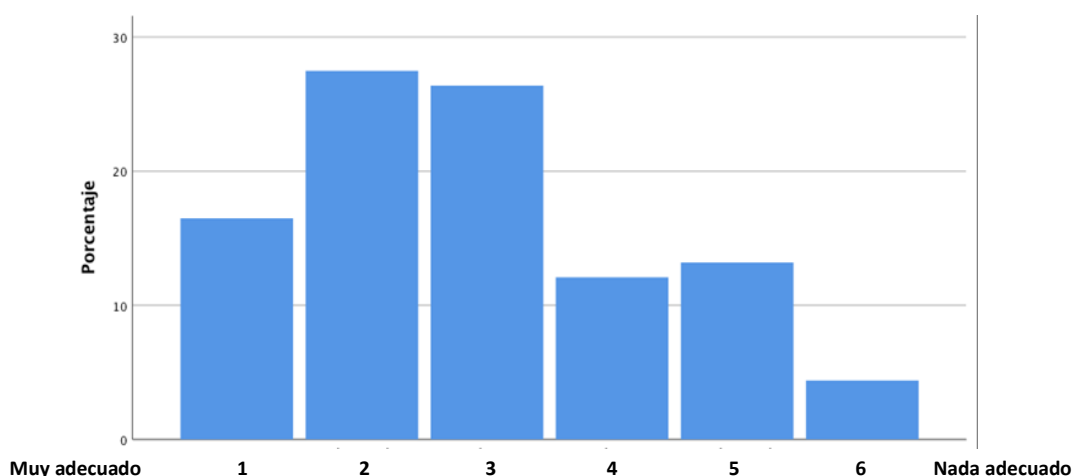


Gráfico 44: Grupos 3 y 4. La RV en el aula.

Intención de uso futuro de la RV para su uso en las aulas

Se preguntó explícitamente mediante la formulación de la siguiente pregunta: *¿Tienes intención en un futuro de usar este tipo de tecnología (realidad virtual) en tus clases?* Sobre la intención de incorporar la realidad virtual en las aulas cuando sean maestros. En el *Gráfico 45* vemos la distribución de las respuestas de los grupos que utilizaron realidad virtual. Donde el 75% de los encuestados opinan de forma positiva acerca del uso de estas tecnologías en las aulas.

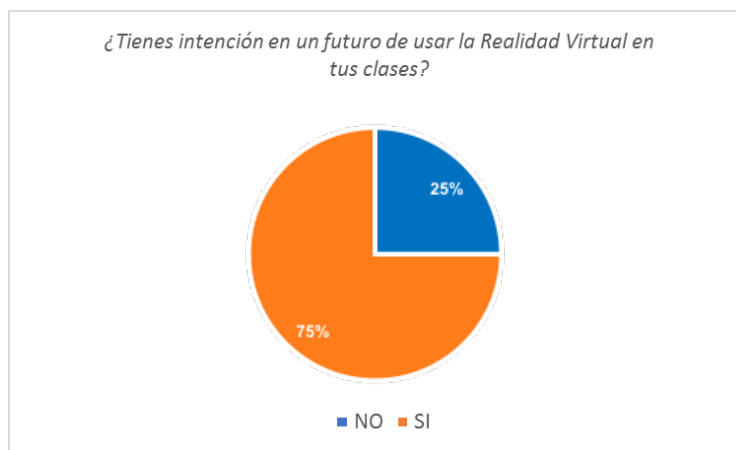


Gráfico 45: Porcentaje de futuros maestros que piensan incorporar la RV en sus clases.

Participantes y corrección visual

Se preguntó específicamente sobre la utilización de medios de corrección visual *¿Llevas algún medio de corrección en la vista (gafas, lentillas)?* El 44% de los participantes de los *Grupos 3 y 4* que realizaron las actividades con gafas de realidad virtual usaban algún medio de corrección visual en cualquiera de sus formas (gafas, lentillas).

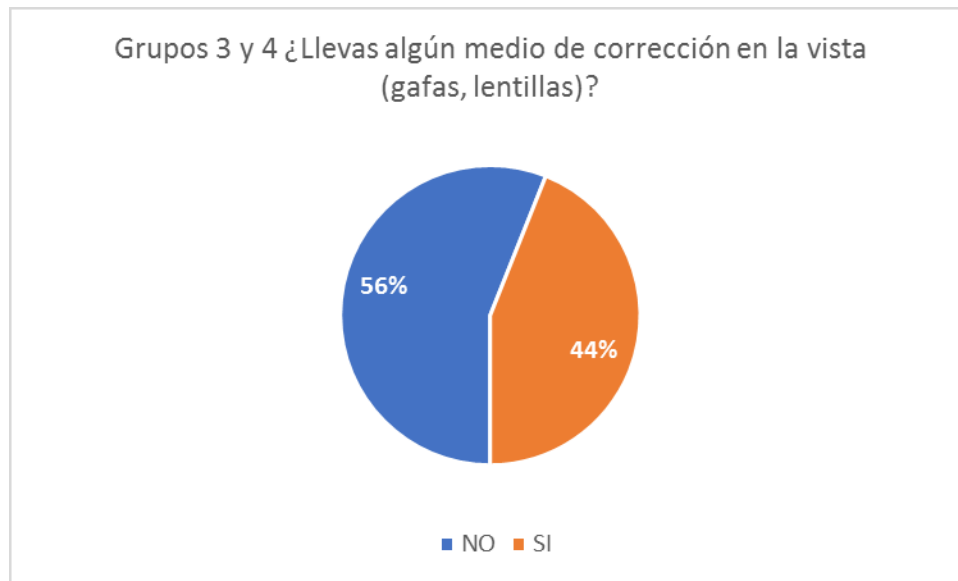


Gráfico 46: Grupos 3 y 4. Corrección en la vista.

¿Has sufrido molestias o mareos durante la experiencia?

El 38.5% de los participantes de los *Grupos 3 y 4* que realizaron las actividades con gafas de realidad virtual experimentaron algún tipo de molestia durante el desarrollo de las actividades, los comentarios cualitativos recogidos incluyen específicamente palabras como “mareo”, “dolor de cabeza”, “me duelen los ojos”, “visión borrosa”, “presión y dolor de cabeza”, “veía doble”, “no veo nítido”, “al quitarme las gafas me maree” o “las gafas eran muy pesadas”.

Como indicamos al principio de este documento, dos personas se retiraron durante la fase de pre-prueba por problemas físicos derivados del uso de estos dispositivos. El 22% de las personas que llevaban medios de corrección visual sufrieron molestias, frente al 88% que no los utilizaban.

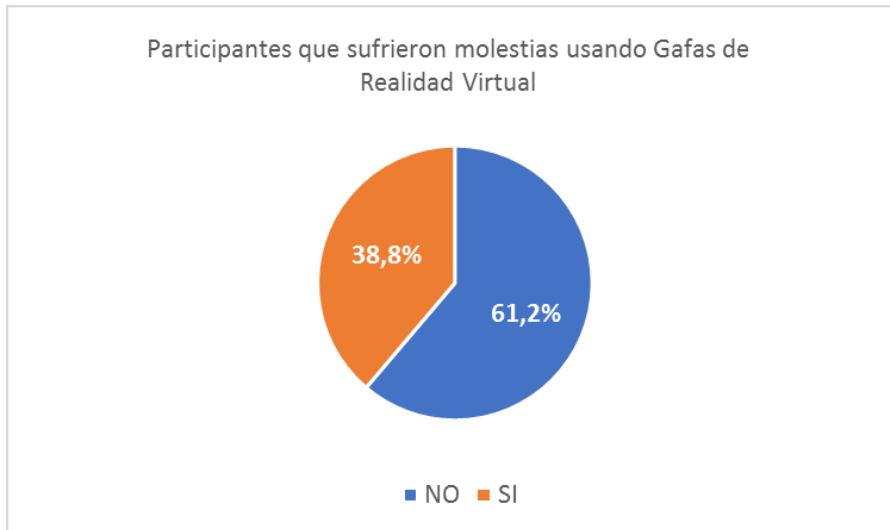


Gráfico 47: Porcentaje de participantes que sufrieron molestias al usar gafas de realidad virtual.

6.8 Dimensión de la Realidad Mixta

En este apartado indagamos sobre la percepción de la facilidad de uso en la transición entre la realidad aumentada y la realidad mixta, siempre dentro de los límites de la actividad realizada, sobre la percepción de utilidad de la tecnología y la idoneidad de su uso en las aulas e intención de futuro uso. Participan los encuestados del *Grupo 4* (realidad aumentada más realidad Virtual).

Percepción de la facilidad de uso de la Realidad Mixta

Se indagó sobre la facilidad de uso del sistema de realidad mixta, en este caso la pregunta era: *¿Me resulto fácil/difícil la transición entre la realidad aumentada y realidad virtual?*

En cuanto a lo que se refiere a facilidad de uso percibida por el *Grupo 4* (N=37, M=2.24, DT=1.28) realizada como parte del experimento de realidad mixta con gafas de realidad virtual, arroja un resultado global medio de 2.24. Esta puntuación se sitúa cerca del primer tercio de la escala, en la zona positiva.

La escala de actitud comprende una valoración del 1 al 6, con valores comprendidos entre *Muy fácil- Muy difícil*, que nos ofrece una forma sencilla de valorar este apartado, la escala es:

- 1- Muy fácil
- 2- Fácil
- 3- Algo fácil
- 4- Algo difícil
- 5- Difícil
- 6- Muy difícil

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos de la escala, con el 35.1% de los participantes indicando que su percepción de la facilidad de uso de la transición entre las dos tecnologías en la actividad era “Fácil” y “Muy Fácil” con el 32.4%. En global podemos ver como el 67.6% de las observaciones se posicionan en que la percepción de uso es fácil, hay un 24.3% en la zona neutra de la escala (no

lo consideran fácil ni difícil) y lo consideran en algún grado de dificultad sólo el 8.1% de los participantes.

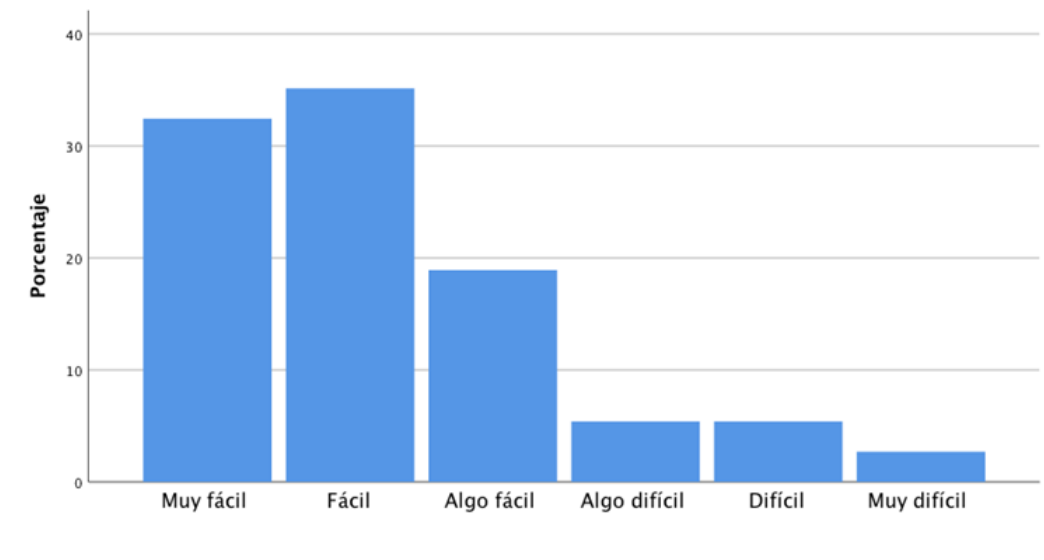


Gráfico 48: Grupo 4. Percepción de facilidad de uso de la realidad mixta.

Se observó que a los alumnos no les costaba gran esfuerzo concentrarse en las tareas de exploración, así mismo el mecanismo fue fácilmente comprendido por todas las personas observadas.

Percepción de la adecuación de la realidad mixta para su uso en las aulas

En cuanto a lo que se refiere a la percepción de si el sistema es adecuado o no para su uso en las aulas, el *Grupo 4* (N=37, M=2.51, DT=1.26) realizada como parte del experimento de realidad mixta con gafas de realidad virtual, arroja un resultado en promedio de M=2.51. La escala es creciente, a menor número mejor valoración.

La pregunta realizada en el cuestionario fue: *¿Crees que la Realidad Mixta (realidad aumentada + realidad virtual) es adecuada para su uso en las aulas?*

La escala de actitud comprende una valoración del 1 al 6, con valores comprendidos entre *Muy adecuado-Nada adecuado*.

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos, con el 29.7% de los participantes indicando que su percepción de la adecuación del sistema de la realidad mixta para su uso en las aulas era bastante adecuado (valor 2 de la escala) y “Muy adecuado” en el 24.3% de los casos. Hay un gran número de opiniones (40.5%) en la zona neutra de la escala (no lo consideran adecuado ni inadecuado, valores 3 y 4) y lo consideran nada adecuado el 5.4% de los participantes. Podemos observar en la figura siguiente (*Gráfico 49*) las frecuencias observadas.

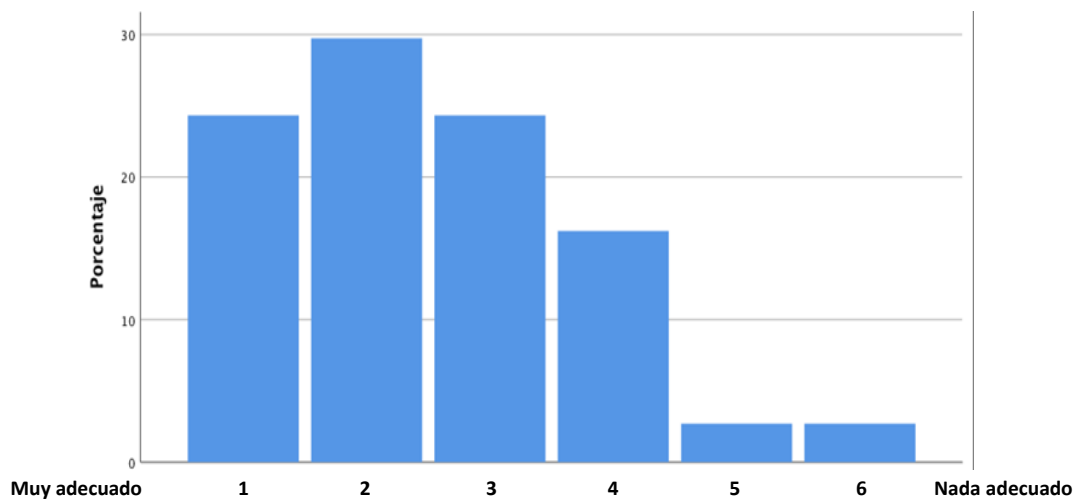


Gráfico 49: Grupo 4. Percepción de idoneidad de la RM en las aulas

Intención de uso futuro de la Realidad Mixta en las aulas

En el *Gráfico 50* se recoge la distribución de las respuestas de los grupos que utilizaron Realidad Mixta. Dónde se muestra que el 76% de los encuestados opinan de forma positiva acerca del uso de estas tecnologías en las aulas.

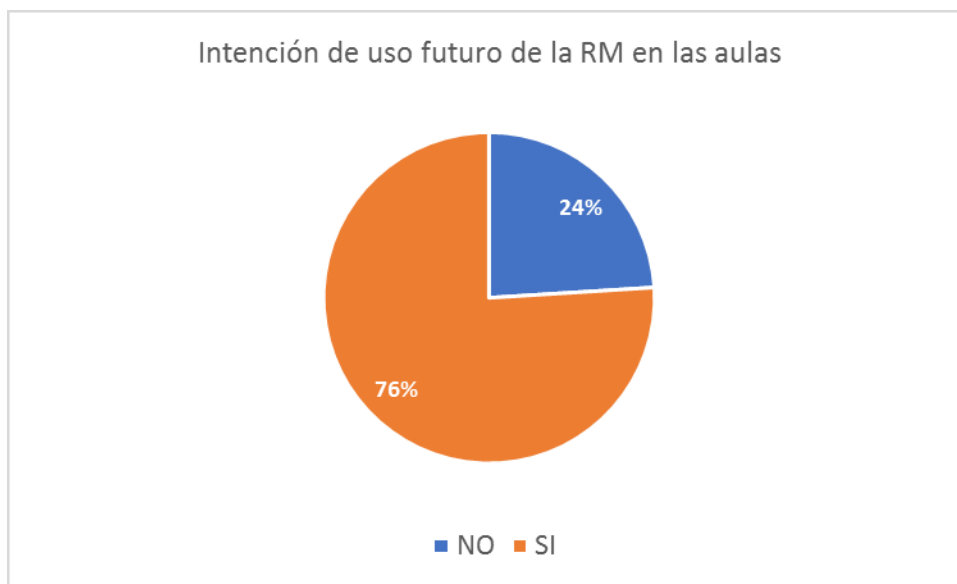


Gráfico 50: Intención de futuro uso de la RM en las aulas

6.9 Actitud hacia las diferentes tecnologías empleadas

Actitud hacia la Realidad Aumentada

Para valorar de forma global la actitud hacia las diferentes tecnologías empleadas: realidad aumentada, realidad virtual y la mezcla de las dos. Se ha procedido a agrupar visualmente los resultados de diferentes apartados (facilidad de uso percibida RA-RV-ARV, utilidad del sistema percibido RA-RV, intención de uso futuro RA-RV-ARV) referidos a cada tecnología con la

finalidad de crear una nueva variable que nos mida la actitud hacia estas tecnologías de forma eficaz.

En cuanto a lo que se refiere a la actitud frente a las tres tecnologías la escala comprende una valoración del 1 al 6, con valores comprendidos entre *Muy Positiva- Muy Negativa*, iguales para todas las tecnologías, la escala es:

- 1- Muy Positiva
- 2- Positiva
- 3- Algo positiva
- 4- Algo negativa
- 5- Negativa
- 6- Muy Negativa

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos de la escala, con una actitud “Positiva” del 37.8% de los participantes y “Muy Positiva” del 15.3%. En global podemos ver como el 53.1% de las observaciones se posicionan en que la actitud es positiva o muy positiva, hay un 32.7% en la zona neutra de la escala (actitud neutral) y lo consideran negativo en algún grado 14.3% de los participantes.

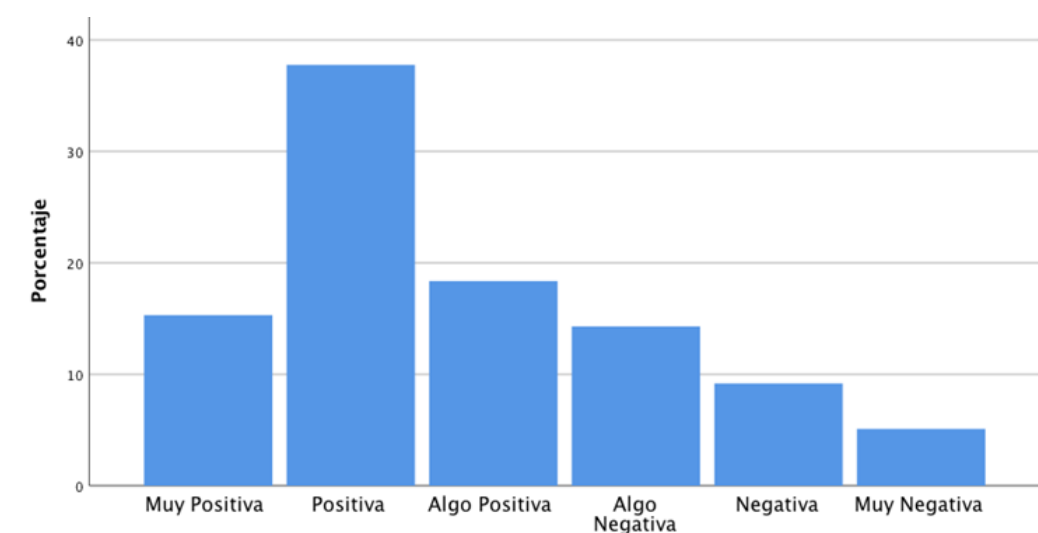


Gráfico 51: Actitud hacia la Realidad Aumentada (agrupado)

Actitud hacia la Realidad Virtual

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos de la escala, con una actitud “Positiva” del 34.1% de los participantes y “Muy Positiva” del 4.4%. En global podemos ver como el 38.5% de las observaciones se posicionan en que la actitud es positiva o muy positiva, hay un 42.6% en la zona neutra de la escala (actitud neutral) y lo consideran en algún grado de dificultad el 15.4% de los participantes.

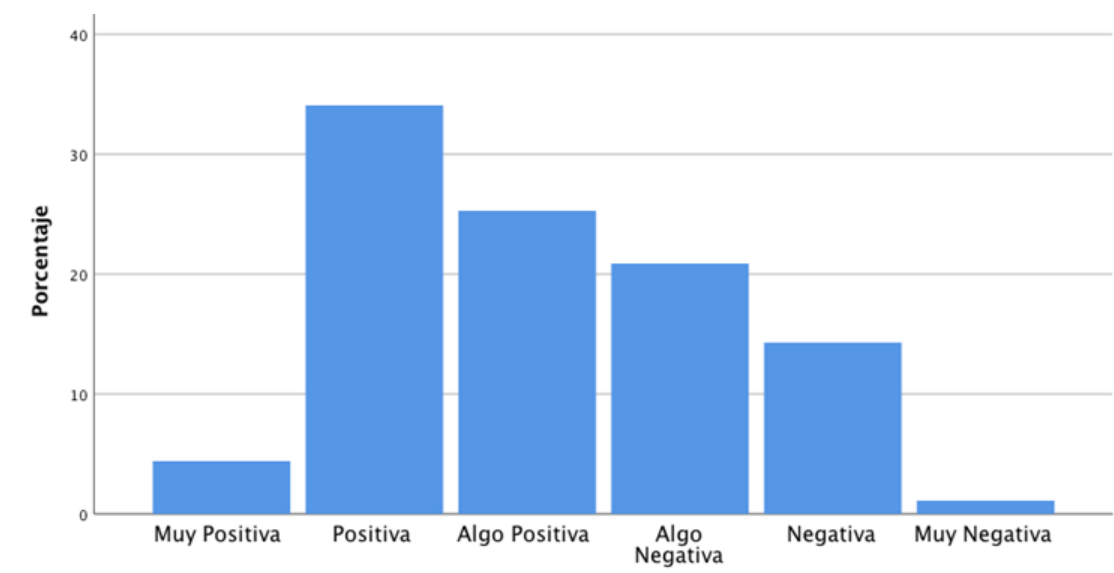


Gráfico 52: Actitud hacia la Realidad Virtual (agrupado).

Actitud hacia la Realidad Mixta

Existen valoraciones en todos los apartados de la escala, destacando los valores positivos de la escala, con una actitud “Positiva” del 29.7% de los participantes y “Muy Positiva” del 2.7%. En global podemos ver como el 32.4% de las observaciones se posicionan en que la actitud es positiva o muy

positiva, hay un 59.4% en la zona neutra de la escala (actitud neutral) y lo consideran en algún grado negativo el 8.1% de los participantes.

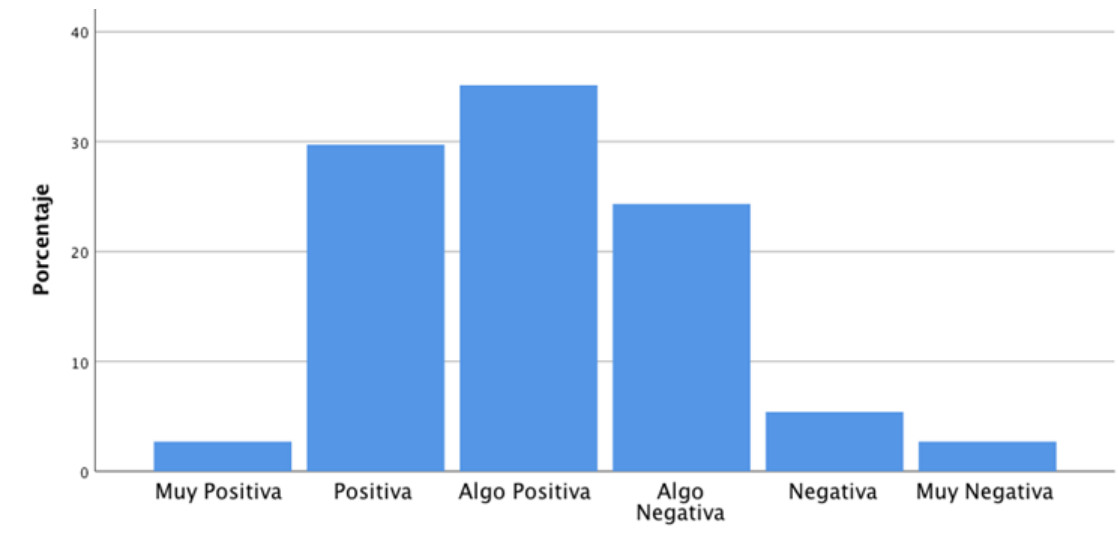


Gráfico 53: Actitud hacia la Realidad Mixta (Realidad Aumentada + Realidad Virtual, agrupado)

Síntesis del Capítulo

Se presentan los datos cuantitativos en forma integrada mediante el uso descriptivo de gráficos, tablas y análisis estadísticos para los contrastes principales. Los datos de naturaleza cualitativa se han ido incorporando a lo largo del capítulo, en forma de transcripción de frases expresadas por las participantes tomadas como notas de campo durante las diferentes observaciones en los experimentos y extraídas de los cuestionarios.

La integración de datos cuantitativos y cualitativos se dio en función de las diferentes categorías de análisis que permitieron un mejor acercamiento al objeto de estudio. Para una eficiente integración, se aplicó la técnica de

triangulación, permitiendo la profundización temática mediante dicha técnica y su integración con los datos cuantitativos.

Capítulo 7

Conclusiones y Discusión

7.1 Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones de esta investigación, teniendo en cuenta que, por las características propias del trabajo, no pueden ni deben ser generalizadas y que para confirmar definitivamente algunos de los supuestos deben realizarse aproximaciones sistemáticas en posteriores investigaciones.

- 1- La realidad aumentada permite conseguir mejoras en algunos aprendizajes matemáticos, frente al uso de metodologías tradicionales con soporte papel.
- 2- El uso de dispositivos de realidad virtual puede actuar como un elemento de distracción y suponer una barrera para el

aprendizaje, disminuyendo el rendimiento frente a los métodos tradicionales.

- 3- La motivación de los alumnos que realizan actividades en formatos digitales es mayor que cuando realizan actividades en métodos tradiciones analógicos.
- 4- Los alumnos aceptan de forma muy positiva la incorporación de tecnologías digitales alternativas en el aula.
- 5- La percepción de facilidad de uso y de utilidad de estas tecnologías han sido valoradas de forma muy positiva por los alumnos.
- 6- Las tecnologías de la realidad mixta les parecen adecuadas a los alumnos para su uso en las aulas.
- 7- Existe una fuerte intención de uso futuro de estas tecnologías por parte de los alumnos.

7.2 Discusión

Estadísticamente existieron diferencias significativas en el desempeño de los diferentes grupos al realizar las actividades. Los participantes que realizaron las actividades con métodos que incluían realidad virtual tuvieron

desempeños inferiores globalmente frente a los conseguidos por aquellos que utilizaron métodos tradicionales y realidad aumentada.

Los participantes en la actividad de realidad aumentada (grupo 2) tuvieron mejor desempeño -tanto de forma global, como en los apartados matemáticos-, en promedio ($M=5.60$) que el resto de grupos (*Grupo1*, $M=4.74$; *Grupo3*, $M=4.16$; *Grupo4*, $M=4.36$). Fueron capaces de estimar mejor las dimensiones (longitudes, superficies) y reconocer más figuras y cuerpos geométricos en promedio que el resto de los grupos, como se contrastó en el apartado 6.1

En vista de las tasas de respuestas y su valoración, los participantes del grupo que usaron métodos tradicionales fueron los únicos que proporcionaron una tasa de aceptación negativa (57%) a la hora de repetir este tipo de actividades, muy por encima del 7.7% en promedio del resto de grupos que no quieren participar. Los participantes que usaron métodos digitales repetirían actividad en un 92.3% de los casos. Podemos por tanto afirmar que el uso de métodos digitales proporciona una mayor motivación en los participantes en contraste con el uso de métodos tradicionales, sin embargo, estos resultados pueden estar influenciados, como indica Cabero (2014) por la falta de control sobre el “efecto novedad”, cuando se introduce una novedad en la práctica educativa, la atención de los alumnos es capturada con más facilidad (Cabero, 2014). Reconocido por algunos alumnos durante el desarrollo de las actividades y reflejado en el apartado 6.5.

La actitud de los alumnos hacia las diferentes tecnologías empleadas ha tenido carácter de positivo o muy positivo, los alumnos aceptan de buen grado la incorporación de tecnologías alternativas en el aula, así también lo

indicaron Trujillo, Cáceres, Hinojo y Aznar (2011) en un estudio sobre la percepción por parte de los alumnos sobre el uso de las TIC en la formación universitaria. El 87.25% de los participantes creen que las tecnologías en la realidad mixta son más motivadoras que los métodos tradicionales de aprendizaje, este hecho se ve refrendado por los resultados del apartado 6.9 (Actitud hacia las tecnologías). Siendo la tecnología de la realidad aumentada la que en promedio es mejor valorada por los alumnos.

Los factores positivos más importantes son, sin duda, la actitud hacia estas tecnologías y la aceptación de la dualidad entre realidad aumentada y realidad virtual por los participantes, siendo un nuevo paradigma escasamente estudiado. En cuanto a los factores negativos podemos indicar que recaen la mayoría en el uso de la realidad virtual, los participantes informaron problemas sobre la calidad de visión y pequeñas molestias (ligeros mareos). Estos problemas fueron debidos principalmente a problemas en el diseño de interfaz de usuario y a la dificultad de adaptación de los medios físicos para visualizar la realidad virtual, especialmente sensibles para las personas que llevan lentes para la corrección de la vista.

Los alumnos se han sentido familiarizados con las técnicas exploratorias de la realidad aumentada realizada con los dispositivos móviles, estando bastante concentrados en las actividades a realizar. Como contraste, los participantes en las experiencias con gafas de realidad virtual estaban en cierto modo desorientados y muchos de los participantes -a pesar del training inicial- más pendientes del uso del dispositivo que de la actividad en sí.

El uso que hacen los estudiantes encuestados de los dispositivos móviles es intensivo, el 99% de los participantes utilizan el móvil de forma habitual. El mayor uso corresponde al uso de mensajería instantánea, por el

contrario, estas cifras disminuyen al realizar tareas más complejas con el móvil, los resultados se pueden ver en el apartado 6.4. Este uso es similar al de las tendencias actuales para su grupo de edad; así, los jóvenes europeos de 16 a 24 años utilizan más el smartphone para enviar mensajes, navegar por internet o acceder a redes sociales¹.

Los alumnos confiesan no haber usado aplicaciones de realidad aumentada en el 60% de los casos y de realidad virtual en el 66% de los casos. Sorprenden estos resultados si tenemos en cuenta que es la generación denominada de los *millennials*² y que están caracterizados básicamente por el uso continuado de dispositivos móviles y redes sociales.

Como podemos ver en los apartados 6.6 y 6.7 a los participantes les parece fácil el uso de estas tecnologías. El 78.6% de los participantes usando la realidad aumentada expresaron algún grado de facilidad de uso, esta cifra para la realidad virtual fue del 72.5% y para las transiciones de la dualidad RA-RV la valoración fue del 86.5%.

En lo que se refiere a expresar la utilidad percibida de los diferentes sistemas, las valoraciones son también muy altas (RA, 74.5%; RV, 70%), situándose la realidad mixta, al incorporar los dos elementos, en el promedio de las dos.

En cuanto a la adecuación para ser incluidas estas tecnologías en las aulas y la intención de uso en las aulas por los participantes (futuros maestros) las valoraciones vuelven a ser muy positivas. Encontrándose por encima de valores del 70% a los participantes que les parecen adecuadas

¹ Informe Mobile 2016. Ditrendia.

² Nacidos entre 1982 y 2004

para su uso en las aulas, quedando refrendado este punto por la intención de uso en las aulas de estas tecnologías por encima de un 75%.

De forma general y a la vista de los resultados podemos concluir que la utilización de las tecnologías en la realidad mixta, tanto realidad aumentada como realidad virtual dentro del aula son valoradas muy positivamente por los alumnos. Mostrando una intención de futuro uso muy positiva, lo que demostraría las características inherentes de facilidad de uso y utilidad de los sistemas. Por otra parte, la importancia de la actitud hacia estas tecnologías y su grado de aceptación radican en que serán ellos, maestros en potencia, el elemento clave en los procesos educativos del mañana y los que deberán modelar y tomar decisiones sobre los medios y su forma de uso.

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación hemos ido explorando las diferentes experiencias en el aula al ser utilizadas distintas tecnologías en el abanico de la realidad mixta. Hemos analizado qué ha supuesto como experiencia para los alumnos el uso de las diferentes tecnologías, y cómo estas tecnologías pueden ser adaptadas a los procesos de aprendizaje. Se ha subrayado también la importancia de referenciar este tipo de estudios bajo diferentes marcos, tanto tecnológicos -usabilidad y el modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM) -como metodológicos (TPACK).

Son destacables las limitaciones de esta investigación, primero por la imposibilidad de abordar contenido dentro del currículo, pero marcando nuevas líneas de investigación. También sería de gran trascendencia un trabajo a gran escala con amplias muestras de diferentes poblaciones de estudiantes. Así mismo el trabajo con personas con discapacidad es otra línea de futura investigación que debe ser abordada.

Bibliografía

Adams Becker, S., Cummins, M., Davis, A., Freeman, A., Hall Giesinger, C., & Ananthanarayanan, V. (2017). NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition. Austin, Texas: The New Media Consortium.

Ajoy S., Fernandez S., Feiner, S., (2016). Combating VR Sickness through Subtle Dynamic Field-Of-View Modification. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2016* 19–23 March, Greenville, SC, EE.UU.

Anderson, L., & Krathwohl, D. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Allyn and Bacon. ISBN 978-0-8013-1903-7.

De Antonio, A., Villalobos, M., Luna E., (2000). Cuándo y cómo usar la Realidad Virtual en la Enseñanza. *Revista de Enseñanza y Tecnología* – Enero - Abril 2000

Allen, K. (2002). A new fold in micro-display optics, in emerging displays review, emerging display technologies, *Stanford Resources*, July, pp. 7–12.

Arab, E., & Díaz, A. (2014). Impacto de las redes sociales en la adolescencia: aspectos positivos y negativos. *Revista Médica Clínica Las Condes*. 2015; 26(1) 07-13.

Aznar, I., & Hinojo, F.J. (2004). Uso pedagógico de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en los Centros de Formación Ocupacional: percepción de los alumnos formados en Andalucía. *El Guiniguada*, ISSN 0213-0610, ISSN-e 2386-3374, Nº 13, 2004, págs. 117-128.

Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence*, 6(4), 355-385.

Bajura, M., & Neumann, U. (1995). Dynamic registration correction in augmented-reality systems. *Proc. of the Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS '95)*, 189-196.

Barroso, J., & Gallego, O. (2017). Producción de recursos de aprendizaje apoyados en Realidad Aumentada por parte de los estudiantes de Magisterio. *edmetic*, 6(1), 2017, E-ISSN: 2254-0059; pp. 23-38. *Revista de Educación Mediática y TIC*.

Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., Rouèche, C., & Olabe, J. C. (2007). Realidad Aumentada en la Educación: una Tecnología Emergente. *Libro de Actas ONLINE EDUCA MADRID 2007. 7ª Conferencia Internacional de la Educación y Formación basada en las Tecnologías*, pp. 24-29, Madrid, 7-9 Mayo 2007. ISBN: 3-9810562-5-6.

Beyer, H., & Holtzblatt, K. (1997). *Contextual Design: Defining Customer-Centered Systems*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, 1997.

Billinghamurst, M. (2002). Augmented reality in education. *New Horizons for Learning*, 12.

Billinghamurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented Reality in the classroom. *Computer*, 45(7), 56-63.

Billinghamurst, M., Dünser, A. & Grasset, R. (2008). *The Design of a Mixed-Reality Book: Is It Still a Real Book?* HIT Lab NZ-. University of Canterbury. Private Bag 4800, Christchurch, New Zealand. 2008.

Billinghamurst, M., Kato, H. & Poupyrev, I. (2001). The magicbook-moving seamlessly between reality and virtuality. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21(3), 6-8.

Black, A.C., Little, C., McCoach, D., Purcell, J., & Siegle, D. (2008) Advancement via individual determination: Method selection in conclusions about program effectiveness. *The Journal of Educational Research*, 2008

Bimber, O., Fröhlich, B., Schmalstieg, D., & Encarnação, M. (2001). The Virtual Showcase. *Journal IEEE Computer Graphics & Applications*, 21(6), November/December 2001, pp. 48-55

Biocca, F. A., & Rolland, J. P. (1998). Virtual eyes can rearrange your body: Adaptation to virtual-eye location in see-thru head-mounted displays,

Presence: Teleoperators and Virtual Environments (MIT Press), 7(3), 262–277.

Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals*. David McKay Company; 1956. p. 201-7.

Björk, S., & Holopainen, J. (2005). *Game Design Patterns*. Charles River Media.

Bogdanovych, A. (2007). *Virtual institutions*. PhD Thesis.

Bower, M., Cram, A., & Groom, D. (2010). Blended reality: Issues and potentials in combining virtual worlds and face-to-face classes. *ASCILITE 2010 - The Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education*, páginas 129-140, 2010.

Britain, S., & Liber, O. (1999). A Framework for Pedagogical Evaluation of Virtual Learning Environments. *Jisc Technology Applications Programme*. Report 41.

Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32–41.

Buchanan, P., Seichter, H., Billingham, M., & Grasset, R. (2008). *Augmented Reality and Rigid Body Simulation for Edutainment. The Interesting Mechanism - an AR puzzle to teach Newton physics*. HIT Lab NZ, University of Canterbury. Christchurch, New Zealand.

Bryant, T. (2006). Social software in academia. *EDUCAUSE Quarterly*, 2. Recuperado el 20 de Junio de 2015: <https://www.educause.edu/ir/library/pdf/egm0627.pdf>

Cabero, J. (2000). Medios y Nuevas Tecnologías para la integración escolar. *Revista de Educación*, 2, 253-265.

Cabero, J. (2016). ¿Qué debemos aprender de las pasadas investigaciones en Tecnología Educativa? *RIITE. Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 0, pp. 23-33. Doi: <http://dx.doi.org/10.6018/riite/2016/256741>

Cabero, J., & Barroso, J. (2016) Ecosistema de aprendizaje con Realidad Aumentada: posibilidades educativas. *CEF* núm 5. pp141-154.

Cáceres, M. P., Hinojo, F. J., & Aznar, I. (2011) Incorporación de las TIC en el período escolar de 0 a 6 años. Diseño de una entrevista para evaluar la percepción de los maestros. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*.

Cranmer, E., Jung, T., Dieck, M. C., & Miller, A. (2016). Understanding the Acceptance of Augmented Reality at an Organisational Level: The Case of Geevor Tin Mine Museum. In *Information and Communication Technologies in Tourism 2016* (pp. 637-650). Springer International Publishing.

Carrasquilla, G., & Pinilla, H. (2011). *Aplicacion de la realidad aumentada en la enseñanza de la simetria molecular para lograr un aprendizaje significativo*. Cartagena: Universidad de Cartagena.

Carlin, A. S., Hoffman, H. G., & Weghorst, S. (1997). Virtual reality and tactile augmentation in the treatment of spider phobia: a case report. *Behaviour Research and Therapy*, 35, 153–158.

Caudell, T. P., & Mizell, D.W. (1992). Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual manufacturing Processes. Proceedings of the 25th Annual Hawaii International Conference on Systems Sciences (HICSS), 659-669. Hawaii, EE.UU.

Colby, K. M. (1968). Computer aided language development in non speaking children. *Arch. Gen. Psychiatry*, 19, 641-652.].

Colley, J., & Stead, G. (2004). Mobile learning = collaboration. *Proceedings of m-Learn 2004: Mobile learning anytime everywhere* (pp. 57–58). London: Learning and Skills Development Agency.

Cowan, B., Sabri, H., Kapralos, B., Moussa, F., Cristancho, S., & Dubrowski A. (2011). A serious game for off-pump coronary artery bypass surgery procedure training. *Studies in Health Technologies and Informatics*. 2011;163:147-9.

Creswell, J. W. (2014). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Thousand Oaks, California: SAGE Publications.

Cristancho, S. M., Moussa, F., & Dubrowski, A. (2011). A framework-based approach to designing simulation-augmented surgical education and training programs. *The American Journal of Surgery*, 202(3), 344-351.

Christou, C., (2010). Virtual Reality in Education. Affective, interactive and cognitive methods for e-learning design: creating an optimal education experience, p.228.

Chen, Y.C. (2006). *A study of comparing the use of augmented reality and physical models in chemistry education*. In proceedings of the 2006 International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications, Hong Kong, China: ACM.

Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science*, 323(5910), 66-69.

Dellinger, A.B., & Leech, N.L. (2007). Towards a unified validation framework in mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(4), 309-332.

Difede, J., Cukor, J., Wyka, K., Olden, M., Hoffman, H., Lee, F. S., & Altemus, M. (2014). D-cycloserine augmentation of exposure therapy for post-traumatic stress disorder: A pilot randomized clinical trial. *Neuropsychopharmacology*, 39(5), 1052-1058. doi:10.1038/npp.2013.317

Ditrendia (2017). Informe Mobile en España y en el mundo. Recuperado desde: <https://ditrendia.es/informe-ditrendia-mobile-en-espana-y-en-el-mundo-2016/>

Drascic, D., & Milgram, P. (1996). Perceptual Issues in Augmented Reality. *Proc. SPIE Vol. 2653: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III*, San Jose, California, Feb. 1996. 123-134.

Doolittle, P.E. & Camp, W.G. (1999) Constructivism: The career and technical education perspective. *Journal of Career and Technical Education* 16 (1)

Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory Augmented Reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7-22.

Dünser, A., Grasset, R., Seichter, H., & Billinghamurst, M. (2007). *Applying HCI principles to AR systems design*. HIT Lab NZ.

Ellis, S. R. (1994). What are virtual environments? *IEEE Computer Graphics and Applications archive*, Volume 14 Issue 1, January 1994 Page 17-22.

European Commission (2013). *Survey of schools: ICT in education. Benchmarking access, use and attitudes to technology in Europe's schools*. http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/dae/itemdetail.cfm?item_id=9920

Feiner, S., MacIntyre, B., & Hollerer, T. (1997). A touring machine: Prototyping 3d mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. *In Proceedings of The First International Symposium on Wearable Computers (ISWC '97)*, pages 74 –81, 1997.

Feiner, S., MacIntyre, B., Haupt, M., & Solomon, E. (1993). Windows on the World: 2D Windows for 3D Augmented Reality. In *6th Annual*

Symposium on User Interface Software and Technology, pp 145-155, Atlanta, Ga, Nov 1993.

Feiner, S. (2002). Augmented Reality: A New Way of Seeing. *Scientific American*, Apr 2002, pp. 52-62.

Ferrara, C., & Hill, S.D. (1980). The responsiveness of children with autism to the predictability of social and non social toys. *Journal of autism and Developmental disorders (10)*: 51-7

Fernández, M. S. (2001) Las nuevas tecnologías en la educación. Análisis de modelos de aplicación. Departamento de Didáctica y Teoría de la educación. Universidad Autónoma de Madrid.

Fernández, M.S. (2001) La aplicación de las nuevas tecnologías en la educación. *Tendencias pedagógicas*, Nº 6, 2001, págs. 139-148.

Fisher, S., McGreevy, M., Humphries, J., & Robinett, W. (1986). Virtual Environment Display System. In *Symposium on Interactive 3D Graphics*, pp 77-87, Chapel Hill, NC, Oct 1986.

Fuhrmann, A., Lffelmann, H., Schmalstieg, D. & Gervautz, M. (1998). *Collaborative visualization in augmented reality. IEEE Computer Graphics and Applications*, 18(4):54–59, 1998.

Fundación Telefónica (2017). Informe SIE 2016. La Sociedad de la Información en España 2016.

Gabbard, L. (2001). Researching Usability Design and Evaluation Guidelines for Augmented Reality (AR). *Systems*, vol. 2006, 2001.

Garcia, S. (2013). Augmented Learning Enviroments to enrich the classroom. Presentado en BETT Show 2013, London. Recuperado a partir de <http://www.bettshow.com/SeminarDetail.aspx?Semid=Reg104>

Gay, G., Stefanone, M., Grace-Martin, M., & Hembrooke, H. (2001). The effects of wireless computing in collaborative learning environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 13(2), 257–276

Goleman, D. (1999). *Trabalhar com inteligencia emocional*. Edit. Temas e debates. Lisboa

Heinrich, P. (2012). The Ipad as a Tool for Education. A Study of the Introduction of iPads at Longfield Academy, Kent. Naace. Consultado el (10/12/2012) en <http://www.naace.co.uk/publications/longfieldipadresearch>

Henrysson, A., & Ollila, M. (2004). UMAR - Ubiquitous mobile augmented reality. En: *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM'04)*, Maryland, USA, ACM, 41-45.

Hoaglin, D.C., & Iglewicz, B. (1987). Fine tuning some resistant rules for outlier labeling, *Journal of American Statistical Association*, 82, 1147-1149.

Höllerer, T., Feiner, S., Terauchi, T., Rashid, G., & Hallaway, D. (1999). Exploring MARS: developing Indoor and Outdoor User Interfaces to a Mobile Augmented Reality System *Elsevier Science Limited. To appear in Computers & Graphics* 23(6), pp. 779-785

Hornecker, E., & Dünser, A. (2007). *Supporting Early Literacy with Augmented Books. Experiences with an Exploratory Study*. The Open University/HitLabNz.

Hornecker, E., & Dünser, A. (2009). Of pages and paddles: children's expectations and mistaken interactions with physical–digital tools. *Interacting with Computers*, 21(1-2)

Institute for Software Technology and Interactive Systems & Vienna University of Technology. (2002). *An Application and Framework for using Augmented Reality in Mathematics and Geometry Education*. Recuperado el 23 de 04 de 2012, de Interactive Media Systems Group: <http://www.ims.tuwien.ac.at/research/construct3d/>

Ishii, I., & Takahashi, O. (1983). The epidemiology of autistic children in Tayata, Japan. *Japanese Journal of child and adolescent Psychiatry* 1983; 24:311-21

ITU (2017). ICT Fact and Figures 2016. International Telecommunication Union. <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx>

Henrysson, A., & Ollila, M. (2004). UMAR - Ubiquitous mobile augmented reality. en: *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM'04)*, Maryland, EE.UU., ACM, 41-45

Hsiao, K.F., Chen, N.S., & Huang, S.Y. (2011). Learning while exercising for science education in augmented reality among adolescents. *Interactive Learning Environments*, 20(4), 331-349.

IJsselsteijn, W. et al. (Eds.) (2006) Persuasive Technology for Human Well-Being: Setting the Scene. *PERSUASIVE 2006*, LNCS 3962, pp. 1 – 5, 2006.

Jerry, T., & Aaron, C. (2010). *The impact of augmented reality software with inquiry-based learning on students' learning of kinematics graph*. In Education Technology and Computer (ICETC), 2010 2nd International Conference on, (pp. V2-1-V2-5): IEEE.

Jiménez, J. (2014) Estudio sobre los estándares TIC en educación en los futuros docentes de la Facultad de Educación de la Universidad Complutense de Madrid. Memoria para optar al grado de doctor. Recuperada de <http://eprints.ucm.es/30925/1/T36158.pdf>

Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., & Hall, C. (2016). NMC Informe Horizon 2016 Edición Superior de Educación. Austin, Texas: The New Media Consortium.

Johnson, L., Adams, S., & Cummins, M. (2012). *NMC Horizon Report: 2012 K-12 Edition*. Austin, Texas: T. N. M. Consortium.

Johnson, D. W., Johnson, R., & Smith, K. (1991): *Active Learning: Cooperation in the College Classroom*, Edina, Minnesota, Interaction Book Company.

Johnson, L., Smith, R., Levine, A., & Haywood, K. (2010). *The 2010 Horizon Report: Australia – New Zealand Edition*. Austin, Texas: T. N. M. Consortium.

Jonas-Dwyer, D. & Pospisil, R. (2004). The millennial effect: Implications for academic development. *Proceedings of the 2004 annual international conference of the Higher Education Research and Development Society of Australasia (HERDSA)*, Sarawak, Malaysia.

Jordan, R. (1995). Computer Assisted Education for Individuals with Autism. *Paper presented at the Autisme France 3rd International Conference, 1995, Nice*.

Kasai, I., Tanijiri, Y., Endo, T., & Ueda, H. (2000). A forgettable near eye display, *Proceedings of Fourth International Symposium on Wearable Computers (ISWC) 2000*, Atlanta, GA, pp. 115–118.

Kato, H., Billingham, M., Poupyrev, I., Imamoto, K., & Tachibana, K. (2000). Virtual object manipulation on a table-top ar environment. *In Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2000)*, October 2000.

Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Computers & Graphics*, 27(3), 339-345.

Kinash, S., Brand, J., & Mathew, T. (2012). Challenging mobile learning discourse through research: Student perceptions of Blackboard Mobile Learn

and iPads. *Australasian journal of educational technology*, 28(4), 639-655.
Recuperado desde <http://www.ascilite.org.au/ajet/ajet28/kinash.pdf>

Kirsh, D. (1995). The intelligent use of space. *Artificial Intelligence*, 73(1):31–68, 1995

Kozma, R. B. (2008). Comparative analysis of policies for ICT in education. *International Handbook of Information Technology in primary and secondary education* (pp.1083-1096). New York: Springer.

Langlotz, T., Nguyen, T., Schmalstieg, D., & Grasset, R., (2014). Next-generation Augmented Reality browsers: rich, seamless and adaptive. *Proceedings of the IEEE*, 102 (2), 155-169

Lee, K. (2012). Augmented Reality in education and training. *TechTrends*, 56(2), 13 21.

Lee J.S., Namkoong K., Ku J., Cho S., Park J.Y., Choi Y.K., Kim J.J., Kim I.Y., Kim S., & Jung Y.C. (2008) Social pressure-induced craving in patients with alcohol dependence: application of virtual reality to coping skill training. *Psychiatry Investig.* 2008 Dec; 5(4):239-43.

Lin, H. (2012). Interacting with visual poems through AR-based digital artwork. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11(1), 123-127.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*. In *Proceedings of Telemanipulator and Telepresence Technologies*, (pp. 2351–2334).

Neville, M. (2010). Meaning making using new media: Learning by design case studies. *E-Learning and Digital Media*, 7(3), 237-247.

Lazar, J., Feng, J., & Hochheiser, H. (2009). *Research Methods in Human-Computer Interaction*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd.

Lifton, J. & Paradiso, J.A. (2010). Dual reality: Merging the real and virtual. In Lecture Notes of the *Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, 2010*. ISBN 3642117422. doi: 10.1007/978-3-642-11743-5n 2.

Loftin, B., Engelberg, M., & Benedetti, R. (1993). Applying virtual reality in education: A prototypical virtual physics laboratory. *Proceedings of the IEEE 1993 Symposium on Research Frontiers in Virtual Reality*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA (1993) 67-74

LoPresti, E.F., Mihailidis, A., & Kirsch, N. (2004). Assistive technology for cognitive rehabilitation: State of the Art. *Neuropsychological rehabilitation*, 2004, 14 (1/2), 5-117, EE.UU.

Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative: *Literature review, ACM Computing surveys*, 38(3), article 7.

Madden, L. (2011). *Professional Augmented Reality Browsers for Smartphones*. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd.

Mann, S. (1994). *Mediated Reality. M.I.T. M.L. Technical Report 260*, Cambridge, Massachusetts. Accedido desde <http://wearcam.org/mr.htm>

Mann, S. (2002). *Mediated Reality with implementations for everyday life*. Publicado en *presenceconnect.com, the on line companion to the MIT Press journal PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments*, Date Posted: 2002 August 6.

Mantovani, F., & Galimberti y otros. (2003). *VR learning: Potential and Challenges for the Use of 3D Environments in Education and Training*. Giuseppe Riva & Carlo Galimberti (Eds.). p.207-226.

Mathieson, K. (1999). *Predicting User Intentions: Comparing the Technology Acceptance Model with the Theory of Planned Behavior*. *Management Sciences Information Systems Research 2*: 3 173.

McClannahan, L., & Krantz, P. (1999). *Activity schedules for Children with Autism*. Woodbine House. EE.UU.: 1999.

McGovern, J., & Gray, K. (2005). *Directions for organisation and management of university learning: Implications from a qualitative survey of student e-learning*. *Proceedings of ASCILITE 2005*.

Medina, A., et al. (Coor.) (2015). *Innovación de la Educación y la Docencia*. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces. Madrid.

Milgram, P., & Kishino, F. (1994) *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. IEICE Trans. Information Systems, Vol. E77-D, No. 12, pp 1321-1329, 1994.

Mitchell, R. (2011). Alien Contact!: Exploring teacher implementation of an augmented reality curricular unit. *Journal of Computers in mathematics and Science Teaching*, 30(3), 271-302.

Mohring, M., Lessig, C., & Bimber, O. (2004) Video See-Through AR on Consumer Cell-Phones. ISMAR '04 Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Pages 252-253.

Nagahara, H., Yagi, Y., & Yachida, M. (2003). Super wide viewer using catadioptrical optics, Proceedings of ACM VRST, Osaka, Japón, pp. 169–175.

Naismith, L., Lonsdale, P., Vavoula, G., & Sharples, M. (2004). NESTA Futurelab Report 11: Literature review in mobile technologies and learning. Bristol, UK: NESTA Futurelab.

Neumann, U., & Majoros, A. (1998). Cognitive, performance, and systems issues for augmented reality applications in manufacturing and maintenance. *Proceedings. IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium*.

Oblinger, D. G. (2004). The Next Generation of Educational Engagement. *Journal of Interactive Media in Education*, (8).

Oblinger, D. G., & Oblinger, J. L. (2005). Educating the net generation. EDUCAUSE. Recuperado el 12 de Mayo de 2014: <https://net.educause.edu/ir/library/pdf/pub7101.pdf>

OCDE (2016). PISA 2015 Resultados Clave. *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos*.

Parsons, S., Leonard, A., & Mitchell, P. (2006). Virtual environments for social skills training: comments from two adolescents with autistic spectrum disorder. *Computers in Education* , 47 (2), 188-206.

Parsons, S., & Mitchel, P. (2002). The potential of virtual reality in social skills training for people with autistic spectrum disorders. *Journal of Intellectual Disability Research. Volume 46, part 5*, 430-443, June 2002 Blackwell Science Ltd.

Pastoor, S., & Conomis, C. (2005) Mixed Reality Displays, in 3D Videocommunication: Algorithms, Concepts and Real-Time Systems in *Human Centred Communication* (eds O. Schreer, P. Kauff and T. Sikora), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/0470022736.ch14.

Pereira, Z. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista Electrónica Educare*, vol. XV, núm. 1, enero-junio, 2011, pp. 15-29 Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.

Perkowitz, M., & Etzioni, O. (2000) Adaptive Web sites *Communication. ACM*, vol. 43, no. 8, pp. 152–158, 2000.

Piaget, J. (1972). Intellectual evolution from adolescence to adulthood. *Human Development*, 15, (1), 1-12.

Piekarski, W., & Thomas, B. H. (2002). The Tinmith System - Demonstrating New Techniques for Mobile Augmented Reality Modelling. In *3rd Australasian User Interfaces Conference*, Melbourne, Vic, Jan 2002.

Plienis, A. J., & Romanczyk, R. G. (1985). Analysis of performance, behavior, and predictors for severely disturbed children: A comparison of adult vs. computer instruction. *Analysis and Intervention in Developmental Disabilities*, 5(4), 345-356.

Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants. *On the Horizon*, 9(5).

Price, S., Rogers, Y., Scaife, M., Stanton, D., & Neale, H. (2003). Using 'tangibles' to promote novel forms of playful learning. *Interacting with Computers*, 15 (2). 2003; 169-185.

Public Health England (2013). Public Health England's priorities for 2013 to 2014. Accedido el 13 de noviembre de 2015. <https://www.gov.uk/government/publications/public-health-englands-priorities-for-2013-to-2014>

Rasimah, C., Ahmad, A., & Zaman, H. (2011). Evaluation of user acceptance of mixed reality technology. *Australasian Journal of Educational Technology*, 27(8), 1369-1387.

Regenbrecht, H., Baratoff, G., & Wilke, W. (2005). Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 25(6), 48-56.

Rekimoto, J. (1996). Augmented Reality Using the 2D Matrix Code. *Proceedings of the 4th Workshop on Interactive Systems and Software (WISS'96)*. Japan.

Rekimoto, J., & Nagao, K. (1995) The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments. In *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 29–36, 1995.

Ritke-Jones, W. (2010). Virtual Environments for Corporate Education: Employee Learning and Solutions. *IGI Global*. <https://www.igi-global.com/book/virtual-environments-corporate-education/37318>

Rivilla, A. M., Garrido, M. C. D., Cabezas, A. R., Domínguez, M. M., Pérez, R. P., Gómez, M. J. A., ... & Llamas, J. L. G. (2015). *Innovación de la educación y de la docencia*. Editorial Universitaria Ramón Areces.

Rodríguez, P., Nussbaum, M., Zurita, G., Rosas, R., & Lagos, F. (2001). Personal digital assistants in the classroom: an experience. *Proceedings of the Ed-Media world conference on educational multimedia, hypermedia and telecommunications 2001* (pp. 1567–1572).

Rose, E., Breen, D., Ahlers, K., Greer, D., Crampton, C., Tuceryan, M., & Whitaker, R. (1995). Annotating real-world objects using augmented vision. *In Computer Graphics International'95*, 1995.

Rothbaum, B.A., Hodges, L. F., Anderson, P. L., Price, L., & Smith, S. (2002). Twelve-month follow up of virtual reality and standard exposure therapies for the fear of flying. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 70 (2), 428-432.

Saadé, R., Nebebe, F., & Tan, W. (2007). Viability of the “Technology Acceptance Model” in Multimedia Learning Environments: A Comparative Study. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects* Volume 3, 2007.

Savill-Smith, C., & Kent, P. (2003). The use of palmtop computers for learning: A review of the literature. London, UK: Learning and Skills Development Agency. Recuperado el 16 de julio de 2012, desde http://www.m-learning.org/docs/the_use_of_palmtop_computers_for_learning_sept03.pdf

Schaeffer, B., Kollinzas, G., Musil, A., & McDowell, P. (1977). Spontaneous verbal language for autistic children through signed speech. *Sign Language Studies*, Núm 17, pp. 287-328.

Schmalstieg, D., Fuhrmann, A., Hesina, G., Szalavari, Z., Encarnao, L. M., Gervautz, M., & Purgathofer, W. (2000). The studierstube augmented reality project. Technical Report TR-186-2-00-22, Vienna University of Technology, December 2000.

Shadish, W., Cook, T., & Campbell, D. (2002) Experimental and quasi experimental designs for generalized causal inference. Houghton Mifflin Company. Boston. Recuperado de: <http://impact.cgiar.org/pdf/147.pdf>

Sharples, M. (2000). The Design of Personal Mobile Technologies for Lifelong Learning. *Computers & Education*, Volumen 34, pp. 177-193.

Shelton, B. E. (2002). Augmented reality and education: Current projects and the potential for classroom learning. *New Horizons for Learning*, 9(1).

Shin, C., Kim, H., Kang, C., Jang, Y., Choi, A., & Woo, W. (2010). *Unified context-aware augmented reality application framework for user-driven tour guides*. In Ubiquitous Virtual Reality (ISUVR), 2010 International Symposium on, (pp. 52-55): IEEE.

Sieber, S. D. (1973). The Integration of Fieldwork and Survey Methods. *The American Journal of Sociology*, Vol. 78, No. 6 (May, 1973), 1335–1359.

Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence Teleoperators and Virtual Environments.*, Vol. 6, 6, pp 603-616.

Shuhaiber, J. H. (2004). Augmented reality in surgery. *Archives of surgery*, 139(2), 170.

Squire, K., & Jan, M. (2007). Mad City Mystery: Developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers. *Journal of Science Education and Technology*, 16(1), 5-29.

Squire, K., & Klopfer, E. (2007). Augmented Reality simulations on handheld computers. *Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 371-413.

Stry, C. (2001). Exploring the Concept of Virtuality: Technological Approaches and Implications from Tele-Education. *Virtual Reality: Cognitive Foundations, Technological Issues & Philosophical Implications*, p.113–128.

Stead, G. (2005). Moving mobile into the mainstream. *Proceedings of m-Learn 2005*.

Stratton, G. (1896). Some preliminary experiments on vision without inversion of the retinal image. *Psychological Review*. Accedido el 10/1/17 http://www.cns.nyu.edu/~nava/courses/psych_and_brain/pdfs/Stratton_1896.pdf

Strickland, D. (1997). Virtual Reality for the Treatment of Autism. *Virtual Reality in Neuro-Psycho-Physiology*, 1997, los Press: Amsterdam, Holanda. Sutherland, I. (1965). The Ultimate Display. In *IFIP Congress*, pp 506-508, New York, NY, 1965.

Tamura, H., Yamamoto, H. & Katayama, A. (2001). Mixed Reality: Future Dreams Seen at the Border between Real and Virtual Worlds. Published in: IEEE Computer Graphics and Applications archive. Volume 21 Issue 6, November 2001 Page 64-70.

Takagi, A., Yamazaki, S., Saito, Y., & Taniguchi, N. (2000). Development of a stereo video see-through HMD for AR systems, *Proceedings of International Symposium on Augmented Reality (ISAR) 2000*, Munich, Germany, pp. 68–80.

Tang, A. Owen, C. Biocca, F., & Mou, W.(2002) Experimental evaluation of augmented reality in object assembly task. En *Proceedings of*

ISMAR 2002, IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Septiembre - Octubre 2002.

Tarng, W., & Ou, K.-L. (2012). *A Study of Campus Butterfly Ecology Learning System Based on Augmented Reality and Mobile Learning*. In *Wireless, Mobile and Ubiquitous Technology in Education (WMUTE), 2012 IEEE Seventh International Conference on*, (pp. 62-66): IEEE.

Taylor, S.J., & Bogdan, R. (1986). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Paidós. Barcelona.

Totter A., & Grote G. (2005). *Interaction Analysis of Learning and Teaching Processes of e-learning Systems*. Organisation, Work and Technology Group, Swiss Federal Institute of Technology Zurich. (ETH), Kreuzplatz 5, 8032 Zürich, Switzerland.

Trindade, J., Fiolhais, C. & Almeida, L. (2002). Science Learning in Virtual Environments: A Descriptive Study. *British Journal of Educational Technology*, 33 (4), p.471-488.

Trujillo, J. M., Cáceres M.P., Hinojo, F.J. & Aznar, I (2011). Aprendizaje cooperativo en entornos virtuales. El proyecto Redes Educativas y Organizativas Interuniversitarias. *Educar 2011*, vol. 47/1, pp 95-119.

UNESCO (2016). Education for people and planet: creating sustainable futures for all, Global Education Monitoring Report, 2016. Primera Edición. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Vlahakis, V., Loannidis, N., Karigiannis, J., Gounaris, M., Stricker, D., Gleue, T., Daehne, P., & Almeida, L. (2002) Challenges and solutions of a personalized augmented reality guide for archaeological sites. *Computer Graphics in Art, History and Archaeology: Special Issue of the IEEE Computer Graphics and Applications Magazine*, 22(5), Sept.-Oct 2002.

Wagner, D., Mulloni, A., & Schmalstieg, D. (2008). Mobility and social interaction as core gameplay elements in multi-player augmented reality. In *Proceedings of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts* (pp. 472-478). ACM.

Weghorst, S. (1997). Augmented Reality and Parkinson's Disease. *Communications of the ACM*, 40(8), 47-48.

Woodrow Barfield, W. (Ed) (2016). Fundamentals of wearables computers and Augmented Reality. CRC Press Taylor & Francis Group.

Zurita, G., & Nussbaum, M. (2004). Computer supported collaborative learning using wirelessly interconnected hand-held computers. *Computers & Education*, 42(3), 289–314.

Apéndice

1 Acrónimos y abreviaturas utilizados

API: Application Programming Interface.

ARiSE: Augmented Reality for School Environments.

ARToolkit: Augmented Reality Toolkit.

ARTP: Augmented Reality Teaching Platform.

BBC: British Broadcasting Corporation.

BYOD: Bring Your Own Device.

CHI: Computer Human Interaction.

CNMC: Comisión Nacional del Mercado de las Comunicaciones.

CRT: Cathode Ray Tube.

FLARTToolkit: Flash Augmented Reality Toolkit.

FTTH: Fiber To The Home.

HiT: Human Interaction Technology.

HDR: High Dynamic Range.

HMD: Head Mounted Display.

HUD: Head Up Display.

IMU: Inertial Measurement Unit.

ITU: International Telecommunications Union.

LTE: Long Term Evolution.

MOOC: Massive Online Open Course.

NASA: National Aeronautics and Space Administration.

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

RA: Realidad Aumentada.

RM: Realidad Mixta.

RMd: Realidad Mediada.

RV: Realidad Virtual.

SDK: Software Developer Kit.

SO: Sistema Operativo.

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences.

TAM: Technology Acceptance Model.

TEA: Trastornos del Espectro Autista.

TIC: Tecnologías de la Información y de la Comunicación.

UAM: Universidad Autónoma de Madrid.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

VA: Virtualidad Aumentada.

VRT: Video Tape Recorder.

2D- Dos dimensiones.

3D- Tres dimensiones.

2 Cuestionarios digitales

Experiencia UAM

Cuestionario de Evaluación de la actividad sobre el conocimiento y valoración de tecnologías de la Realidad Mixta en educación.

Este cuestionario de evaluación forma parte de la investigación que estamos realizando para valorar específicamente alternativas digitales encuadradas dentro de la Realidad Mixta (Realidad Aumentada, Realidad Virtual) frente a recursos tradicionales de aprendizaje. No se pretende en ninguna forma evaluarte sino obtener información relativa al uso de estas tecnologías.

Para llevar a cabo este trabajo se han seleccionado los grupos de estudiantes de la Facultad de Formación y Profesorado de la Universidad Autónoma de Madrid. Lee atentamente las instrucciones y, si tienes alguna duda, pregunta a la persona que está aplicando la encuesta.

En cumplimiento de la normativa vigente de protección de datos de carácter personal (Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre) las respuestas que proporcionas son anónimas, sólo se usarán con fines estadísticos.

INSTRUCCIONES

Es importante que prestes atención a las preguntas y, sobre todo, que respondas lo mejor que puedas a lo que se te pregunta.

Intenta no dejar ninguna cuestión sin contestar: son fáciles y tienes tiempo suficiente. Si no sabes qué responder en alguna de las preguntas, o prefieres no contestar, basta con que dejes sin marcar las opciones de respuesta.

Después de la sección 1 [Ir a la siguiente sección](#)

Descripción (opcional)

1- Género: *

Hombre

Mujer

2- ¿Qué edad tienes? *

Texto de respuesta corta

3- ¿En qué experiencia has participado? *

1. GRUPO I (Sin Intervención Digital)
2. GRUPO II (Experiencia de Realidad Aumentada)
3. GRUPO III (Experiencia de Realidad Virtual)
4. GRUPO IV (Experiencia de Realidad Mixta)

Después de la sección 2 [Ir a la siguiente sección](#) ▼

Sección 3 de 6

Grupo I (Sin Intervención)

Grupo que realiza la actividad con métodos tradicionales de enseñanza.

Bloque 1: Cuestionario de evaluación Misión Apolo

Descripción (opcional)

4- El proyecto Apolo se desarrolló en la década de:

- 1960
- 1930
- 1940
- 1990

5- ¿Cuántas misiones Apolo lograron posarse en la Luna?

- 6 (10, 12, 13, 14, 15, 16)
- 7 (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)
- 6 (11, 12, 14, 15, 16, 17)
- Sólo 2 (12 y 13)

6- La gravedad en la Luna es:

- Un tercio mayor que la de la Tierra.
- Dos sextos menor.
- Un sexto la de la Tierra.
- Igual que la de la Tierra.

7- Las patas del módulo lunar eran:

- Extrafuertes, para soportar la gravedad.
- Extrafinas.
- Una base cuadrada.
- Círculos concéntricos.

8- La altura del módulo lunar era aproximadamente de:

- 7 m
- 1,5 m
- 22 m
- 224 m

Bloque 2: Cuestionario de evaluación Basílica de San Pedro

Descripción (opcional)

9- La superficie de la basílica es aproximadamente de:

- 23000 m²
- 120000 m²
- 33000 hectáreas.
- 1200 m²

10- La altura aproximada, incluyendo la cúpula, es de:

- 45m

- 89 m
- 136 m
- 846 m

11- La plaza de San Pedro tiene forma:

- Circular y elíptica
- Elíptica y Trapezoidal
- Trapezoidal y cuadrada
- Romboidal y circular

12- En la plaza podemos encontrar:

- Una columnata
- Una cabalgata
- Un obelisco de 125 m de altura
- Un circo romano

Bloque 3: Cuestionario de evaluación The People's Dome

Descripción (opcional)

13- La planta del edificio tiene una superficie de:

- 2300 m²
- 1200 m²

137 m

212 m²

14- La cúpula (The People`s Dome) es una esfera...:

Deconstruida.

Verde para integrarse en el paisaje.

Perfecta

Simétrica.

15- La entrada a la cúpula mide de altura aproximadamente:

4 metros

2.5 metros

12 metros

1.5 metros

16- Por favor cita las figuras y formas geométricas que has reconocido:

Texto de respuesta larga

Bloque 4: Sobre el uso de dispositivos móviles.

Descripción (opcional)

17 ¿Usas de forma habitual un dispositivo móvil? Si tu respuesta es No

SI

NO

18- ¿Puedes indicarme el sistema operativo?

Android

IOS

Otro

Lo desconozco

19- Indícanos qué usos le das al teléfono móvil:

Hacer llamadas de Voz

Enviar mensajes de texto tradicionales (SMS)

Usar mensajería instantánea (Whatsapp o similar)

Hacer fotos o grabar vídeo

Acceder a Internet

Acceder a Redes Sociales

Acceder al correo electrónico

Usar Mapas, sistema de Navegación

20- Soy capaz de realizar las siguientes acciones:

Instalar Aplicaciones

Formatear el dispositivo

Configurar cuentas personales

21- ¿Te ha parecido interesante la actividad? Valora de 1 a 6 en qué grado te ha parecido interesante.

	1	2	3	4	5	6	
Muy interesante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nada interesante

22-¿Participarías en otras actividades parecidas si se te propusiera?

Sí

No

23- Te damos las gracias por tu participación. Puedes incluir a continuación cualquier comentario con respecto a estas actividades.

Texto de respuesta larga

Después de la sección 3 **Enviar formulario** ▼

Sección 4 de 6

Grupo II (Realidad Aumentada)

Grupo que realiza la actividad usando la aplicación de Realidad Aumentada.

Bloque 1: Cuestionario de evaluación Misión Apolo

Descripción (opcional)

4- El proyecto Apolo se desarrolló en la década de:

- 1960
- 1930
- 1940
- 1990

5- ¿Cuántas misiones Apolo lograron posarse en la Luna?

- 6 (10, 12, 13, 14, 15, 16)
- 7 (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)
- 6 (11, 12, 14, 15, 16, 17)
- Sólo 2 (12 y 13)

6- La gravedad en la Luna es:

- Un tercio mayor que la de la Tierra.
- Dos sextos menor.
- Un sexto la de la Tierra.
- Igual que la de la Tierra.

7- Las patas del módulo lunar eran:

- Extrafuertes, para soportar la gravedad.
- Extrafinas.
- Una base cuadrada.
- Círculos concéntricos.

8- La altura del módulo lunar era aproximadamente de:

- 7 m
- 1,5 m
- 22 m
- 224 m

Bloque 2: Cuestionario de evaluación Basílica de San Pedro

Descripción (opcional)

9- La superficie de la basílica es aproximadamente de:

- 23000 m²
- 120000 m²
- 33000 hectáreas.
- 1200 m²

10- La altura aproximada, incluyendo la cúpula, es de:

- 45m

- 89 m
- 136 m
- 846 m

11- La plaza de San Pedro tiene forma:

- Circular y elíptica
- Elíptica y Trapezoidal
- Trapezoidal y cuadrada
- Romboidal y circular

12- En la plaza podemos encontrar:

- Una columnata
- Una cabalgata
- Un obelisco de 125 m de altura
- Un circo romano

Bloque 3: Cuestionario de evaluación The People's Dome

Descripción (opcional)

13- La planta del edificio tiene una superficie de:

- 2300 m²
- 1200 m²

137 m

212 m²

14- La cúpula (The People`s Dome) es una esfera...:

Deconstruida.

Verde para integrarse en el paisaje.

Perfecta

Simétrica.

15- La entrada a la cúpula mide de altura aproximadamente:

4 metros

2.5 metros

12 metros

1.5 metros

16- Por favor cita las figuras y formas geométricas que has reconocido:

Texto de respuesta larga

Bloque 4: Sobre el uso de dispositivos móviles.

Descripción (opcional)

17 ¿Usas de forma habitual un dispositivo móvil? Si tu respuesta es No

SI

NO

18- ¿Puedes indicarme el sistema operativo?

Android

IOS

Otro

Lo desconozco

19- Indícanos qué usos le das al teléfono móvil:

Hacer llamadas de Voz

Enviar mensajes de texto tradicionales (SMS)

Usar mensajería instantánea (Whatsapp o similar)

Hacer fotos o grabar vídeo

Acceder a Internet

Acceder a Redes Sociales

Acceder al correo electrónico

Usar Mapas, sistema de Navegación

20- Soy capaz de realizar las siguientes acciones:

Instalar Aplicaciones

Formatear el dispositivo

Configurar cuentas personales

Bloque 5: Cuestionario experiencia Realidad Aumentada

Descripción (opcional)

21- ¿Has usado anteriormente aplicaciones de Realidad Aumentada?

SI

NO

22- ¿Te ha parecido fácil el uso de la Realidad Aumentada en la actividad?
Por favor valora de 1 a 6 la facilidad de uso.

	1	2	3	4	5	6	
Fácil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Difícil

23- ¿Te ha parecido útil el uso de la Realidad Aumentada? Por favor valora de 1 a 6 la utilidad que piensas puede tener.

	1	2	3	4	5	6	
Muy útil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nada útil

24- ¿Crees que la Realidad Aumentada es adecuada para su uso en la aulas? Por favor indica en qué grado te lo parece:

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

Muy adecuada

Nada adecuada

25- ¿Tienes intención en un futuro de usar este tipo de tecnología (Realidad Aumentada) en tus clases?

Sí

No

Bloque 8: Motivación

Descripción (opcional)

26-¿Te ha parecido interesante la actividad? Valora de 1 a 6 en qué grado te ha parecido interesante.

1 2 3 4 5 6

Muy interesante

Nada interesante

27-¿Participarías en otras actividades parecidas si se te propusiera?

Sí

No

28- ¿Crees que este tipo de Tecnologías (Realidad Aumentada, Realidad Virtual) motivan más a los alumnos que usar medios tradicionales de

Sí

No

29- Te damos las gracias por tu participación. Puedes incluir a continuación cualquier comentario con respecto a estas actividades.

Texto de respuesta larga

Después de la sección 4 **Enviar formulario**

Sección 5 de 6

Grupo III (Realidad Virtual)

Grupo que realiza la actividad usando la aplicación de Realidad Virtual.

Bloque 1: Cuestionario de evaluación Misión Apolo

Descripción (opcional)

4- El proyecto Apolo se desarrolló en la década de:

- 1960
- 1930
- 1940
- 1990

5- ¿Cuántas misiones Apolo lograron posarse en la Luna?

- 6 (10, 12, 13, 14, 15, 16)
- 7 (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)

7 (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)

6 (11,12,14,15,16,17)

Sólo 2 (12 y 13)

6- La gravedad en la Luna es:

Un tercio mayor que la de la Tierra.

Dos sextos menor.

Un sexto la de la Tierra.

Igual que la de la Tierra.

7- Las patas del módulo lunar eran:

Extrafuertes, para soportar la gravedad.

Extrafinas.

Una base cuadrada.

Círculos concéntricos.

8- La altura del módulo lunar era aproximadamente de:

7 m

1,5 m

22 m

224 m

Bloque 2: Cuestionario de evaluación Basílica de San Pedro

Descripción (opcional)

9- La superficie de la basílica es aproximadamente de:

- 23000 m²
- 120000 m²
- 33000 hectáreas.
- 1200 m²

10- La altura aproximada, incluyendo la cúpula, es de:

- 45m
- 89 m
- 136 m
- 846 m

11- La plaza de San Pedro tiene forma:

- Circular y elíptica
- Elíptica y Trapezoidal
- Trapezoidal y cuadrada
- Romboidal y circular

12- En la plaza podemos encontrar:

- Una columnata
- Una cabalgata
- Un obelisco de 125 m de altura
- Un circo romano

Bloque 3: Cuestionario de evaluación The People's Dome

Descripción (opcional)

13- La planta del edificio tiene una superficie de:

- 2300 m²
- 1200 m²
- 137 m
- 212 m²

14- La cúpula (The People`s Dome) es una esfera...:

- Deconstruida.
- Verde para integrarse en el paisaje.
- Perfecta
- Simétrica.

15- La entrada a la cúpula mide de altura aproximadamente:

- 4 metros

2.5 metros

12 metros

1.5 metros

16- Por favor cita las figuras y formas geométricas que has reconocido:

Texto de respuesta larga

Bloque 4: Sobre el uso de dispositivos móviles.

Descripción (opcional)

17 ¿Usas de forma habitual un dispositivo móvil? Si tu respuesta es No puedes saltar a la pregunta 21.

SI

NO

18- ¿Puedes indicarme el sistema operativo?

Android

IOS

Otro

Lo desconozco

19- Indícanos qué usos le das al teléfono móvil:

Hacer llamadas de Voz

- Enviar mensajes de texto tradicionales (SMS)
- Usar mensajería instantánea (Whatsapp o similar)
- Hacer fotos o grabar vídeo
- Acceder a Internet
- Acceder a Redes Sociales
- Acceder al correo electrónico
- Usar Mapas, sistema de Navegación

20- Soy capaz de realizar las siguientes acciones:

- Instalar Aplicaciones
- Formatear el dispositivo
- Configurar cuentas personales

Bloque 6: Cuestionario Realidad Virtual

Descripción (opcional)

21- ¿Has usado anteriormente aplicaciones de Realidad Virtual?

- Sí
- No

22- ¿Has usado alguna vez unas gafas de Realidad Virtual?

- Sí

No

23- ¿Te ha parecido fácil el uso de la Realidad Virtual en la actividad? Por favor valora de 1 a 6 la facilidad de uso.

	1	2	3	4	5	6	
Fácil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Difícil

24- ¿Te ha parecido útil el uso de la Realidad Virtual?. Por favor valora de 1 a 6 la utilidad que piensas puede tener.

	1	2	3	4	5	6	
Muy útil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nada útil

25-¿Crees que la Realidad Virtual es adecuada para su uso en las aulas? Por favor indica en qué grado te lo parece.

	1	2	3	4	5	6	
Muy adecuado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nada adecuado

26- ¿Tienes intención en un futuro de usar este tipo de tecnología (Realidad Virtual) en tus clases?

Sí

No

27- ¿Llevas algún medio de corrección en la vista (gafas, lentillas)?

Sí

No

28- ¿Has sufrido molestias o mareos durante la experiencia?

Sí

No

29- Si has marcado la casilla anterior de forma positiva, ¿puedes indicarnos el origen de las molestias?

Texto de respuesta larga

Bloque 8: Motivación

Descripción (opcional)

30- ¿Te ha parecido interesante la actividad? Valora de 1 a 6 en qué grado te ha parecido interesante.

1 2 3 4 5 6

Muy interesante

Nada
interesante

31-¿Participarías en otras actividades parecidas si se te propusiera?

Sí

No

32- ¿Crees que este tipo de Tecnologías (Realidad Aumentada, Realidad Virtual) motivan más a los alumnos que usar medios tradicionales de

Sí

No

33- Te damos las gracias por tu participación. Puedes incluir a continuación cualquier comentario con respecto a estas actividades.

Texto de respuesta larga

Después de la sección 5 **Enviar formulario** ▼

Sección 6 de 6

Grupo IV (Realidad Mixta)

Grupo que realiza la actividad usando la aplicación de Realidad Mixta, utilizando Realidad Aumentada y Realidad Virtual en una misma aplicación.

Bloque 1: Cuestionario de evaluación Misión Apolo

Descripción (opcional)

4- El proyecto Apolo se desarrolló en la década de:

1960

1930

1940

1990

5- ¿Cuántas misiones Apolo lograron posarse en la Luna?

6 (10, 12, 13, 14, 15, 16)

7 (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)

6 (11, 12, 14, 15, 16, 17)

Sólo 2 (12 y 13)

6- La gravedad en la Luna es:

Un tercio mayor que la de la Tierra.

Dos sextos menor.

Un sexto la de la Tierra.

Igual que la de la Tierra.

7- Las patas del módulo lunar eran:

Extrafuertes, para soportar la gravedad.

Extrafinas.

Una base cuadrada.

Círculos concéntricos.

8- La altura del módulo lunar era aproximadamente de:

7 m

...

1,5 m

22 m

224 m

Bloque 2: Cuestionario de evaluación Basílica de San Pedro

Descripción (opcional)

9- La superficie de la basílica es aproximadamente de:

23000 m²

120000 m²

33000 hectáreas.

1200 m²

10- La altura aproximada, incluyendo la cúpula, es de:

45m

89 m

136 m

846 m

11- La plaza de San Pedro tiene forma:

Circular y elíptica

Elíptica y Trapezoidal

- Trapezoidal y cuadrada
- Romboidal y circular

12- En la plaza podemos encontrar:

- Una columnata
- Una cabalgata
- Un obelisco de 125 m de altura
- Un circo romano

Bloque 3: Cuestionario de evaluación The People's Dome

Descripción (opcional)

13- La planta del edificio tiene una superficie de:

- 2300 m²
- 1200 m²
- 137 m
- 212 m²

14- La cúpula (The People`s Dome) es una esfera...:

- Deconstruida.
- Verde para integrarse en el paisaje.
- Perfecta

Simétrica.

15- La entrada a la cúpula mide de altura aproximadamente:

4 metros

2.5 metros

12 metros

1.5 metros

16- Por favor cita las figuras y formas geométricas que has reconocido:

Texto de respuesta larga

Bloque 4: Sobre el uso de dispositivos móviles.

Descripción (opcional)

17 ¿Usas de forma habitual un dispositivo móvil? Si tu respuesta es No puedes saltar a la pregunta 21.

SI

NO

18- ¿Puedes indicarme el sistema operativo?

Android

IOS

...

Otro

Lo desconozco

19- Indícanos qué usos le das al teléfono móvil:

Hacer llamadas de Voz

Enviar mensajes de texto tradicionales (SMS)

Usar mensajería instantánea (Whatsapp o similar)

Hacer fotos o grabar vídeo

Acceder a Internet

Acceder a Redes Sociales

Acceder al correo electrónico

Usar Mapas, sistema de Navegación

20- Soy capaz de realizar las siguientes acciones:

Instalar Aplicaciones

Formatear el dispositivo

Configurar cuentas personales

Bloque 5: Cuestionario Realidad Aumentada

Descripción (opcional)

21- ¿Has usado anteriormente aplicaciones de Realidad Aumentada?

SI

Sí

No

22- ¿Te ha parecido fácil el uso de la Realidad Aumentada en la actividad? Por favor valora de 1 a 6 la facilidad de uso.

	1	2	3	4	5	6	
Fácil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Difícil

23- ¿Te ha parecido útil el uso de la Realidad Aumentada? Por favor valora de 1 a 6 la utilidad que piensas puede tener.

	1	2	3	4	5	6	
Muy útil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nada útil

24- ¿Crees que la Realidad Aumentada es adecuada para su uso en la aulas? Por favor indica en qué grado te lo parece:

	1	2	3	4	5	6	
Muy adecuada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nada adecuada

25- ¿Tienes intención en un futuro de usar este tipo de tecnología (Realidad Aumentada) en tus clases?

Sí

No

Bloque 6: Cuestionario Realidad Virtual

Descripción (opcional)

26- ¿Has usado anteriormente aplicaciones de Realidad Virtual?

Sí

No

27- ¿Has usado alguna vez unas gafas de Realidad Virtual?

Sí

No

28- ¿Te ha parecido fácil el uso de la Realidad Virtual en la actividad? Por favor valora de 1 a 6 la facilidad de uso.

	1	2	3	4	5	6	
Fácil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Difícil

29- ¿Te ha parecido útil el uso de la Realidad Virtual? Por favor valora de 1 a 6 la utilidad que piensas puede tener.

	1	2	3	4	5	6	
Muy útil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nada útil

30-¿Crees que la Realidad Virtual es adecuada para su uso en las aulas? Por favor indica en qué grado te lo parece.

1 2 3 4 5 6

Muy adecuado Nada adecuado

31- ¿Tienes intención en un futuro de usar este tipo de tecnología (Realidad Virtual) en tus clases?

Sí

No

32- ¿Llevas algún medio de corrección en la vista (gafas, lentillas)?

Sí

No

33- ¿Has sufrido molestias o mareos durante la experiencia?

Sí

No

34- Si has marcado la casilla anterior de forma positiva, ¿puedes indicarnos el origen de las molestias?

Texto de respuesta larga

Bloque 7: Cuestionario experiencia Realidad Mixta (Realidad Aumentada + Realidad Virtual)

Descripción (opcional)

35- Me resultó fácil/difícil la transición entre Realidad Aumentada y Realidad Virtual. Por favor indica en qué grado

	1	2	3	4	5	6	
Muy fácil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy difícil

36-¿Crees que la Realidad Mixta (Realidad Aumentada + Realidad Virtual) es adecuada para su uso en las aulas? Por favor indica en qué grado:

	1	2	3	4	5	6	
Muy adecuada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nada adecuada

37- ¿Tienes intención en un futuro de usar este tipo de tecnología (Realidad Mixta) en tus clases?

- Sí
- No

38- ¿Te ha parecido interesante la actividad? Valora de 1 a 6 en qué grado te ha parecido interesante.

	1	2	3	4	5	6	
Muy interesante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nada interesante

Bloque 8: Motivación

Descripción (opcional)

39-¿ Participarías en otras actividades parecidas si se te propusiera?

Sí

No

40- ¿Crees que este tipo de Tecnologías (Realidad Aumentada, Realidad Virtual) motivan más a los alumnos que usar medios tradicionales de

Sí

No

41- Te damos las gracias por tu participación. Puedes incluir a continuación cualquier comentario con respecto a estas actividades.

Texto de respuesta larga
