

Evaluación de software de producción de objetos en Realidad Aumentada con fines educativos

Evaluation of object production software in Augmented Reality for educational purposes

Julio Cabero-Almenara
Universidad de Sevilla, Sevilla, España
cabero@us.es

Carmen Llorente-Cejudo
Universidad de Sevilla, Sevilla, España
karen@us.es

Resumen

El interés del presente artículo está destinado a evaluar las posibilidades que ofrece el software de producción de Realidad Aumentada (RA) existente en el momento actual para su incorporación en el ámbito educativo, con el objeto de identificar aquellas características que se adecuen a las necesidades de los docentes que pretendan diseñarlos, producirlos e incorporarlos a sus aulas. Para ello se construyó un cuestionario destinado a indagar sobre el grado de conocimiento que los expertos que evaluaron los diferentes software poseían de diferentes programas existentes en el mercado para la producción de objetos en RA. Entre los resultados obtenidos, destacar que, ante la falta de estudios que valoren el software de producción de objetos de aprendizaje en RA, el presente trabajo aporta indicaciones, tanto para la selección del mismo, como para tener criterios para su valoración. De las conclusiones obtenidas, destacar que el trabajo ha permitido identificar los diez programas que son más conocidos por los expertos en los momentos en los cuales se realizan, como, por ejemplo: Arlab, Armedia, Arpa, ARTTolkit, Aurasma, Blippar, Designers artoolkit, Layar, Vuforia y Wikitude.

Palabras clave: Realidad Aumentada; evaluación del software, materiales multimedia; educación superior; investigación educativa.

Abstract

This article has the main interest to evaluate the possibilities offered by the existing Augmented Reality (AR) production software for its incorporation into the educational field, in order to identify those characteristics that meet the needs of teachers who intend to design, produce and incorporate them into their classrooms. For this purpose, a questionnaire was created to investigate the degree of knowledge that the experts who evaluated the different software possessed of different existing programs in the market for the production of objects in AR. Among the results obtained, it should be noted that, in the absence of studies that assess the production software of learning objects in AR, this work provides indications, both for the selection of the same, and to have criteria for its assessment. From the conclusions obtained, highlight that the work has allowed to identify the ten programs that are most known by the experts at the moments in which they are made, such as: Arlab, Armedia, Arpa, ARTTolkit, Aurasma, Blippar, Designers artoolkit, Layar, Vuforia and Wikitude

Keywords: Augmented reality; software evaluation, multimedia materials; higher education; educational research.

1.- Unas referencias iniciales

A la luz de los datos ofrecidos por diferentes estudios, entre los que podemos destacar los diferentes Informes Horizon (Johnson et al., 2012 y 2016), los Report EduTrend (Tecnológico de Monterrey, 2015) o los hiperciclos de aceptación de cualquier tecnología realizados por la compañía Gartner¹, es factible pensar que no existe equivocación si se afirma que estamos asistiendo al afianzamiento de diferentes tendencias en el uso educativo de las tecnologías emergentes consolidándose, entre otras, los dispositivos móviles, el modelado en 3D y la realidad aumentada (“Augmented Reality”) (RA).

Centrándonos en esta última, y apoyándonos en los documentos anteriormente comentados, encontramos que ésta es una de las tecnologías que en los últimos tiempos se está presentando como emergente y con verdaderas posibilidades de impactar en el terreno educativo. Tecnología que, de acuerdo con diferentes Informes como el Horizon (Johnson, Adams Becker, Cummins, Estrada, Freeman & Hall, 2016), tendrá una fuerte penetración en las instancias educativas en un horizonte de 3 a 5 años.

Atendiendo a las propuestas de diferentes autores (Fundación Telefónica, 2011; Fombona, Pascual & Madeira, 2012; Muñoz, 2013; Cabero-Almenara & Barroso, 2015 y 2016; Prendes, 2015; Cabero-Almenara & García, 2016; Villalustre & Moral, 2016), cabe decir que cuando hablamos de RA se hace referencia a la combinación de información digital e información física en tiempo real a través de diferentes dispositivos tecnológicos, que van desde las tablet, los smartphones, a gafas de visionado especiales. Y es mediante esta interacción, y con la participación de la persona, cuando enriquecemos o alteramos la información existente.

No es nuestra intención abordar la problemática de la utilización educativa de la RA, respecto a la cual decir que se está incorporando a todos los niveles educativos: primaria (Bongiovani, 2013; Prendes, 2015; Villalustre & Moral, 2016, López y otros, 2019), secundaria-bachillerato-formación profesional (Liu, 2009; Avendaño, Chao, Mercado, & Bazán, 2012; De Pedro Carracedo & Méndez, 2012; Bressler & Bodzin, 2013; De la Torre, Martín-Dorta, Saorín, Carbonel, & González, 2013; Del Cerro & Morales, 2017) y universitario (Rodríguez, 2013). Así como en diferentes áreas curriculares: ingeniería y arquitectura (De la Torre, et al., 2013), urbanismo (Carozza, Tingdahl, & Gool, 2014), matemáticas-geometría (Coimbra, Cardoso, & Mateus, 2015; DE la Torre, et all, 2015; Poot, Martin-Gonzalez y Menendez-Dominguez, 2016), arte e historia (Ruiz, 2011) aprendizaje de idiomas (Santos et al., 2016; Hsu, 2017), tecnología (Rodríguez, 2013), diseño (Ko, Chang, Chen, & Hua, 2011), química (Pasaréti, Hajdú, Matuszka, Jambori, Molnar, & Turcsányi-Szabó, 2011), ciencias naturales (Fracchia, Alonso, & Martins, 2015), biología (Solano, Casas, & Guevara, 2015), geografía (Tsai, Liu, & Yau, 2013; Carbonell y Bermejo, 2017), medicina (Barroso & Cabero-Almenara, 2016; Ferrer, Jiménez, Torralba y García, 2016) o ciencias de la educación (Garay, Tejada y Maíz, 2017).

Por otra parte, señalar que cuando se han realizado investigaciones los alumnos se han mostrado altamente satisfechos de interaccionar con esta tecnología (Barroso & Cabero, 2016; Bicen y Bal, 2016). Si bien la falta de investigación es una de las limitaciones existentes para su incorporación educativa.

El interés del presente artículo se va a centrar en evaluar las posibilidades que ofrece el software de producción de RA existente en el momento actual, y de manera general,

¹ <http://www.gartner.com/technology/home.jsp>

podemos decir que éste debe ser funcionalmente correcto, fiable, comprensible, con una alta usabilidad, eficiente y actualizable (Schmalstieg & Höllner, 2016). Y entre los problemas para su incorporación se encuentran: su novedad, la constante aparición de programas de software, y los sofisticados requerimientos técnicos que algunos requieren para que puedan ser utilizados por docentes y discentes (Barroso-Osuna, Gutiérrez-Castillo, Llorente-Cejudo & Valencia, 2019). De todas formas, resaltar que, en los últimos tiempos, hemos venido asistiendo al desarrollo de software, en muchos casos de código abierto, optimizado para su uso en diferentes plataformas que nos ayudan a producción de objetos de RA en unos pocos pasos de manera muy fácil e intuitiva (Kan, Teng & Chen, 2011), frente al software utilizado profesionalmente para la producción de estos objetos que requiere de altos conocimientos de programación para su correcta utilización.

Básicamente, este software se puede clasificar en función de si las aplicaciones permiten una sencilla incorporación o gestión del contenido, o, por el contrario, requieren de una labor de programación importante para llevar a cabo la realización del objeto de RA y a su vez pueden ser dinámicas o estáticas, según permitan o no interacción (Cubillo, Gutiérrez, Castro y Colmenar, 2014).

2.- El estudio realizado

Declarado el objetivo del estudio, que es el de evaluar las diferentes posibilidades que ofrece el software existente de producción de objetos en RA, una de las técnicas más utilizadas para la evaluación de medios y materiales de enseñanza es el denominado “juicio de expertos”, que a grandes rasgos, consiste en solicitarle a diferentes personas que los investigadores consideran cualificados, que emitan un juicio de valor sobre un material educativo (Cabero-Almenara, 2013); en definitiva, es solicitar “una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones” (Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez, 2008, 29).

Pero su utilización implica tener en cuenta diferentes aspectos para que los resultados que se obtengan con ellos sean significativos que, por lo general, giran alrededor del procedimiento a seguir para su selección.

Por lo que se refiere a su selección, inicialmente se adoptaron una serie de premisas previas para su selección, como fueron:

- Tener experiencia profesional en ámbitos relacionados con la Tecnología Educativa y la aplicación de las Tecnologías de la Información y Comunicación a los contextos educativos.
- Tener experiencia laboral en el terreno de la producción educativa de recursos educativos en general, y en objetos de aprendizaje en RA en particular.
- Pertener a grupos de investigación en Tecnología Educativa.
- Ser de diferentes Universidades Españolas y Latinoamericanas.
- El haber colaborado anteriormente en otros trabajos de investigación o en publicaciones que permitiera realizar una valoración previa respecto de su seriedad y profesionalidad.
- O tener alguna vinculación con el proyecto RAFODIUN.

Para su selección se siguieron dos pasos: en primer lugar, se hizo una selección masiva a través de diferentes procedimientos: correos a los miembros del equipo de investigación del proyecto RAFODIUN, a los miembros de grupos de investigación en Evaluación de software de producción de objetos en Realidad Aumentada con fines educativos. Julio Cabero-Almenara y Carmen Llorente-Cejudo. Página 3 de 23

tecnología educativa de diferentes Universidades españolas y latinoamericanas, y a investigadores que colaboraron en otros estudios. También se le mandaron correos solicitando su participación a personas que en los últimos tres años habían escrito algún artículo o publicación sobre la temática de la RA. Al mismo tiempo se puso la encuesta en un post de la comunidad virtual RAFODIUN², para que quién quisiera pudiera también cumplimentarla.

El segundo paso consistió en la obtención del denominado “Coeficiente de competencia experta” o “Coeficiente K” (Oñate, 2001, García y Fernández, 2008; López, 2008; Blasco et al., 2010; Cabero y Llorente, 2013). Procedimiento de selección que está siendo utilizado en diferentes trabajos (Zayas, 2011; Cabero-Almenara y Barroso, 2013; Llorente, 2013; y Mengual-Andrés, Roig-Vila y Blasco, 2016), donde se está mostrando como significativo para refinar el procedimiento de selección de los expertos.

Su cálculo se efectúa “a partir de la opinión mostrada por el experto sobre su nivel de conocimiento acerca del problema de investigación, así como de las fuentes que le permiten argumentar el criterio” (Cabero-Almenara y Barroso, 2013, 29). Matemáticamente se obtiene a través de la fórmula: $K = \frac{1}{2} (Kc + Ka)$, donde Kc = es el “Coeficiente de conocimiento” o información que en nuestro caso el experto tiene respecto a la RA, y se obtiene a partir de la autovaloración que realiza en la escala del 0 al 10 y multiplicado por 0,1. La pregunta que formulamos para ello en nuestro caso fue: “Marque en la casilla que le corresponde el grado de conocimiento que usted posee acerca de la temática de la Realidad Aumentada en una escala de 0 a 10 (considerando el 0 como no tener absolutamente ningún conocimiento y 10 tener pleno conocimiento del estado de la cuestión). Y Ka= es el “Coeficiente de argumentación” o fundamentación de los criterios por parte del experto, en este caso se obtiene a partir de la asignación por el experto de la asignación de una serie de puntuaciones a distintas fuentes de argumentación. En nuestro caso, se obtuvo con la siguiente pregunta, que es la adaptación a nuestra investigación de las usualmente utilizadas para ello: “Autovalore el grado de influencia que cada una de las fuentes que le presentamos a continuación, ha tenido en su conocimiento y criterios sobre la temática de la Realidad Aumentada”

Indicar que, si K se sitúa entre 0,8 y 1, podemos concluir que hay una influencia alta de todas las fuentes, y en consecuencia el experto seleccionado es adecuado para la evaluación (Zayas, 2011; Hurtado de Mendoza, 2012; Cabero-Almenara y Barroso, 2013, Llorente, 2013, y Mengual-Andrés, Roig-Vila y Blasco, 2016).

Señalar que cumplimentaron el cuestionario 220 expertos, de los cuales, aplicando el coeficiente señalado, quedaron 104, que fueron los únicos que obtuvieron puntuaciones de 0,8 o superior. Por tanto, los resultados que a continuación presentaremos son los obtenidos únicamente con estas personas. Teniendo en cuenta a todas las 220 personas que cumplimentaron el cuestionario, los porcentajes disminuían al 70,91 en la primera pregunta, y al 72,73% en la segunda. Tal disminución indicaba también el “filtro” que el propio “Coeficiente K” introducía para seleccionar los más oportunos.

Indicar que, de estos 104 expertos, 92 (88,46%) indicaron que alguna vez habían producido algún objeto en RA, y 96 (92,31%) que lo habían incorporado a actividades académicas y de formación.

El instrumento que se utilizó para recoger la información estaba compuesto por 149 ítems, aunque no todos deberían ser cumplimentados. El cuestionario estaba compuesto de dos grandes apartados: en el primero, que estaba compuesto por 4 ítems, dos que permitían obtener el “Coeficiente K” y dos para conocer si habían producido

² <https://plus.google.com/u/0/communities/102143147822806126247>

algún objeto en RA, y si habían utilizado en actividades académicas y de formación la RA; en el segundo de los apartados se preguntaba específicamente sobre diferentes software de producción de objetos de RA, para cada uno de ellos se le preguntaba inicialmente si conocía el programa, y en el caso de responder afirmativamente se le hacían cuatro preguntas: 1) El grado de conocimiento técnico que considera que un usuario debe tener para manejar el programa, en una escala de 0 a 10 (0=no necesidad de tener conocimientos y 10 tener fuertes conocimientos tecnológicos), 2) La accesibilidad/ facilidad de navegación y desenvolverse por el programa en una escala de 0 a 10 (0=fácil de navegar y 10 muy complicado de manejar), 3) La posibilidad de incorporación de materiales diferentes (vídeos, documentos impresos, 3D,..) que ofrece el programa en una escala de 0 a 10, (0=permite muy pocos tipos de materiales y 10=permiten gran amplitud de materiales) lo valoraría: (considerando el 0 como que permite muy pocos tipos de materiales y 10 tener fuertes conocimientos tecnológicos), y 4) La facilidad de utilización por profesores y estudiantes del programa para la producción de objetos de aprendizaje que ofrece el programa en una escala de 0 a 10 (0=muy difícil de utilizar y 10 muy fácil de utilizar).

Para la construcción del instrumento se siguieron diferentes etapas: revisión en la literatura de los programas que se indicaban que fundamentalmente se utilizaban (Lacueva, Gracia, Sanagustín, González & Romero, 2015; Cabero-Almenara, Leiva, Moreno, Barroso y López, 2016; Cabero y García, 2016; Schmalstieg y Höllerer, 2016; y Villalustre y Del Moral, 2016), distribución de dicha lista a los miembros del equipo de investigación RAFODIUN por si observaban que no se había incluido alguno, y envío de dicha lista a personas que considerábamos que habían producido objetos en RA.

El cuestionario fue construido con la herramienta Google.Docs, y se administró vía internet.

3.- Resultados

Una de las partes del cuestionario estaba destinada a indagar sobre el grado de conocimiento que los expertos que evaluaron el software tenían de diferentes programas de software existentes en el mercado para la producción de objetos en RA. En la tabla nº 1 presentamos las respuestas ofrecidas.

Tabla nº 1. Programas conocidos y desconocidos.

Programas	Si		No	
	f	%	f	%
Alvar	20	19,23	84	80,77
Arlab	30	28,85	74	71,15
Armedia	32	30,77	72	69,23
Arpa	22	21,15	82	78,85
ARToolkit	60	57,69	44	42,31
Aruco	12	11,54	92	88,46
Aurasma	84	80,77	20	19,23
Bazar	8	7,69	96	92,31
Beyond	8	7,69	96	88,46
Blippar	28	26,92	76	73,08
Catchoom	12	11,54	92	88,46
Daqri	18	17,31	86	82,69
Designers artoolkit	40	38,46	64	61,54
Hoppala	20	19,23	84	80,77
In2ar	8	7,69	96	92,31
Instant reality	6	5,77	98	94,23

Programas	Si		No	
	f	%	f	%
Koozyt	4	3,85	100	96,15
Layar	64	61,54	40	38,46
Mixare	12	11,54	92	88,46
Openspace3d	8	7,69	96	92,31
Rox odometry	4	3,85	100	96,15
Sstt	4	3,85	100	96,15
Total immersion	16	15,38	88	84,62
Uart	10	9,62	94	90,38
Vuforia	42	40,38	62	59,62
Wikitude	50	48,08	54	51,92
Win AR	6	5,77	98	94,23
Yvision	2	1,92	102	98,08
Zappcode creator	12	11,54	92	88,46

Lo primero a señalar del análisis de los resultados alcanzados es que, de la amplitud de programas ofrecidos para la valoración, la gran mayoría eran desconocidos por los expertos; en concreto solamente cinco programas superaron el 40% de identificación de conocimiento por parte de los expertos. Es de señalar, que en una gran amplitud de programas eran ampliamente desconocidos por los expertos, con un desconocimiento superior al 85%: Aruco, Bazar, Beyond, Catchoom, In2ar, Instant reality, Koozyt, Mixare, Openspace3d, Rox odometry, Sstt, Total immersion, Uart, Win AR, Yvision y Zappcode creator; es decir, más del 50% de los programas que se le ofrecieron.

Los 10 programas más conocidos fueron los siguientes:

1. Aurasma (84-88,77%).
2. Layar (64-61,54%).
3. ARToolkit (60-57,69%).
4. Wikitude (50-48,08%).
5. Vuforia (42-40,38%).
6. Designers artoolkit (40-38,46%).
7. Armedia (32-30,77%).
8. Arlab (30-28,85%).
9. Blippar (28-26,92%).
10. Arpa (22-21,15%).

Como ya se apuntó, el instrumento estaba diseñado de manera que si el experto indicaba que conocía el programa, se le formulaban cuatro preguntas dirigidas a que evaluara determinados aspectos: grado de conocimiento técnico que se consideraba que un usuario debía tener para manejar el programa, la accesibilidad/facilidad que el programa ofrecía para ser utilizado, la posibilidad de incorporar diferentes recursos que ofrecía y la facilidad de utilización que permitía para ser utilizado por el profesor y el estudiante. Con el objeto de conocer si nuestros evaluadores habían discriminado a la hora de contestar en las cuatro opciones formuladas, y en consecuencia que las respuestas ofrecidas serían significativas, aplicamos la W de Kendall (Siegel, 1976). En la tabla nº 2 se presentan las puntuaciones alcanzadas.

Tabla nº 2.- Valores W de Kendall.

	W de Kendall	Sig.		W de Kendall	Sig.
Alvar	0,036	0,539	Instant reality	0,949	0,001

Arlab	0,021	0,604	Koozyt	1,000	0,007
Armedia	0,088	0,038	Layar	0,024	0,195
Arpa	0,064	0,238	Mixare	0,127	0,207
ARTTolkit	0,108	0,000	Openspace3d	0,324	0,051
Aruco	0,159	0,126	Rox odometry	0,750	0,029
Aurasma	0,149	0,000	Sstt	0,382	0,206
Bazar	0,000	1,000	Total immersion	0,370	0,000
Beyond	0,188	0,212	Uart	0,714	0,000
Blippar	0,181	0,002	Vuforia	0,285	0,000
Catchoom	0,696	0,000	Wikitude	0,026	0,265
Daqri	0,325	0,001	Win ar	0,511	0,027
Designers artoolkit	0,191	0,000	Yvision	1,000	0,112
Hoppala	0,237	0,003	Zappcode creator	0,284	0,017
In2ar	0,205	0,179			

El valor del estadístico W de Kendall, va de 0 a 1, indicando el valor 0 la no existencia de coincidencia y 1 la completa concurrencia. Como podemos observar en la gran mayoría de los casos los valores no son muy superiores a 0, lo que indicaría la tendencia de los expertos que evaluaron los diferentes programas ofrecidos a discriminar el valor que tendían a dar en las cuatro opciones que se les pedían. En consecuencia, podemos indicar que los expertos tendieron a discriminar las respuestas que ofrecieron a cada una de las preguntas.

Por lo que se refiere a los valores medios y desviaciones típicas alcanzadas para cada uno de los programas en las diferentes opciones, en la tabla nº 3 se presentan los valores alcanzados.

Tabla nº 3. Valoraciones de los programas

Programa	Grado conocimiento...		Accesibilidad/facilidad...		Incorporar diferentes recursos		Facilidad utilización...	
	M	d.t.	M	d.t.	M	d.t.	M	d.t.
Alvar	7.100	1.744	6.400	1.603	6.300	1.949	6.000	3.212
Arlab	6.667	1.688	7.067	1.258	6.400	2.127	6.933	2.333
Armedia	6.750	2.476	6.000	2.064	6.250	2.170	5.625	2.060
Arpa	6.182	1.893	6.455	2.064	5.455	2.558	5.909	1.974
ARTTolkit	7.033	2.201	6.267	2.224	7.000	2.314	5.867	2.507
Aruco	6.833	2.209	5.333	1.557	6.167	2.918	4.333	2.462
Aurasma	5.524	2.486	6.262	2.812	6.595	2.365	7.762	2.092
Bazar	7.000	1.309	7.000	1.512	6.250	3.327	4.500	3.742
Beyond	6.250	3.327	6.250	3.327	5.750	2.964	4.500	3.891
Blippar	4.786	2.043	5.214	3.155	6.571	1.834	6.857	1.957
Catchoom	4.667	2.462	3.667	2.387	6.667	2.146	6.167	2.517
Daqri	7.667	1.188	6.111	1.711	6.667	1.749	5.333	1.940
Designers artoolkit	7.750	1.235	6.600	1.795	6.500	2.320	5.500	2.572
Hoppala	5.400	2.010	4.400	2.257	5.600	2.604	6.300	2.677
In2ar	5.000	3.780	5.000	3.780	7.000	3.546	5.000	4.276
Instant reality	7.667	1.366	8.000	1.549	4.333	2.733	3.000	3.098
Koozyt	5.500	4.041	4.000	3.464	4.000	3.464	4.000	3.464
Layar	6.063	2.506	6.344	2.790	6.813	2.069	6.531	2.520
Mixare	5.000	2.174	4.833	2.368	5.667	1.435	6.333	2.807
Openspace3d	5.500	0.926	5.500	0.926	5.500	2.673	3.250	1.909
Rox odometry	6.500	0.0577	7.000	0.000	3.000	2.309	5.000	2.309
Sstt	5.500	4.041	4.000	2.309	5.000	4.619	4.500	4.041
Total immersion	7.250	2.620	6.375	2.419	7.125	2.156	4.125	2.705
Uart	6.800	2.616	5.800	2.044	7.400	2.459	3.200	1.814
Vuforia	7.095	2.497	6.619	2.305	8.048	1.987	5.000	2.828
Wikitude	5.800	2.843	5.920	2.899	6.040	2.948	6.920	1.957
Win ar	7.667	2.251	6.333	3.141	6.667	2.733	7.000	2.366
Yvision	8.000	0.000	6.000	8.000	0.000	8.000	7.000	0.000
Zappcode creator	6.000	2.486	6.167	3.881	8.500	0.798	8.167	1.403

Dos datos se pueden destacar de la observación de la tabla nº 2: por una parte, que las puntuaciones medias no han sido muy elevadas, y por otra, la fuerte variabilidad de los datos en cada una de las dimensiones, como podemos observar por lo elevado de las desviaciones típicas alcanzadas.

Para facilitar el análisis de los resultados y su comprensión, señalar que solo nos dedicaremos a analizar los obtenidos con los 10 programas más conocidos por parte de los expertos, resultados que, esta vez únicamente presentaremos los valores medios alcanzados (tabla nº 4).

Tabla nº 4. Valoraciones de los 10 programas más conocidos por los expertos.

Programas	Conocimiento técnico necesario manejar el programa	Accesibilidad/ facilidad de navegación del programa	Posibilidad de incorporación de materiales diferentes	Facilidad de utilización por docentes y discentes
Arlab	6.667	7.067	6.400	6.933
Armedia	6.750	6.000	6.250	5.625
Arpa	6.182	6.455	5.455	5.909
ARTTolkit	7.033	6.267	7.000	5.867
Aurasma	5.524	6.262	6.595	7.762
Blippar	4.786	5.214	6.571	6.857
Designers artoolkit	7.750	6.600	6.500	5.500
Layar	6.063	6.344	6.813	6.531
Vuforia	7.095	6.619	8.048	5.000
Wikitude	5.800	5.920	6.040	6.920

Por lo que se refiere al grado de conocimiento técnico que los expertos consideraban que se debería tener para manejar el programa evaluado, y si tenemos en cuenta que la puntuación 0 hacía referencia a la necesidad de no tener grandes conocimientos y 10 a lo contrario, la ordenación que podemos establecer de mayor facilidad a dificultad es la siguiente: Blippar (4,786), Aurasma, Wikitude, Layar, Arpa, Arlab, Armedia, ARTTolkit, Vuforia y Designers artoolkit (7,750); existiendo entre el valorado con mayor facilidad y el de mayor dificultad una dispersión de 3 puntos, si bien en el primero de ellos se da una mayor variación entre las diferentes puntuaciones ofrecidas por los expertos, como se puede observar por las desviaciones típicas alcanzadas (2,043 y 1.235).

Respecto a la accesibilidad/facilidad de navegación para desenvolverse por el programa, y de nuevo teniendo en cuenta que el 0 correspondía a una valoración más fácil y el 10 a más dificultosa, la ordenación resultante fue la siguiente: Blippar (5.214), Wikitude, Armedia, Aurasma, ARTTolkit, Layar, Arpa, Designers artoolkit, Vuforia y Arlab (7.067); como se puede observar las puntuaciones son similares a las presentadas anteriormente, aunque solo se llega a 2 puntos de diferencias entre la menor y mayor, si bien en este caso las puntuaciones de las desviaciones típicas para el primero de los programas fue bastante elevada (3,155) lo que implicaría una fuerte dispersión en las contestaciones ofrecidas por los expertos.

La tercera pregunta iba destinada a conocer la valoración que el experto realizaba respecto a la posibilidad que el programa ofrecía para incorporar diferentes tipos de recursos (vídeos, documentos impresos, 3D,...), en este caso la valoración de 0 correspondía a pocas posibilidades ofrecidas por el programa y el 10 a máximas

posibilidad; ordenando en este caso de mayor a menor, la ordenación conseguida fue: Vuforia (8,048), ARTTolkit, Layar, Aurasma, Blippar, Designers artoolkit, Arlab, Armedia, Wikitude y Arpa (5,455).

Nuestra última pregunta se refería a la facilidad de utilización del programa por profesores y alumnos para la producción de objetos de aprendizaje en RA, donde el 0 indicaba que era muy difícil de manejar el programa y el 10 muy fácil. En este caso, la distribución alcanzada fue de mayor facilidad a mayor dificultad la siguiente: Aurasma (7,762), Arlab, Wikitude, Blippar, Layar, Arpa, ARTTolkit, Armedia, Designers artoolkit y Vuforia (5,000). En la tabla nº 5, se presenta una síntesis de los resultados alcanzados.

Tabla nº 5. Síntesis de los valores alcanzados.

Conocimiento técnico necesario manejar el programa (0=no necesidad de tener conocimientos técnicos)	Accesibilidad/facilidad de navegación del programa (0=fácil de navegar)	Posibilidad de incorporación de materiales diferentes (0=permite muy pocos tipos de materiales)	Facilidad de utilización por docentes y discentes (0=muy difícil de utilizar)
Blippar (4,786)	Blippar (5.214)	Vuforia (8,048)	Aurasma (7,762)
Aurasma	Wikitude	ARTTolkit	Arlab
Wikitude	Armedia	Layar	Wikitude
Layar	Aurasma	Aurasma	Blippar
Arpa	ARTTolkit	Blippar	Layar
Arlab	Layar	Designers artoolkit	Arpa
Armedia	Arpa	Arlab	ARTTolkit
ARTTolkit	Designers artoolkit	Armedia	Armedia
Vuforia	Vuforia	Wikitude	Designers artoolkit
Designers artoolkit (7,750)	Arlab (7.067)	Arpa (5,455)	Vuforia (5,000)

Nuestra última preocupación iba destinada a analizar el grado de estabilidad o coincidencia de las puntuaciones ofrecidas por los expertos en la valoración de los diferentes programas, con el objeto de poder analizar si existía dispersión en las valoraciones encontradas.

Para ello utilizaremos el “coeficiente de Gini” que se utiliza para el análisis de la desigualdad en las puntuaciones de una distribución, y que presenta un valor entre 0 y 1, de manera que cuanto más se acerca a 0 indica la tendencia a tener la misma puntuación, lo que en nuestro caso significa la tendencia de los jueces a conceder valoraciones similares. (González y otros, 2010). En la tabla nº 6, presentamos los resultados que obtuvimos, pero para no extendernos las puntuaciones las centraremos en los programas que obtuvieron mayor puntuación

Tabla nº 6. Valores obtenidos con el “coeficiente de Gini.”

Programas	Conocimiento técnico necesario manejar el programa	Accesibilidad/ facilidad de navegación del programa	Posibilidad de incorporación de materiales diferentes	Facilidad de utilización por docentes y discentes
Arlab	0,1280	0,0931	0,1750	0,1590
Armedia	0,2025	0,1901	0,1763	0,1889
Arpa	0,1604	0,1690	0,2424	0,1818
ARTTolkit	0,1724	0,1936	0,1832	0,2292
Aurasma	0,2539	0,2445	0,1952	0,1328
Blippar	0,2356	0,3337	0,1460	0,1488
Designers artoolkit	0,0842	0,1455	0,1969	0,2618
Layar	0,2287	0,2381	0,1649	0,2032
Vuforia	0,1905	0,1884	0,1319	0,3184
Wikitude	0,2731	0,2649	0,2713	0,1572

Como podemos observar los valores no se alejan mucho del valor 0, y solamente en una puntuación se alcanza un valor cercano al 0,3. En consecuencia, podemos decir que los expertos que valoraron estos programas de software tendieron a conceder puntuaciones homogéneas.

Por último, se pretendía conocer si existían diferencias en los aspectos referidos a las valoraciones que realizaron los jueces de los distintos programas; análisis que para no extendernos demasiado, lo llevaremos a cabo con los diez programas más citados. Y para ello, lo primero que realizaremos es una ANOVA con el objeto de conocer si existían diferencias, y si las encontráramos llevar a cabo un análisis para conocer entre qué programas se daban tales diferencias. En la tabla nº 7, se presentan los resultados alcanzados con el ANOVA.

Tabla nº 7. ANOVA.

	Suma de cuadrados	de gl	F	Sig.
Conocimiento técnico necesario manejar el programa	668,019	28	4,678	0.00
Accesibilidad/ facilidad de navegación del programa	288,614	28	1,883	0.00
Posibilidad de incorporación de materiales diferentes	427,755	28	3,092	0.00
Facilidad de utilización por docentes y discentes	936,647	28	6,090	0.00

Valores que permiten indicar que se encontraron diferencias significativas en las cuatro preguntas formuladas entre los programas. Y para conocer tales diferencias las diferencias entre qué programas, se aplicó la prueba "Pruebas post hoc de comparaciones múltiples". Los resultados alcanzados los presentamos en las tablas nº 8, 9, 10 y 11, pero tenemos que señalar que solo presentaremos los que se refieren a los 10 programas más conocidos; al mismo tiempo, y para una correcta interpretación de los valores presentados, el signo indica que la puntuación media alcanzada por el primer programa es superior al segundo; en concreto, y para el primer valor de la tabla

nº 8, supondría que el para manejar el programa Alvar frente al Auramas, la persona requiere tener más conocimiento técnico.

Tabla nº 8. Pruebas post hoc de comparaciones múltiples para “Conocimiento técnico necesario manejar el programa” (nota: D.M.= diferencias de medias; E.E= Error estándar).

		D.M	E.E.	Sig.			D.M.	E.E.	Sig.
Alvar	Aurasma	1,58	0,57	0,01	Aurasma	Daqri	-2,14	0,60	0,00
	Blippar	2,31	0,69	0,00		D. artoolkit	-2,27	0,44	0,00
	Wikitude	1,30	0,61	0,03		I. reality	-2,14	0,97	0,03
Arlab	Aurasma	1,14	0,49	0,02		T. immersion	-1,73	0,62	0,01
	Blippar	1,88	0,61	0,00		Vuforia	-1,57	0,43	0,00
	Catchoom	2,00	0,79	0,01		Win ar	-2,14	0,97	0,03
	Mixare	1,67	0,79	0,04	Bazar	Blippar	2,21	0,92	0,02
Armedia	Aurasma	1,23	0,48	0,01		D. artoolkit	-3,08	0,75	0,00
	Blippar	1,96	0,60	0,00		Vuforia	-2,43	0,75	0,00
	Catchoom	2,08	0,78	0,01	Daqri	Blippar	2,88	0,69	0,00
	Hoppala	1,35	0,66	0,04		Layar	1,60	0,61	0,01
	Mixare	1,75	0,78	0,03		Wikitude	1,87	0,63	0,00
ARTTolkit	Aurasma	1,51	0,39	0,00	D. artoolkit	Blippar	2,96	0,56	0,00
	Blippar	2,25	0,53	0,00		Hoppala	2,35	0,63	0,00
	Catchoom	2,37	0,72	0,00		In2ar	2,75	0,89	0,00
	Hoppala	1,63	0,59	0,01		Layar	1,69	0,46	0,00
	In2ar	2,03	0,86	0,02		Mixare	2,75	0,75	0,00
	Layar	0,97	0,41	0,02		Openspace 3d	2,25	0,89	0,01
	Mixare	2,03	0,72	0,01		Wikitude	1,95	0,48	0,00
	Wikitude	1,23	0,44	0,01	Layar	Blippar	1,28	0,52	0,02
Mixare	Vuforia	-2,10	0,75	0,01		Vuforia	-1,03	0,45	0,02
	Win ar	-2,67	1,15	0,02	Mixare	Vuforia	-2,10	0,75	0,01
Hoppala	Vuforia	-1,70	0,62	0,01		Win ar	-2,67	1,15	0,02
In2ar	Blippar	2,88	1,03	0,01	Aruco	Blippar	2,05	0,79	0,01
	Vuforia	-2,11	0,88	0,02	Uart	Blippar	2,01	0,84	0,02
Arpa	Blippar	1,40	0,66	0,03	Vuforia	Wikitude	1,30	0,48	0,01
	D. artoolkit	-1,57	0,61	0,01	Win AR	Blippar	2,88	1,03	0,01
Blippar	T. immersion	2,46	0,72	0,00	Layar	Blippar	1,28	0,52	0,02
	Wikitude	1,45	0,66	0,03		Vuforia	-1,03	0,45	0,02

En la tabla nº 9 se presentan las comparaciones múltiples respecto a “Accesibilidad/facilidad de navegación de los programas”.

Tabla nº 9. Pruebas post hoc de comparaciones múltiples para “Posibilidad de incorporación de materiales diferentes” (nota: D.M.= diferencias de medias; E.E= Error estándar).

		D.M	E.E.	Sig			D.M.	E.E.	Sig.
Arlab	Aruco	1,73	0,84	0,04	Koozyt	Vuforia	-2,62	1,28	0,04
	Blippar	1,85	0,64	0,01	Layar	Blippar	1,13	0,56	0,04
	Hoppala	2,67	0,71	0,00	Catchoom	D. artoolkit	-9,93	0,81	0,00
	In2ar	2,07	0,96	0,03		Layar	-2,68	0,77	0,00
	Koozyt	3,08	1,30	0,02		Vuforia	-2,96	0,80	0,00
	SSTT	3,07	1,30	0,02		Wikitude	-2,25	0,79	0,00
	Catchoom	1,73	0,84	0,00		Vuforia	-2,95	0,80	0,01
	Mixare	2,23	0,84	0,01		Win ar	-2,67	1,23	0,03
	Wikitude	1,15	0,57	0,04	D. artoolkit	Hoppala	2,20	0,67	0,00
Armedia	Catchoom	2,33	0,83	0,00		Koozyt	2,60	1,29	0,04
	Hoppala	1,60	0,70	0,01		Mixare	1,77	0,81	0,03
ARTTolkit	Catchoom	2,60	0,78	0,00		Blippar	1,39	0,60	0,02
	Hoppala	1,87	0,63	0,00		SSTT	2,60	1,29	0,04
Aruco	Arlab	-1,73	0,84	0,04	Mixare	Vuforia	-1,79	0,80	0,03
Aurasma	Catchoom	2,60	0,76	0,00	SSTT	Vuforia	-2,62	1,28	0,04
	Hoppala	1,87	0,61	0,00	Vuforia	Blippar	1,41	0,60	0,02
Hoppala	Layar	-1,94	0,63	0,01	I. reality	Wikitude	2,08	1,06	0,05
	T. immersion	-1,98	0,82	0,02		Blippar	2,79	1,10	0,01
	Vuforia	-2,22	0,67	0,00	Arpa	Catchoom	2,79	0,88	0,00
	Wikitude	-1,52	0,65	0,02		Hoppala	2,06	0,78	0,01

Por lo que se refiere a la “Accesibilidad/ facilidad de navegación del programa” en la tabla nº 10 se presentan los resultados alcanzados.

Tabla nº 10. Pruebas post hoc de comparaciones múltiples para “Accesibilidad/ facilidad de navegación del programa” (nota: D.M.= diferencias de medias; E.E= Error estándar).

		D.M	E.E.	Sig			D.M.	E.E.	Sig.
Alvar	Vuforia	-1,75	0,64	0,01	Aurasma	I. reality	2,26	0,99	0,02
Arlab	Vuforia	-1,69	0,56	0,01		Koozyt	2,59	1,20	0,03
	ZappCopp	-2,10	0,80	0,01		Rox	3,59	1,20	0,00
Armedia	Rox	3,25	1,24	0,01		Vuforia	-1,45	0,44	0,00
	Vuforia	-1,80	0,55	0,00		ZappaCopp	-1,95	0,72	0,01
	ZappCopp	-2,25	0,79	0,01	Bazar	Vuforia	-1,80	0,90	0,05
Arpa	Aurasma	-1,14	0,56	0,04	Beyond R.	Vuforia	-2,30	0,91	0,01
	ARTTolkit	-1,55	0,59	0,01	Daqri	Vuforia	-1,39	0,66	0,04
	Layar	-1,36	0,59	0,02	D. artoolkit	Vuforia	-1,59	0,52	0,01
	Vuforia	-2,59	0,62	0,00	Hoppala	Layar	-1,21	1,60	0,04
ARTTolkit	Hoppala	1,40	0,61	0,02		Vuforia	-2,49	0,64	0,00
	I. reality	2,67	1,01	0,01	I.Reality	Layar	-2,47	1,00	0,01
	Koozyt	3,00	1,21	0,01		Vuforia	-3,71	1,02	0,00
	Rox	4,00	1,21	0,00		BlippAR	-2,23	1,05	0,03
	Vuforia	-1,05	0,47	0,02	Koozyt	Layar	-2,81	1,20	0,02
	Wikitude	0,96	0,45	0,03		Vuforia	-4,04	1,22	0,00
	ZappCopp	-1,50	0,74	0,04	OpenSpace3	Vuforia	-,254	0,90	0,00
Aruco	Vuforia	-1,88	0,77	0,01	Layar	Vuforia	-1,23	0,46	0,00
Vuforia	Wikitude	2,00	0,49	0,00	Mixare	Vuforia	-2,38	0,76	0,00
	BlippAR	1,47	0,57	0,01	Rox	Vuforia	-5,04	1,22	0,00
BlippAR	Instant	2,23	1,05	0,03		Wikitude	-3,04	1,21	0,00
	Koozyt	2,57	1,25	0,04	SST	Vuforia	-3,04	1,22	0,01
	Rox	3,57	1,25	0,00	ZappCode	BlippAR	1,92	0,80	0,01
						Wikitude	2,46	0,75	0,00

Finalmente, en la tabla nº 11, se ofrecen las comparaciones múltiples alcanzadas para la dimensión “Facilidad de utilización por docentes y discentes.”.

Tabla nº 11. Pruebas post hoc de comparaciones múltiples para “Facilidad de utilización por docentes y discentes” (nota: D.M.= diferencias de medias; E.E= Error estándar).

		D.M	E.E.	Sig			D.M.	E.E.	Sig.
Alvar	Aurasma	-1,76	0,61	0,00	ARToolkit	ArUCO	1,53	0,77	0,04
Arlab	Armedia	1,30	0,62	0,03		Aurasma	-1,89	0,41	0,00
	ArUCO	2,60	0,83	0,00		Instant	2,86	1,05	0,00
	BazAR	2,43	0,97	0,01		OpenSpace	2,61	0,92	0,00
	Beyond	2,43	0,97	0,01		Total	1,74	0,69	0,01
	Daqri	1,60	0,73	0,02		UART	2,66	0,83	0,00
	Designers	1,43	0,59	0,01		Wikitude	-1,05	0,47	0,02
	IN2AR	1,93	0,97	0,04		ZappCode	-2,30	0,77	0,00
	Instant	3,93	1,09	0,00	ArUCO	Aurasma	-3,42	0,75	0,00
	Koozyt	2,93	1,30	0,02		Layar	-2,19	0,77	0,00
	OpenSpace	3,68	0,97	0,00		Wikitude	-2,58	0,78	0,00
	Total	2,80	0,76	0,00		BlippAR	-2,52	0,84	0,00
	UART	3,73	0,89	0,00	Aurasma	BazAR	3,26	0,90	0,00
	Vuforia	1,93	0,58	0,00		Beyond	3,26	0,90	0,00
Armedia	Aurasma	-2,13	0,51	0,00		Catchoom	1,59	0,75	0,03
	Instant	2,62	1,09	0,01		Daqri	2,42	0,63	0,00
	OpenSpace	2,37	0,97	0,01		Designers	2,26	0,47	0,00
	Total	1,50	0,75	0,04		HOPPALA	1,46	0,61	0,01
	UART	2,42	0,89	0,00		In2AR	2,76	0,90	0,00
	Wikitude	-1,29	0,55	0,02		Instant	4,76	1,03	0,00
	ZappCode	-2,54	0,83	0,00		Koozyt	3,76	1,25	0,00
Arpa	Aurasma	-1,85	0,58	0,00		Layar	1,23	0,40	0,00
Bazar	Layar	-2,03	0,92	0,02		OpenSpace	4,51	0,90	0,00
	Wikitude	-2,42	0,93	0,01		Rox	2,76	1,25	0,02

		D.M	E.E.	Sig			D.M.	E.E.	Sig.
	BlippAR	- 2,35	0,98	0,0 1		SSTT	3,26	1,25	0,01
Beyond R.	Layar	- 2,03	0,92	0,0 2		Total	3,63	0,06 7	0,00
	Wikitude	- 2,42	0,93	0,0 1		UART	4,56	0,82	0,00
	BlippAR	- 2,35	0,98	0,0 1		Vuforia	2,76	0,46	0,00
Designers	Layar	- 1,03	0,49	0,0 3	Daqri	Wikitude	-1,58	0,67	0,01
	Wikitude	- 1,42	0,52	0,0 0		BlippAR	-1,52	0,74	0,04
	BlippAR	- 1,35	0,60	0,0 2	UART	Vuforia	-1,80	0,86	0,03
IN2AR	Wikitude	- 1,92	0,93	0,0 4		Wikitude	-3,72	0,85	0,00
Instant	Layar	- 3,53	1,04	0,0 0		BlippAR	-3,65	0,90	0,00
	Wikitude	- 3,92	1,06	0,0 0	Vuforia	Wikitude	-1,92	0,51	0,00
	BlippAR	- 3,85	1,10	0,0 0		Zappcode	-3,16	0,80	0,00
Koozyt	Layar	- 2,53	1,26	0,0 4		BlippAR	-1,85	0,59	0,00
	Wikitude	- 2,92	1,27	0,0 2	Layar	Openspace	3,28	0,92	0,00
	BlippAR	- 2,85	1,31	0,0 3		Total	2,40	0,68	0,00
OpenSpac	Wikitude	- 3,67	0,93	0,0 0		UART	3,33	0,83	0,00
	BlippAR	- 3,60	0,98	0,0 0		Vuforia	1,53	0,48	0,00
Total	Wikitude	- 2,79	0,70	0,0 0		Zappcode	-1,63	0,77	0,03
	BlippAR	- 2,73	0,77	0,0 0					

Como se puede observar, donde menos diferencias se encontrado ha sido en la "Accesibilidad/facilidad de navegación del programa", y donde más en la "Facilidad de utilización por docentes y discentes"; centrándonos en este último aspecto, el programa Aurasma y Arlab sobresalen respecto al resto de los contemplados, mostrándose con un nivel amplio de dificultad para ser utilizado por los docentes y discentes, programas como Vuforia.

5.- Conclusiones y discusión de resultados.

Lo primero a señalar es que, ante la falta de estudios que valoren el software de producción de objetos de aprendizaje en RA, el presente trabajo aporta indicaciones, tanto para la selección del mismo, como para tener criterios para su valoración; al mismo tiempo se ofrece una revisión del existente en los momentos actuales.

La eficacia del procedimiento seguido en la investigación garantiza la viabilidad de los resultados, por diversos motivos: a) el procedimiento seguido para la selección del software de producción de objetos de aprendizaje en RA, que permitió la identificación de un elevado número en concreto 29; b) el procedimiento seguido en la selección de los expertos, coeficiente de competencia experta, que iban a emitir un juicio respecto a la valoración del software (todo ello, permitió eliminar más del 50% de los expertos que inicialmente se contemplaron para la evaluación del software); y c) que los expertos discriminaron las respuestas ante las preguntas de valoración y que coincidieron en las valoraciones, lo que repercute en que los resultados alcanzados sean más sólidos y significativos.

El trabajo ha permitido identificar los diez programas (Arlab, Armedia, Arpa, ARTTolkit, Aurasma, Blippar, Designers artoolkit, Layar, Vuforia y Wikitude) que son más conocidos por los expertos en los momentos en los cuales se realizan. Indicar que sus valoraciones coinciden con las aportaciones que, en experiencias de construcción educativas de objetos en RA, están apareciendo en la literatura científica (Cabero-Almenara, et al., 2016; Cabero y García, 2016; Schmalstieg y Höllerer, 2016; y Villalustre y Del Moral, 2016). De éstos, los tres programas que fueron como valorados que requerían más conocimiento técnico para los usuarios potenciales fueron: Designers artoolkit. Vuforia y ARTTolkit; los tres con más complicación de navegación: Arlab, Designers artoolkit y Vuforia; los tres que permiten incorporar un mayor número de recursos: Vuforia, Vuforia y Layar; y los que son más fáciles de utilizar por los usuarios: Aurasma, Blippar y Arlab.

Por último, resaltar del estudio que la diversidad de programas existentes, y las dificultades que algunos de ellos muestran para su utilización, manejo y navegabilidad, hace que su elección deba ser adoptada con cuidado. Si bien, todo ello depende del nivel de competencia digital que pueda tener la persona en el manejo de estos programas y de la calidad del producto que desee conseguir.

Presentación del artículo: 9 de enero de 2019
Fecha de aprobación: 10 de septiembre de 2019
Fecha de publicación: 30 de octubre de 2019

Cabero-Almenara, J., y Llorente-Cejudo, C. (2019). Evaluación de software de producción de objetos en Realidad Aumentada con fines educativos. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 60. DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/red/60/01>

Financiación

El presente trabajo se inserta en el proyecto de investigación denominado “Realidad Aumentada para Aumentar la Formación. Diseño, Producción y Evaluación de Programas de Realidad Aumentada para la Formación Universitaria (RAFODIUN) (EDU2014-57446-P).

Referencias bibliográficas

- Barroso, J., & Cabero, J. (2016). Evaluación de objetos de aprendizaje en Realidad Aumentada: Estudio piloto en el Grado de Medicina. *Enseñanza & Teaching*, 34(2), 149–167. DOI: <https://doi.org/10.14201/et2016342149167>
- Barroso-Osuna, J., Gutiérrez-Castillo, J. J., Llorente-Cejudo, M. d. C., & Valencia Ortiz, R. (2019). Difficulties in the Incorporation of Augmented Reality in University Education: Visions from the Experts. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 8(2), 126-141. doi: 10.7821/naer.2019.7.409.
- Blasco, J. E. et al. (2010). Validación mediante el método Delphi de un cuestionario para conocer las experiencias e interés hacia las actividades acuáticas con especial atención al windsurf. *Ágora para la educación física y el deporte*, 12 (1), 75-94.
- Bongiovani, P. (2013). Realidad aumentada en la escuela: Tecnología, experiencias e ideas. *Educ@conTIC*. Extraído el 20 de mayo de 2016 de: <http://www.educacontic.es/blog/realidad>
- Bressler, D. M. y Bodzin, A. M. (2013). A mixed methods assessment of students' flow experiences during a mobile augmented reality science game. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(6), 505-517.
- Cabero, J. & Barroso, J. (2015). Realidad Aumentada: posibilidades educativas. En Ruiz-Palmero, J., Sánchez-Rodríguez, J. & Sánchez-Rivas, E. (Edit.). *Innovaciones con tecnologías emergentes*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Cabero, J. y Barroso, J. (2016). The educational possibilities of Augmented Reality. *NAER. New Approaches in Educational Research*, 5(1), 44-50.
- Cabero, J. y García, F. (coords.) (2016). *Realidad aumentada. Tecnología para la formación*. Madrid: Síntesis.
- Cabero-Almenara, J. (2013). El diseño, la producción y la evaluación de TIC aplicadas a los procesos de enseñanza-aprendizaje. En Barroso, J.- y Cabero, J. (coords.) *Nuevos escenarios digitales*. Madrid: Pirámide, 69-83.
- Cabero-Almenara, J. y Barroso, J. (2013). La utilización del juicio de experto para la evaluación de tic: el coeficiente de competencia experta. *Bordón*, 65(2), 25-38.
- Cabero-Almenara, J. y García, F. (coords.) (2016). *Realidad aumentada. Tecnología para la formación*. Madrid: Síntesis.
- Cabero-Almenara, J. y Llorente, M.C. (2013). La Aplicación del Juicio de Experto como Técnica de Evaluación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). *Eduweb. Revista de Tecnología de Información y Comunicación en Educación*, 7(2), 11-23.
- Cabero-Almenara, J., LEIVA, J., MORENO, N., BARROSO, J. y LÓPEZ, W. (2016). *Realidad Aumentada y educación. Innovación en contextos formativos*. Barcelona: Octaedro.
- Carozza, L. Tingdahl, D. y Gool, L. (2014). Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 29, 2–17.
- Coimbra, M., Cardoso, T. & Mateus, A. (2015). Augmented Reality: an Enhancer for Higher Education Students in Math's learning? *Procedia Computer Science*, 67, 332-339. doi: 10.1016/j.procs.2015.09.277.
- Cubillo, J., Gutierrez, S., Castro, M. & Colmenar, A. (2014). Recursos digitales autónomos mediante Realidad Aumentada. *RIED*, 17(2), 241-274

- De la Torre Cantero, J., Martín-Dorta, N., Saorín Pérez, J. L., Carbonel Carrera, C., & Contero González, M. (2013). Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional. RED. Revista de Educación a Distancia, 37. Recuperado de <http://www.um.es/ead/red/37>
- De la Torre, et al., (2015). Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional. RED. Revista De Educación a Distancia, 37. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/red/article/view/234041>
- Del Cerro, F., & Morales, G. (2017). Realidad Aumentada como herramienta de mejora de la inteligencia espacial en estudiantes de educación secundaria. RED. Revista De Educación a Distancia, 54. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/red/article/view/298831>.
- De Pedro Carracedo, J. y Méndez, C. L. M. (2012). Realidad Aumentada: Una Alternativa Metodológica en la Educación Primaria Nicaragüense. IEEE-RITA, 7, 102-108.
- Domenech, J.M. (1977). Bioestadística. Métodos estadísticos para investigadores. Barcelona: Herder.
- Escobar-Pérez, J. y Cuervo-Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. En Avances en Medición, 6, pp. 27-36. Disponible en http://www.humanas.unal.edu.co/psicometria/files/7113/8574/5708/Articulo3_Juicio_de_expertos_27-36.pdf
- Etxeberria, J. y Tejedor, F. (2005). Análisis descriptivo de datos de educación. Madrid: La Muralla.
- Fombona, J., Pascual, M. J. y Madeira, M. F. (2012). Realidad aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación, 41, 197-210.
- Fracchia, C., Alonso, A. & Martins, A. (2015). Realidad Aumentada aplicada a la enseñanza de Ciencias Naturales. Revista Iberoamericana de Educación en Tecnología y Tecnología en Educación, 16, 7-15.
- Fundación Telefónica (2011). Realidad Aumentada: una nueva lente para ver el mundo. Madrid, Fundación Telefónica-Ariel.
- Garay, U., Tejada, E. y Maíz, I. (2017). Valoración de objetos educativos enriquecidos con realidad aumentada una experiencia con alumnos de master universitario. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación, 50, 19-31.
- García, L., y Fernández, S. (2008). Procedimiento de aplicación del trabajo creativo en grupo de expertos. Energética, XXIX(2), 46-50.
- Hurtado de Mendoza, S. (2012). Criterio de expertos. Su procesamiento a través del método Delphy. HistoDidáctica. http://www.ub.edu/histodidactica/index.php?option=com_content&view=article&id=21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy&catid=11&Itemid=103.

- Johnson, L. Adams, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A. y Hall, C. (2016). NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- Kan, T., Teng, Ch. & Chen (2011). QR code based Augmented Reality applications. En Handbook of Augmented Reality. Florida: Borko Furht.
- Ko, Ch-H., Chang, T., Chen, Y., & Hua, L. (2011). The Application of Augmented Reality to Design Education. En M. Chang et al. (Eds.), Edutainment Technologies. Educational Games and VirtualReality/Augmented Reality Applications (pp. 20-24). Heidelberg Berlin: Springer.
- Lacueva, F.J., Gracia, M.A., Sanagustín, L.M., González, C. & Romero, D. (2015). TecsMedia: Análisis Realidad Aumentada para entornos Industriales. Ministerio de Edonomía y Competitividad
- Liu, T. Y. (2009). A context-aware ubiquitous learning environment for language listening and speaking. Journal of Computer Assisted Learning, 25, 515–527.
- Llorente, M. (2013). Assessing Personal Learning Environments (PLEs). An expert evaluation. Journal of New Approaches in Educational Research, 2(1), 39–44. doi:10.7821/naer.2.1.39-44.
- López, A. (2008). La moderación de la habilidad diagnóstico patológico desde el enfoque histórico cultural para la asignatura Patología Veterinaria. Revista Pedagógica Universitaria, 13(5), 51-71.
- López, J., Pozo, S., y López Belmonte, G. (2019). La eficacia de la Realidad Aumentada en las aulas de Infantil: un estudio del aprendizaje de SVB y RCP en discentes de 5 años. PixelBit. Revista de Medios y Educación, 55, 7-21. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/pixel/article/view/69763>
- Mengual-Andrés, S., Roig-Vila, R. y Blasco, J. (2016). Delphi study for the design and validation of a questionnaire about digital competences in higher education. 13(12), <http://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-016-0009-y>. DOI: 10.1186/s41239-016-0009-.
- Muñoz, J. M. (2013). Realidad Aumentada, realidad disruptiva en las aulas. Boletín SCOPEO, 82. Recuperado de <http://scopeo.usal.es/realidad-aumentada-realidad-disruptiva-en-las-aulas/>.
- Oñate, M. (2001). Utilización del método Delphy en la pronosticación: Una experiencia inicial. Aplicación del Método Delphy, 2001. www.rieoei.org/deloslectores/804Bravo.
- Pasaréti, O., Hajdin, H., Matusaka, T., Jámbori, A., Molnár, I., & Tucsányi-Szabó, M. (2011). Augmented Reality in education. INFODIDACT 2011 Informatika Szakmódszertani Konferencia. Recuperado de http://people.inf.elte.hu/tomintt/infodidact_2011.pdf
- Prendes, C. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación, 46, 187-203.
- Rodríguez, M. (2013). Experimentando la realidad aumentada. Integrando tecnología en el salón de clase. Recuperado de <http://mbintegrandotecnologia.blogspot.com.es/2013/04/experimentando-la-realidad-aumentada.html>

- Ruiz, D. (2011). La Realidad Aumentada y su dimensión en el arte: La obra aumentada. *Arte y Políticas de Identidad*, 5, 129-144.
- Santos, M. Wolde, A., Taketomi, T., Yamamoto, G., Rodrigo, M., Sandor, Ch. y Kato, H. (2016). Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 11(4), 1- 23.
- Schmalstieg, D. y Höllerer, T. (2016). *Augmented reality: principles and practice*. Boston: Addison-Wesley.
- Siegel, S. (1976). *Estadística no paramétrica*. México: Trillas.
- Solano, C. A., Casas J. F. & Guevara, J. C. (2015). Aplicación móvil de realidad aumentada para la enseñanza de la clasificación de los seres vivos a niños de tercer grado. *Ingeniería*, 20(1), 101-115.
- Tecnológico de Monterrey (2015). *Reporte EduTrends. Radar de Innovación Educativa 2015*. Monterrey: Tecnológico de Monterrey.
- Tsai, M., Liu, P. & Yau, J. (2013). Using electronic maps and augmented reality-based training materials as escape guidelines for nuclear accidents: An explorative case study in Taiwan. *British Journal of Educational Technology*, 44(1), E18–E21.
- Villalustre, L. y Del Moral, M.E. (coords.) (2016). *Experiencias interactivas con realidad aumentada en las aulas*. Barcelona: Octaedro.
- Zayas, P. (2011). El proceso del análisis y la descripción con las especificaciones para confeccionar la matriz de las competencias y construir el perfil del cargo o de ocupación. Ejemplo de dependiente gastronómico en la rama turística. *TURyDES. Revista de Investigación y Desarrollo Local*, 4 (9). <http://www.eumed.net/rev/turydes/09/pmza.htm> (8/06/2012).

Anexo: Programas de software de producción de objetos de aprendizaje en RA.

Software (tipo licencia)	Plataforma	Características	Descripción
ALVAR (Libre, Comercial)	Android, iOS, Windows, Flash	Seguimiento basado en marcadores y sin marcadores	Librería software para crear aplicaciones de RA y RV. Desarrollada por el Instituto Técnico de Investigación VTT (VTT Technical Research Centre of Finland) (http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar/index.html).
ARLab (Libre, Comercial)	Android, iOS	GPS, sensors (IMU Sensors), búsqueda visual	ARLab ofrece un amplio portfolio de soluciones tecnológicas para RA (http://www.arlab.com/).
ARmedia (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS, Windows, Flash	Seguimiento basado en marcadores	La plataforma ARmedia es un framework de desarrollo estructurado y modula que incluye distintos módulos software. Este framework es independiente del motor de seguimiento en tiempo real y del motor de renderización. (http://www.inglobetechnologies.com/).
Arpa (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS, Windows	Seguimiento basado en marcadores y sin marcadores, GPS Sensores (IMU sensors), tracking facial y por infrarrojos, y renderización en tiempo real	Arpa Solutions es una compañía líder en el desarrollo de productos y aplicaciones de realidad aumentada a través de su plataforma propietaria ARPA AR (http://www.arpa-solutions.net/?f).
ARToolkit (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS, Linux, OSX, Windows	Seguimiento basado en marcadores y sin marcadores	ARToolkit es una plataforma de Realidad Aumentada que está disponible para múltiples sistemas operativos (: http://www.artoolworks.com/).
ArUco (Open Source)	Linux, OSX, Windows	Marcadores	Librería para aplicaciones de RA basada en OpenCV (http://www.uco.es/investiga/grupos/ava/node/26).
Aurasma (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS	Solución sin marcadores que se basan en las características naturales de la imagen o el objeto (bordes, esquinas o texturas), una técnica conocida como NFT (Natural Feature Tracking)	Es una solución de HP que incorpora reconocimiento automático de imágenes (https://www.aurasma.com/).
BazAR (Open Source)	Linux, OSX, Windows	Soluciones sin marcadores basadas en Natural Feature Tracking	BazAR es una librería de visión por computador basada en la detección de características de la imagen y su posterior matching. En particular, es adecuada para detectar y registrar estructuras planares en imágenes (http://cvlab.epfl.ch/software/bazar/index.php).
Beyond Reality Face (Comercial SDK)	Flash	Tracking facial	Beyond Reality Face Nxt es una solución de tracking facial para desarrolladores y usuarios que proporciona una API disponible para todas las plataformas (https://www.beyond-reality-face.com/overview).
Catchoom (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS	Búsqueda Visual (VisualSearch)	Esta herramienta, licenciada por la Empresa Catchoom Technologies, ofrece la posibilidad de conectar aplicaciones móviles con los servicios en la nube de CraftAR (http://catchoom.com/).
DAQRI (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS	Búsqueda visual, ContentAPI y características naturales (NaturalFeature)	DAQRI es una plataforma RA basada en visión que ofrece soluciones de visualización e interactivas en 4D apoyadas por un sistema de datos en la nube (https://daqri.com/).
Designers ARToolkit (Libre)	OSX, Windows	Marcadores, ContentAPI y TrackerInterface	DART es un conjunto de herramientas de software que permite diseñar e implementar aplicaciones y experiencias de RA de forma rápida (http://ael.gatech.edu/dart/index.htm).
HOPPALA (Libre, Comercial Servicio)	Android, iOS	ContentAPI	Hoppala Augmentation proporciona un interfaz gráfico web que permite crear contenidos de RA de una forma muy fácil y publicar los contenidos en los tres navegadores de RA más importantes: Layar, Junaio y Wikitude (http://www.hoppala-agency.com/).
IN2AR (Libre, Comercial SDK)	Flash, iOS, Android	Características naturales (NaturalFeature)	IN2AR es un motor cross-platform de RA que es capaz de detectar y estimar la posición de las imágenes usando webcams y cámaras del móvil. La información de posicionamiento se puede usar para incluir objetos 3D o vídeos sobre la imagen y crear de esta forma aplicaciones o juegos de RA controlados por movimiento (https://www.beyondreality.nl/in2ar/).

Software (tipo licencia)	Plataforma	Características	Descripción
Instant Reality (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS, Linux, OSX, Windows	Marcadores, NaturalFeature, GPS, Sensores IMU, Tracking facial, VisualSearch, ContentAPI, SLAM, TrackerInterface	Es un framework para sistemas de realidad mixta que presenta interfaces para que los desarrolladores accedan a unos componentes y puedan realizar aplicaciones de RA/RV. Este sistema ha sido desarrollado por Fraunhofer IGD y ZGDV en cooperación con otros socios industriales (http://www.instantreality.org/).
Koozyt (Comercial SDK)	Android, iOS	Marcadores	Fundada por miembros de los laboratorios de of Sony Computer Science que desarrollaron la tecnología "PlaceEngine" en Julio de 2007. Esta tecnología conecta el mundo real y el virtual poniendo el énfasis en el comportamiento humano (http://www.koozyt.com/).
Layar (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS	NaturalFeature, GPS, Sensores IMU, VisualSearch, ContentAPI	Layar permite a publicadores, anunciantes y marcas crear folletos, tarjetas con contenidos interactivos de RA sin necesidad de hacer desarrollos o instalar software (https://www.layar.com/features/).
Mixare (Open Source)	Android, iOS	GPS	Mixare (mix AR Engine) es un browser de RA libre y de código abierto que está disponible para Android e iPhone. (http://www.mixare.org/).
OpenSpace3D (Open Source)	Linux, Windows	Marcadores	OpenSpace3D es una plataforma de código abierto para desarrollar proyectos de RA y RV. Su objetivo es democratizar las aplicaciones 3D en tiempo real y proporcionar herramientas para creativos (http://www.openspace3d.com/).
Rox Odometry SDK (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS, Linux, OSX, Windows	Marcadores, NaturalFeature	Permite construir aplicaciones identificando con la cámara del dispositivo objetos pre-grabados y obtener de forma exacta su posición y orientación relativa en tiempo real (http://www.robocortex.com/).
SSTT (Código fuente cerrado)	Android, iOS, Windows Mobile, Linux,	Marcadores, NaturalFeature	SSTT Bounce es un browser de RA que usa técnicas de tracking basadas en características naturales de la imagen (http://technotecture.com/augmentedreality/).
Total Immersion (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS, Windows, Flash	Marcadores, NaturalFeature, Tracking facial Total	Immersion ofrece una plataforma comercial de RA que integra gráficos 3D interactivos en tiempo real dentro del flujo de video en vivo. (http://www.t-immersion.com/).
UART (Open Source)	iOS, OSX, Windows	Marcadores	Unity AR Toolkit (UART) es un set de plugins para el motor Unity que permite a los usuarios desarrollar y desplegar aplicaciones de RA (https://research.cc.gatech.edu/uart/).
Vuforia (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS	Marcadores, NaturalFeature, VisualSearch	Vuforia es una plataforma de software que permite desarrollar aplicaciones de RA para móviles y tabletas (https://developer.qualcomm.com/software/vuforia-augmented-reality-sdk).
Wikitude (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS, BlackBerry OS	GPS, Sensores IMU, ContentAPI	Wikitude es una solución completa de RA que incluye reconocimiento de imágenes, tracking, renderización de modelos 3D, etc (http://www.wikitude.org/).
Win AR (Libre, Comercial SDK)	Windows	NaturalFeature	WinAR es una plataforma de desarrollo basada en Windows para realizar aplicaciones de RA. Proporciona procesamiento de imágenes, algoritmos de seguimiento y de registro (http://ilo.nus.edu.sg/for-industry/online-software-licences/m-z-online-software-licences/win-ar/).
yvision . (Libre, Comercial SDK)	Android, iOS, Windows Mobile, OSX	Marcadores	YVision es un framework que permite prototipado rápido y desarrollo de aplicaciones. Integra visión por computador, renderizado en tiempo real simulación de físicas, RA, inteligencia artificial, etc. (http://www.yvision.com/).
ZappCode Creator	Android, iOS	Marcadores	Zapcode Creator son herramientas de creación de contenidos para crear experiencias de RA (https://zap.works/about/).
BlippAR (Comercial, Educativa)	Android, iOS	Marcadores, Identificación visual	Permite la creación de contenido AR mediante una herramienta web (BlipBuilder) sin conocimiento técnico. Tiene licencias específicas para educación (https://blippar.com/).