



La Realidad Aumentada como alternativa a las prácticas de Geología en Educación Primaria

Trabajo Fin de Grado - Curso 2017/2018

Educación Primaria

Alumno: Francisco Javier Ortega García

Tutor: Antonio J. Romero Baena

Indice

Resumen	2
Abstract	2
1.- Introducción/Justificación	3
2.- Marco y Objetivos	5
2.1.- Dificultades para el profesorado en la enseñanza de Geología	5
2.2.- Problemática de las prácticas de campo en Primaria	6
2.3.- Problemática de las prácticas de laboratorio en Primaria	8
2.4.- Dificultades del alumnado en la realización de las prácticas	9
2.5.- Realidad Aumentada: una nueva tecnología educativa	10
2.6.- Objetivos	15
3.- Metodología	15
3.1.- Búsqueda Documental sobre Realidad Aumentada	15
4.- Resultados y Discusión	16
4.1.- Recursos Existentes	16
4.2.- La Realidad Aumentada en el Aula	19
4.2.1.- Química (Simulador de laboratorio de Química en Realidad Aumentada)	19
4.2.2.- Matemáticas	20
4.3.3.- Geología	21
4.3.3.1.- Libros de Realidad Aumentada	21
4.3.3.2.- Aplicando Marcadores (Markers) de RA en Geología	22
4.3.3.3.- Aplicaciones móviles para Realidad Aumentada	24
4.3.3.4.- AR SandBox: el arenero de Realidad Aumentada	25
4.3.- Ideas factibles aplicables al campo de Geología	26
4.3.1 Simulación Sistema Solar a escala en RA	26
4.3.2.- Catálogo virtual de Rocas, Minerales y Fósiles.	28
5.- Conclusiones	31
6.- Referencias	32

Resumen

Este trabajo consiste en un análisis sobre la problemática que encontramos en la realización de las prácticas de laboratorio y de campo en el área específica de la enseñanza de la Geología. Esta problemática afecta tanto a alumnos como a docentes. Nuestro objetivo es identificar estas dificultades para, mediante el uso de las nuevas tecnologías, tratar de sugerir posibles soluciones. Para ello proponemos la Realidad Aumentada como herramienta para elaborar nuevos contenidos que mejoren la enseñanza de Geología en el aula. Hemos realizado un búsqueda documental sobre qué se ha realizado en el área de educación utilizando esta tecnología. A partir de los resultado obtenidos, proponemos una serie de ideas factibles de elaborarse en el centro educativo y que tratan de aportar soluciones a dicha problemática.

Abstract

This work consists in an analysis about the problems that we find in the realization of laboratory and field practices in the specific area of Geology teaching. This problem affects both students and teachers. Our goal is to identify these difficulties so, through the use of new technologies, try to suggest possible solutions. For this we propose the Augmented Reality as a tool to develop new content that improves the teaching of Geology in the classroom. We have made a documentary search about what has been done in the area of education using this technology. Based on the results obtained, we propose a series of feasible ideas to be developed in the educational center and that try to provide solutions to this problem.

Keywords

Realidad Aumentada, Educación Primaria, Geología, Practicas, Nuevas Tecnologías

1.- Introducción/Justificación

La Geología es una disciplina difícil de enseñar en Primaria. Son varios los factores que determinan esta dificultad: la complejidad de la propia disciplina en sí, la poca formación del profesorado en este área de las ciencias, las pocas posibilidades de enseñar la materia fuera del aula, donde se le puede dar su verdadera dimensión, así como las dificultades que presenta el propio alumnado a la hora de asimilar conceptos difíciles en estas etapas de su aprendizaje y para los que ya poseen unas ideas previas o alternativas que suelen ser erróneas.

La Geología, aunque es una ciencia experimental, se diferencia del resto por dos particularidades importantes: por una parte, su **dimensión histórica**, al tratarse de eventos únicos en el espacio e irrepetibles en el tiempo; y por otra, su **dificultad experimental**. Estas dificultades experimentales se derivan de la magnitud y complejidad de su objeto de estudio: la cantidad de variables e interacciones que entran en juego en cada uno de sus subsistemas; la escalas espaciales a las que se producen los procesos geológicos, desde el nivel atómico al planetario; la intensidad, velocidad y duración de los procesos, desde segundos a millones de años; o las discontinuidades propias del registro geológico, son algunas de las razones que dificultan la experimentación. En parte debido a la falta casi generalizada de investigaciones escolares sobre el planeta y a abordar su estudio desde un punto de vista casi exclusivamente teórico (Hernandez Arnedo, 2013).

Las prácticas en el aula o en el laboratorio supone un recurso indispensable como complemento a los conceptos teóricos que resultan complejos de tratar en la etapa de Primaria. Pero estos recursos conllevan una serie de dificultades organizativas que dificultan su uso habitual dentro del desarrollo de un curso escolar. No todos los centros cuentan con espacios destinados a tales actividades ni con materiales adecuados para la realización de las prácticas. Es realmente complicado simular algunos procesos geológicos en el aula y por razones institucionales, organizativas o personales, son poco frecuentes las salidas fuera del centro. Por lo que estas prácticas son la única vía para despertar el interés y motivar a los alumnos que suelen mostrarse reacios y poco interesados en esta materia a estas edades tan tempranas de su formación. Si a este inconveniente sumamos que habitualmente el número de alumnos por clase es muy elevado, y que por lo general, se requiere mucho tiempo para su preparación y desarrollo, este tipo de prácticas en el aula se vuelven poco frecuentes.

Las prácticas de campo deben asumir un papel central en la enseñanza de las Ciencias (Rebelo, Marques, & Costa, 2011). Son actividades que presentan grandes potencialidades para la consecución de los objetivos de la Educación en Ciencias, en la medida en que: ocurren generalmente en lugares atractivos, revelan una experiencia directa con el fenómeno en estudio, promueven el conocimiento, las habilidades y actitudes, en el sentido de una mejor percepción y apreciación de los recursos naturales y proporcionan un entorno cultural de la ciencia. Pero los alumnos y alumnas con frecuencia consideran que lo que estudian en geología, física o biología tiene sólo una lejana relación con el medio externo. De manera que no resulta extraño oírles que los conocimientos científicos que se les proponen son perfectamente inútiles (Pedrinaci, 1998). Probablemente esto sea un indicador de que,

también con frecuencia, a los enseñantes se les olvidan los objetivos para los que ha sido generado el conocimiento científico.

Para afrontar este tipo de dificultades resulta necesario descubrir nuevas soluciones que aporten algo de esperanza a estas viejas cuestiones que viene arrastrando esta disciplina desde lejano. Estas soluciones pueden venir de la mano de las nuevas tecnologías, que aportan una nueva perspectiva, un nuevo enfoque que permite desarrollar mejores oportunidades de aprendizaje, ampliando contextos que de otro modo serían difíciles de experimentar. Para este cometido hemos escogido la Realidad Aumentada como tecnología innovadora, que presenta una serie de características y ventajas que hacen especialmente interesante su incorporación en educación. Pudiendo ser, en algunos casos, un perfecta alternativa a las prácticas tanto de laboratorio como de campo.

En este campo, la RA es uno de los avances tecnológicos transformadores de gran impacto, permite la creación de contenidos que podemos mostrar a los alumnos, presentando características de interactividad y tridimensionalidad. Mediante su uso percibimos mejoras en el proceso de enseñanza aprendizaje y las competencias tecnológicas tanto de alumnos como de docentes (Toledo Morales & Sánchez García, 2018). La aplicación de esta tecnología supone numerosos beneficios. Como la mejora de la motivación, mejor comprensión de los contenidos, mejora en las calificaciones de los temas tratados. Otra de las características presentes es la ubicuidad de los dispositivos y del acceso a las redes, manteniendo la información y la acción formativa abierta a los alumnos y los contenidos a su disposición de forma permanente y activa.

Gran parte del profesorado pone de manifiesto las dificultades que muestran sus alumnos en la comprensión de los textos científicos y en algunos casos la desmotivación progresiva que se observa hacia la lectura de libros de ciencias. Esto puede deberse en alguna medida a que los textos de ciencias, dirigidos a niños en esta etapa educativa pueden presentar obstáculos muy diversos, algunos de ellos son: el vocabulario, la estructura del texto (a veces escueto, sintético, aburrido), ausencia de referentes (desconectada de los conocimientos previos), las imágenes o gráficos que no despiertan mucho interés al compararse con otros recursos multimedia (Carina Fracchia, Alonso de Armiño, & Martins, 2015). Aplicar la RA en el desarrollo de libros y materiales didácticos, permite introducir una nueva dimensión que enriquece los contenidos con objetos de aprendizaje interactivos, que pueden además mejorar la comprensión de los contenidos, promover un comportamiento más activo del estudiante, aumentar la motivación y enriquecer la experiencia de aprendizaje en general.

la RA trasladada al ámbito educativo, consiste en incorporar al contexto real de aprendizaje en el aula elementos u objetos virtuales tridimensionales o información digital adicional generados a través de dispositivos (móviles, tablets, gafas de RA, etc.) con el objetivo de complementar, reforzar, potenciar, amplificar y enriquecer los escenarios. Se puede lograr un incremento de las posibilidades de aprendizaje al recibir el discente más estímulos, favoreciendo, a su vez, no sólo el aprendizaje de contenidos, sino el desarrollo de la creatividad del alumnado y su interés por investigar y explorar para construir su conocimiento, dado el gran carácter motivador que incorpora esta herramienta (Moreno Martínez, Leiva Olivencia, & Lopez Meneses, 2016). Se puede considerar que las aplicaciones basadas en la RA favorecen el aprendizaje por descubrimiento, mejoran la información disponible para los estudiantes y ofrecen la posibilidad de investigar el entorno natural y estudiar objetos muy difíciles de conseguir en la realidad.

La percepción por parte del alumnado y el profesorado de esta tecnología es positiva y les parece incentivadora, motivadora y capaz de propiciar una mejora en el proceso de enseñanza y aprendizaje. (Moreno Martínez, Leiva Olivencia, & López Meneses, 2016).

2.- Marco y Objetivos

2.1.- Dificultades para el profesorado en la enseñanza de Geología

Es un hecho que la mayoría de los maestros en ejercicio se desinteresan de la ciencia en sus aulas porque se sienten inseguros respecto a sus conocimientos científicos. Esto, en el caso de las Ciencias de la Tierra, es especialmente alarmante. Dada la escasa presencia de los contenidos relativos a estas materias a lo largo de toda la escolarización (Hernández Arnedo, 2013).

Sostiene esta autora que la mayoría de los maestros son muy conscientes de estas carencias, y no pueden decidirse a plantear ninguna alternativa al libro de texto. Además la escasa y deficiente formación que poseen hace que en muchos casos se arrastren ideas previas y concepciones alternativas que, frecuentemente, son transmitidas a sus alumnos.

A pesar del atractivo que tiene para los alumnos ciertas temáticas geológicas, como son los volcanes o los terremotos, que despiertan la curiosidad de éstos y son portadas en periódicos y televisión, (Hernández Arnedo, 2013) mantiene que muchos de los profesores en ejercicios no se sienten seguros a la hora de plantear estos temas en el aula.

Los alumnos y alumnas con frecuencia consideran que lo que estudian en geología, física o biología tiene sólo una lejana relación con el medio externo. De manera que no resulta extraño oírles que los conocimientos científicos que se les proponen son perfectamente inútiles. Probablemente esto sea un indicador de que, también con frecuencia, a los enseñantes se nos olvidan los objetivos para los que ha sido generado el conocimiento científico. Entre el aula y el medio exterior a veces hay algo más que una pared (Pedrinaci, 1998).

Pastrana (2015) señala también algunas cuestiones problemáticas que tiene que ver con el profesorado como son el horario insuficiente para el adecuado desarrollo de la especialidad, la descoordinación entre el profesorado de primaria y el de secundaria, la escasa implantación del constructivismo como marco teórico más relevante para el aprendizaje significativo de las ciencias, la poca consideración hacia las ideas previas y a las ideas alternativas del alumnado y por último la dificultad para contextualizar el conocimiento científico básico con los hechos de la realidad social y económica, fundamentados en aplicaciones científicas y/o tecnológicas.

2.2.- Problemática de las prácticas de campo en Primaria

Los objetivos de las prácticas de campo están dirigidos a alimentar la motivación de los alumnos hacia las ciencias experimentales, a favorecer la comprensión de los aspectos teóricos, a enseñar técnicas específicas, a desarrollar estrategias investigativas o a promover actitudes relacionadas con el trabajo científico (Perales Palacios & Cañal de León, 2000).

La conexión con la realidad es otro de los principales objetivos que se persigue con la enseñanza de las ciencias, lo que obliga a realizar actividades fuera del aula (Prieto Horces & Sampedro Villasán, 1998). El estudio del medio sólo en el aula acaba centrándose en contenidos excesivamente teóricos y conceptuales, en detrimento de los relacionados con procedimientos, hábitos y valores. La enseñanza de las ciencias requiere por tanto, la realización de actividades fuera del aula pero no podemos olvidar que la realidad externa es compleja y requiere una análisis y preparación previos.

En diversos estudios realizados se concluye que se suelen trabajar menos contenidos geológicos en el aula de los que figuran en los programas oficiales (Pedrinaci, 2012).

Puede decirse que la administración educativa y buena parte del profesorado de ciencias tiene una percepción de que la geología no tiene conexión con la vida cotidiana, y que por tanto no interesa ni al alumnado ni al profesorado, que como decimos, contrasta con el reconocimiento y difusión que está teniendo en la sociedad todo lo relacionado con la geología y las ciencias de la tierra (Sanz et al., n.d.). Por tanto, un aspecto clave para hacer más atractiva la geología y más significativo su aprendizaje es potenciar las salidas de campo.

Esta desconexión con la realidad ha sido uno de los principales problemas de la enseñanza de geología al tratar de impartirla sin salir del aula, utilizando casi siempre el libro de texto y sin aprovechar los recursos geológicos que se encuentran en el entorno del centro educativo. Como se ha comentado anteriormente, en muchas ocasiones debido a la falta de conocimientos por parte del profesorado, o razones logísticas.

Suelen ocurrir que en ocasiones que estas actividades, al ser problemáticas desde un punto de vista organizativo y económico, se planteen muy esporádicamente y con objetivos múltiples. Esto puede convertirlas en meras clases magistrales pero en el campo (Sanz et al., n.d.).

Otros autores (Rebelo et al., 2011) también enumeran como condicionantes para la realización de las actividades en ambientes fuera del aula, principalmente, el elevado número de desafíos logísticos a los que las escuelas someten hoy a los profesores; las presiones a las que estos están sujetos para cumplir el programa de la asignatura; los costes financieros que las salidas ocasionan, el aumento del número de actividades extra-académicas en las que participan los alumnos en su día a día escolar (por ejemplo: participación en clubes, deportes escolares); la suposición de que las salidas de campo son más adecuadas y eficaces para los alumnos más avanzados.

El modelo de trabajo que se sigue actualmente respecto a estas actividades sigue siendo el de la realización de itinerarios en los que se preparan unos guiones de trabajo. En él se detallan

las observaciones y actividades que se realizarán en cada parada. Sin embargo, hay que tomar precauciones para que el guión no se convierta en un listado de «instrucciones por seguir», en las que el alumno no percibe cuál es el problema que se pretende resolver ni cómo puede ser resuelto; o en cuestionarios que igualmente podrían haberse solucionado en el aula, en un ejercicio de lápiz y papel (Perales Palacios & Cañal de León, 2000).

Las actividades desarrolladas fuera del aula tienen particularidades que son diferentes a las de las actividades desarrolladas en el aula y también en el laboratorio por lo que requieren estrategias y actividades distintas a las que son comúnmente aplicadas en este ambiente de aprendizaje (Rebelo et al., 2011). Es necesaria una cuidadosa preparación para que sean realmente efectivas y no resulten como una simple actividad recreativa.

Arnedo (2013) realiza un serie de reflexiones sobre este tipo de actividades y una propuesta de planificación para sacarle el máximo partido, cambiando el enfoque de lo que se venía haciendo hasta ahora respecto a las prácticas de campo. Éstas requieren una cuidadosa preparación para ser realmente efectivas como vehículo de aprendizaje y no convertirse en algo simplemente anecdótico. La visita en sí misma constituye una actividad que no podemos dejar al azar de los intereses de los niños y que debe planificarse detalladamente. Hay que tener en cuenta que en la mayoría de las ocasiones las visitas deben planearse al principio del curso y concertarse para fechas determinadas. Deben plantearse además, con un enfoque investigador. Puede surgir como una necesidad en respuesta a preguntas o interrogantes que han aparecido a lo largo de nuestras investigaciones; también pueden ser una actividad de motivación, donde precisamente surjan esas preguntas que nos darán la posibilidad de seguir avanzando en el aula.

Arnedo propone una planificación en tres fases:

- **Actividades iniciales** (antes de la visita): Son aquellas actividades de motivación y que nos sirven de presentación del espacio que se va a visitar, consiguiendo hacerlo más familiar a los alumnos.
- **Actividades durante la visita:** que se ajusten a nuestra materia de investigación que hemos diseñado.
- **Actividades posteriores** (después de la visita): donde haremos una síntesis de todo lo que hemos visto, analizar el material que hayamos recogido o bien, abordar las nuevas preguntas que nos hayan surgido.

Otra dificultad añadida, aunque menos frecuente, es que resulta necesaria en algunas ocasiones que el profesor realice previamente estas actividades o salidas poco tiempo antes de hacerlo con los alumnos. En ocasiones las circunstancias son cambiantes y difíciles de prever (Perales Palacios & Cañal de León, 2000). A modo de ejemplo, un año podemos encontrar una estanque en perfectas condiciones y al año siguiente comprobar que ya no está, porque se ha decidido desecarlo.

Las situaciones de riesgo en las salidas fuera del centro son otro aspecto que hay que contemplar. Estas dependerán del lugar visitado y de la experiencia de los alumnos. En

cualquier caso conviene tener claro que los accidentes son imprevisibles, y que por tanto la mejor medida es ir preparado (Perales Palacios & Cañal de León, 2000).

La dificultad a la hora de evaluar de las prácticas de campo es otra de las cuestiones que queríamos abordar dentro de esta problemática debido al poco peso que se da a estas actividades en la evaluación y la calificación del alumnado. Según (Perales Palacios & Cañal de León, 2000) se suele justificar por dos argumentos: por tratarse de actividades puntuales y por las dudas que genera entre el profesorado la autoría de los informes, trabajos, datos y conclusiones que presenta el alumnado.

Si de veras se quiere que las actividades hechas fuera del aula tengan el papel que les corresponde, han de tener un peso adecuado en la evaluación y en la calificación del alumnado. El excesivo academicismo que todavía se observa en muchos centros y esa sensación de que el examen está por encima de todo, o es más importante que lo demás, ayuda poco a que se valoren adecuadamente estas actividades (Prieto Horces & Sampedro Villasán, 1998).

Es imprescindible para realizar una evaluación adecuada tener los objetivos de los trabajos prácticos suficientemente claros. Una de las formas más útiles para evaluar los trabajos prácticos es la observación, ya que la mejor manera de poder verificar si los alumnos utilizan adecuadamente determinados procedimientos o manifiestan determinadas actitudes es viéndoles trabajar (Perales Palacios & Cañal de León, 2000).

2.3.- Problemática de las prácticas de laboratorio en Primaria

Al hablar de actividades de laboratorio no se hace referencia al uso de una metodología concreta sino a un repertorio variado de actividades, que tienen algunas características en común (Perales Palacios & Cañal de León, 2000):

- Son realizadas por los alumnos
- Implican el uso de procedimientos científicos de diferentes características
- Requieren el uso de un material específico
- Encierran ciertos riesgos
- Son más complejas de organizar que las actividades de aula

Al igual que las practicas de campo, la realización de trabajos prácticos o de laboratorio requiere dedicar tiempo a su preparación y afrontar y tratar de solucionar los problemas que puedan presentarse en su aplicación, y esto requiere unas dosis altas de motivación por parte del profesorado, y un cierto estímulo o refuerzo por parte del centro.

Un problema frecuente en las prácticas de laboratorio es la coordinación con la parte teórica. Las conclusiones que puede sacar un alumno de un experimento o actividad son a veces distintas de las perseguidas por el profesor. Estas conclusiones dependen de las teorías que poseen las personas que las realizan. Por ello, las relaciones entre los aspectos teóricos y los datos obtenidos en el trabajo práctico son fundamentales. Estas relaciones solo pueden

desarrollarse mediante el diálogo entre algunos y profesores sobre las observaciones realizadas. Parece conveniente pues, superar la tradicional división entre clases teóricas y trabajos prácticos. Resulta muy difícil para los alumnos recuperar para una práctica un conocimiento teórico que trabajaron hace ya algunas semanas. Una buena manera de abordar el problema es programar conjuntamente todas las actividades a partir de un hilo conductor común que les dé sentido y facilite las relaciones entre ellas (Perales Palacios & Cañal de León, 2000).

Otro factor a tener en cuenta en este tipo de actividades es su organización, que va a depender mucho de la situación de cada centro y de cómo tenga dotado su laboratorio. Dependiendo de esta circunstancia, la preparación de las actividades y sesiones serán muchos más fáciles y motivará el uso de las instalaciones. De lo contrario, resulta un verdadero “handicap” si están mal dotados o carecen de una mínima organización. Es importante tener en cuenta de qué materiales disponemos. Por tanto, habrá que escoger qué trabajos podemos realizar partiendo de las características de nuestro laboratorios o realizar una adaptación de estos para garantizar su realización. En Geología, no siempre se dispone de materiales adecuados.

El uso de laboratorios requiere de trabajos posteriores de limpieza y recogida de objetos o materiales utilizados, que aunque es preferible que lo realicen los propios alumnos, siempre conlleva una pérdida considerable de tiempo efectivo de clase, lo cual supone otra dificultad añadida.

La seguridad es otro factor importante a tener en cuenta. Requiere una formación previa para evitar riesgos y accidentes al utilizar el material, las fuentes de calor, etc. No obstante, en el caso de la Geología, estamos tratando la mayoría de las ocasiones con minerales y rocas que, por su peso, conviene manejar con cuidado para evitar un mal uso sobre todo por los alumnos de ciclos inferiores. Esta formación para manejar el material, aunque es absolutamente necesaria, también supone más trabajo y pérdida de tiempo por parte del profesor.

2.4.- Dificultades del alumnado en la realización de las prácticas

Para los alumnos de primaria, el estudio de la Geología conlleva también una serie de dificultades debido a que los conceptos y procesos tratados resultan difíciles de entender en estas etapas. Sobre todo cuando tratamos conceptos abstractos y poco intuitivos como el tiempo geológico o la estructura dinámica e interna del planeta. Aunque como indica Hernandez Arnedo (2013), hay cuestiones más cercanas que forman parte de nuestra vida cotidiana y con la que los alumnos están en contacto. Por ejemplo: la sucesión del día y la noche, las estaciones, el ciclo del agua, los fenómenos meteorológicos, el uso de recursos minerales, la acción geológica del viento o del agua, la contaminación, la pérdida del suelo, etc. También les llega información a través de los medios de comunicación de fenómenos geológicos catastróficos como inundaciones, terremotos o vulcanismo.

De toda esta información surgen algunas de las concepciones e ideas previas que poseen de los fenómenos naturales en la que estas se mezclan con el conocimiento escolar en un intento de acomodar sus ideas a las “científicamente correctas”, aunque muchas veces con modelos tan simplistas que falsean la realidad (Hernandez Arnedo, 2013). Esto se convierte en fuente

de errores conceptuales, ideas falsas, concepciones alternativas y vaguedades que devienen en auténticos obstáculos del aprendizaje.

Las ideas previas son importantes conocerlas durante la elaboración de cualquier propuesta didáctica, pues así podremos diseñar actividades directamente orientadas a reforzar las adecuadas y reconstruir las inadecuadas (Perales Palacios & Cañal de León, 2000).

Hernandez Arnedo (2013) propone una clasificación de posibles fuentes de ideas alternativas o erróneas que dificultan aún más el aprendizaje de conceptos geológicos, tan abstractos para la enseñanza en Primaria.

- a) Causas circunstanciales: como son los errores en los propios libros de texto, el lenguaje utilizado en el aula, el mal uso de analogías, los gráficos mal diseñados y la información sesgada y simplificada de los medios de comunicación.
- b) Causas debidas a los sistemas de pensamiento propios de los estudiantes: como el pensamiento antropocéntrico, la dificultad para mantener una visión holística o las posiciones catastrofistas o estáticas sobre el origen y los fenómenos que ocurren en la tierra.
- c) Dificultades intrínsecas del aprendizaje de las Ciencias de la Tierra: como la visión espacial que se necesita para entender conceptos geológicos y la escala especial de estos fenómenos, así como la escala temporal o tiempo geológico.

Este último concepto, el tiempo geológico, es uno de los mayores problemas a la hora de abordar la enseñanza de la Geología en primaria, y en realidad en casi cualquier etapa de la educación. Las cifras que se manejan para explicar los procesos geológicos están tan alejadas de nuestra escala temporal habitual que no tienen sentido ni para niños ni para adultos (Hernandez Arnedo, 2013).

2.5.- Realidad Aumentada: una nueva tecnología educativa

La Realidad Aumentada (RA) es el término que se usa para definir una visión directa o indirecta de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta a tiempo real. Consiste en un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física ya existente. Con la ayuda de la tecnología (por ejemplo, añadiendo la visión por computador y reconocimiento de objetos) la información sobre el mundo real alrededor del usuario se convierte en interactiva y digital (Gallego Delgado, Saura Parra, & Nunez Trujillo, 2013).



Figura 1. Un ejemplo que ilustra qué es la Realidad Aumentada y cómo se visualizan en dispositivos móviles como las tablets.

Quizá una de las definiciones más antiguas la realizara Toledo Morales & Sánchez García (2018) cuando define la Realidad Aumentada como la tecnología que permite que coexistan en el mismo espacio lo real y lo virtual, dando la posibilidad de interactuar con estos elementos en tiempo real. Para no limitar este concepto a tecnologías específicas, describe tres características de la RA:

1. Combinación de elementos virtuales y reales. La información digital se combina con la realidad virtual.
2. El procesamiento es en tiempo real. Los objetos que deben ser rastreados como la información sobre estos deben proporcionarse a tiempo real.
3. Registrada en 3D. Los objetos reales y virtuales son registrados y alineados geoméricamente entre ellos y dentro del espacio para darles coherencia espacial.

Estas tres características delimitan de forma clara lo que es o no es un sistema de RA. Específicamente se excluyen los sistemas 2D y se obliga a la interactividad en tiempo real: el usuario debe poder provocar acciones en el entorno y que el entorno se vea modificado y se lo haga saber a su vez al usuario (Prendes Espinosa, 2014). tenemos un ejemplo en la *figura 1*.

Una definición más compleja nos propone De Pedro como se cita en Prendes Espinosa (2014) donde explica la RA como “aquella tecnología capaz de complementar la percepción e interacción con el mundo real, brindando al usuario un escenario real aumentado con información adicional generada por ordenador. De este modo, la realidad física se combina con elementos virtuales disponiéndose de una realidad mixta en tiempo real” (p. 301). Por su parte Basogain, Olabe, Espinosa, Rouèche y Olabe (citado en este mismo artículo) afirman 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 al real. El usuario nunca pierde el contacto con el mundo real que tiene al alcance de su vista y al mismo tiempo puede interactuar con la información virtual superpuesta” (p.1).

Existe una diferencia de concepto entre la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) que nos puede llevar a errores y confundir su funcionalidad. La principal diferenciación entre estas dos tecnologías reside en que la RA presenta los elementos visuales dentro de la realidad física, mientras que la RV crea un mundo virtual independiente al mundo real, donde tienen lugar las interacciones con los objetos virtuales (Figura 2). En los sistemas de Realidad Virtual el usuario está completamente inmerso en el mundo artificial, lo cual le impide interactuar con objetos del mundo real. En contraposición, los sistemas de Realidad Aumentada no pretenden aislar al usuario del mundo real, sino complementar este mediante objetos virtuales e imágenes generadas por ordenador. Los usuarios pueden interactuar con una mezcla de un mundo real y virtual de forma natural (Gallego Delgado et al., 2013). La Realidad Aumentada es una tecnología cuyo fin es completar la realidad, por el contrario, la Realidad Virtual es una tecnología cuyo fin es simular la propia realidad.



Figura 2. Diferencia en el uso de la RV frente a la RA. La figura 2(a) muestra cómo se interactúa con el medio digital y dispositivos necesarios para implementar la RV. La Figura 2(b) muestra cómo se usa la RA y medios necesarios.

Centrándonos en la RA, su funcionamiento es muy sencillo: en tiempo real, la cámara realiza un visionado de nuestra realidad buscando patrones de realidad aumentada definidos por el usuario. Cuando la cámara encuentra este patrón, la computadora procesa la perspectiva en la que el sujeto ve las cosas, y calcula e inserta elementos virtuales predeterminados en ella, haciéndolos parte de su realidad (Negrete Montero, n.d.) (Figura 3).

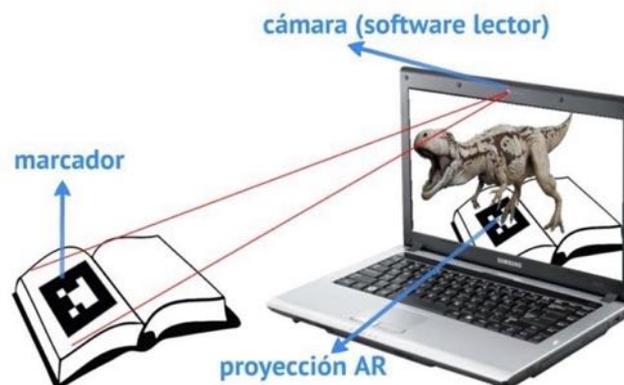


Figura 3. Esquema básico del funcionamiento de la Realidad Aumentada.

Según Fombona Cadavieco, Pascual Sevillano, & Ferreira Amador (2012) hay tres formas de presentar la tecnología de Realidad Aumentada:

- Con un ordenador tradicional (PC/Mac): Mediante la cámara del equipo se digitaliza la imagen captada a la que se le añade mediante software, capas de datos, imágenes, etc. El resultado se muestra en pantalla.
- Con dispositivos portátiles miniaturizados: estos dispositivos, como los teléfonos móviles, incorporan una cámara para capturar la imagen. Son capaces de procesarla y presentara en la propia pantalla del dispositivo.
- Con equipos específicos de realidad aumentada: son dispositivos especiales como los diseñados para museos o eventos especiales. También podemos incluir dentro de esta categoría dispositivos especiales de visión como gafas, etc.

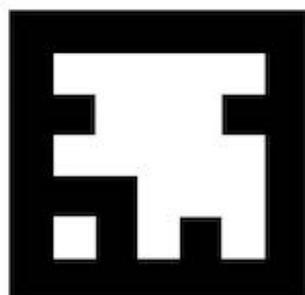
Son muchos los autores que hablan de niveles dentro de la Realidad Aumentada. Lens-Fitzgerald, fundador de Layar, una de las aplicaciones de RA más importantes del mundo, define cuatro niveles. Estos se pueden entender como una forma de medir la complejidad de las tecnologías involucradas en el desarrollo de los sistemas de RA (Prendes Espinosa, 2014):

- **Nivel 0 (Hipervínculo al mundo físico):** En este nivel, la información se activa mediante códigos de barra. No se utilizan objetos 3D. Estos códigos solo se utilizan para enlazar contenidos. Un ejemplo son los códigos QR. (Figura 4)



Figura 4. Ilustración código QR.

- **Nivel 1 (RA basada en marcadores):** Los activadores son marcadores, imágenes en blanco y negro, que cuando los escanea la cámara, se obtiene un objeto en 3D. (Figura 5)



(a)



(b)

Figura 5. (a) Marcador que sirve de disparador para el objeto 3D. (b) El objeto 3D una vez generado.

- **Nivel 2 (RA sin marcadores):** los activadores son imágenes, objetos o bien, localizaciones GPS (*Figura 6*).



Figura 6. (a) activación de la RA a través de localizados GPS. (b) Activación de la RA en imágenes interiores.

- **Nivel 3 (Visión aumentada):** Al este nivel pertenecen los dispositivos avanzados como gafas, lentes, etc. Ofrecen una experiencia completamente inmersiva. (*Figura 7*)



Figura 7. Gafas Google Glass para Realidad Aumentada.

La Realidad Aumentada como tecnología en constante desarrollo y evolución es cada vez más utilizada en campos como la ciencia, la tecnología, la educación y sobre todo el entretenimiento. Industrias como la televisión o los video juegos están apostando fuertemente por la RA. Las retransmisiones deportivas cada vez incorporan más elementos de este tipo. La NFL y la NASCAR son un claro ejemplo de lo puede aportar al espectáculo televisivo. Video juegos como PokemonGo han sido toda una revolución en el mundo del entretenimiento móvil. Es un apoyo en tareas complejas como la cirugía, el montaje de sistemas complejos, simulaciones de trayectos, etc. La lista de aplicaciones es cada vez más amplia y su futuro parece asegurado.

2.6.- Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es estudiar el uso de una tecnología nueva e innovadora, como es la Realidad Aumentada, como una alternativa seria y real a las prácticas de Geología en Educación Primaria. Para ello se investigará el uso de nuevas tecnologías en la enseñanza de las ciencias y cómo se aplica la RA actualmente en el aula de Primaria a nivel general y se estudiarán posibles aplicaciones concretas al área de Geología.

Se trata de proponer ideas o aplicaciones realizables en el aula utilizando la RA como alternativa a las prácticas tradicionales y a su vez proponer herramientas con las que implantar esta tecnología en el aula.

3.- Metodología

3.1.- Búsqueda Documental sobre Realidad Aumentada

Nuestro trabajo ha consistido en una búsqueda sobre proyectos, recursos, materiales y herramientas relacionadas con la Realidad Aumentada, fundamentalmente dentro del ámbito de la educación. Aunque, tratándose de una tecnología tan nueva e innovadora, se ha ampliado la búsqueda a otros entornos no necesariamente relacionados con la educación donde sí se están desarrollando proyectos y soluciones interesantes que permiten ver el potencial de esta tecnología.

Se ha iniciado la búsqueda de recursos existentes que nos permita implementar la RA en entornos educativos sin excesivos costes, al menos en cuanto a la propia ejecución dentro del aula. Se ha tenido en cuenta también las aplicaciones necesarias para la realización de los modelos 3D, de mayor coste y esfuerzo de realización.

Una vez realizada esta búsqueda, se ha realizado una clasificación del material y recursos encontrados atendiendo a criterios de uso, haciendo una distinción entre generadores de objetos, buscadores de objetos y aplicaciones para implementar la RA sobre diferentes dispositivos. Se han buscado tanto aplicaciones gratuitas que puedan ser un recurso fácil de obtener y de aplicar por docentes, como otras profesionales que puedan ser adquiridas por un centro o institución con una aplicación concreta.

Hemos continuado esta búsqueda por las principales universidades españolas para ver qué proyectos de investigación se están llevando a cabo sobre Geología y el resto de materias educativas, aplicando la RA. Dentro del ámbito educativo, se ha continuado la búsqueda en los principales Museos Nacionales de Ciencias y Geología. No obstante, se trata de espacios didácticos donde se suelen desarrollar muy buenos materiales de divulgación y educación. Centrándonos en la Geología, se ha tenido en cuenta instituciones como el IGME (Instituto Geológico y Minero de España), que posee un museo y abundante material divulgativo.

Una vez agotada la vía de instituciones relacionadas directamente con la educación, se ha recurrido a la búsqueda en la empresa privada, donde realmente se están produciendo los aportes e innovaciones más importantes en este área.

Se ha confeccionado una lista de recursos ya elaborados utilizando esta tecnología para ilustrar a modo de ejemplo cómo se están aplicando actualmente la RA en el ámbito educativo, tanto a nivel general como en el área de Geología.

Posteriormente se ha elaborado una propuesta de aplicación partiendo de esta tecnología y diseñada para cubrir carencias encontradas en las tradicionales prácticas de Geología.

4.- Resultados y Discusión

En los resultados obtenidos sobre las Universidades, todas en general tienen alguna iniciativa relacionada con la RA, pero no abunda el contenido para enseñanza y mucho menos en lo referente a Geología. Ha sido en una Universidad estadounidense donde hemos encontrado una de las propuestas más interesantes que describiremos más adelante.

En lo que respecta a Museos de Ciencia y Geología, esta búsqueda ha resultado poco productiva. Pensamos que debido a que la RA es una tecnología todavía muy reciente y por tanto, faltan ideas para desarrollar, así como una mayor inversión para obtener los recursos necesarios que faciliten su implantación. Aun así, hemos encontrado iniciativas interesantes, pero en su mayoría, se limitan a mostrar animales, casi siempre dinosaurios, en un entorno de RA. En el campo de Geología, en la mayoría de los casos, solo se está empleando la RA en áreas como las salidas de campo y geo-rutas y al desarrollo de aplicaciones para estos fines, que tienen que ver más con el ocio y el turismo y por tanto, exceden el ámbito de la Educación Primaria.

En el ámbito privado, empresas como Apple o Google están al frente de estos avances como gigantes tecnológicos, proponiendo herramientas para el desarrollo de la RA, que a su vez aprovechan una legión de empresas y programadores para crear aplicaciones para sus plataformas. Al margen de estos gigantes, encontramos otras empresas que desarrollan tecnologías y herramientas basadas en RA, ya sea para museos, uso personal o cualquier otro fin. Estas empresas ponen a disposición del usuario, tanto software como hardware específico que podemos utilizar en entornos educativos.

4.1.- Recursos Existentes

Hay que distinguir entre herramientas o aplicaciones destinadas a mostrar la Realidad Aumentada como producto final y las herramientas que hacen posible este resultado, como puede ser la elaboración de los objetos 3D que mencionábamos anteriormente. Evidentemente no presentamos todas las herramientas existentes, es solo una propuesta en la que reflejamos una muestra bastante amplia con la que podemos hacernos una idea de cómo

se encuentra este sector actualmente. Se espera un importante incremento de las mismas en los próximos años.

Como primer grupo tenemos las herramientas relacionadas con los objetos 3D mencionados anteriormente. Son bien importantes porque de ellos depende esta tecnología, basada en mostrar estos objetos mezclados con la vida real. Aquí tenemos que hacer una distinción entre las destinadas a crear estos objetos y a las que nos proporcionan una búsqueda sobre ellos.

Para creación de objetos 3D:

	Agisoft PhotoScan	http://www.agisoft.com/
	Recap 3D	https://www.autodesk.com/
	SketchUp	https://www.sketchup.com/es
	Blender	https://www.blender.org/
	3DSMax	https://www.autodesk.es/products/3ds-max/overview
	TrNio	http://www.trnio.com/

Buscadores de objetos 3D:

	3D WareHouse	https://3dwarehouse.sketchup.com/
	Turbosquid	https://www.turbosquid.com/
	SketchFab	https://sketchfab.com/
	GrabCab	https://grabcad.com/
	Archive 3D	https://archive3d.net/
	Comunidad Aumentaty	http://www.aumentaty.com/community/es/everything

Los Kits de desarrollo para aplicaciones de Realidad Aumentada son uno de los pilares en que se apoya esta tecnología. Gracias a ellos, se pueden crear la mayoría de aplicaciones que utilizamos.

Kits de Desarrollos:

	Apple ARKit	https://developer.apple.com/arkit/
	Google ARCore	https://developers.google.com/ar/

A partir de aquí, vamos a mostrar recursos y herramientas destinadas al usuario final de esta tecnología. Son las que implementan propiamente la Realidad Aumentada. A continuación listamos una serie de servicios alojados en la web que tiene como ventaja el evitarnos tener que instalar ningún software en nuestro ordenador, así como el acceso desde cualquier lugar, ya que solo necesitaremos el navegador web.

Aplicaciones web:

	Augment	http://www.augment.com/
	Layar	https://www.layar.com/
	Aurasma	https://www.aurasma.com/
	ArCrowd	http://arcrowd.com/

También podemos instalar en nuestro PC/Mac de trabajo aplicaciones nativas con las que podemos realizar las mismas funciones que las aplicaciones web pero con la ventaja de un mejor aprovechamiento de los recursos del ordenador. Proponemos un par de ejemplos de los más utilizados.

Aplicaciones para PC/Mac:

	BuildAR	http://www.buildar.co.nz/
	Aumentaty Author	http://author.aumentaty.com/

Por último, las herramientas mas utilizadas y que dan sentido a esta tecnología, las aplicaciones para móviles y tablets. Debido al gran número existente, hemos recopilado a modo de ejemplo, una selección de las más interesantes y que bajo nuestro criterio, pueden adaptarse más fácilmente en entornos educativos.

Aplicaciones móviles:

	Augment	http://www.augment.com/
	Aurasma	https://www.aurasma.com/
	Layar	https://www.layar.com/
	Anatomy 4D	https://daqri.com/
	Blippar	https://web.blippar.com/
	ChromVille	https://chromville.com/es/
	AR FlashCards	http://arflashcards.com/
	Arloon	http://www.arloon.com/
	Octagon	https://www.octagonstudio.com/
	Earth AR	AppStore Apple
	AugThat	http://augthat.com/

4.2.- La Realidad Aumentada en el Aula

Nuestra búsqueda sobre la aplicación de esta tecnología en el aula ha dado como resultado un amplísimo número de soluciones aplicables en entornos educativos. Encontramos diferentes propuestas, la inmensa mayoría basadas en aplicaciones móviles, debido al crecimiento del número de estos dispositivos entre la población. Hemos seleccionado varios ejemplos con los que podemos hacernos una idea del estado de esta tecnología en cuanto a posibilidades educativas se refiere. Hemos optado por presentar ejemplos con posibilidades reales de implementación en clase, haciendo evidente el fácil acceso y aprendizaje de esta tecnología.

Hemos decidido realizar una lista clasificada por áreas o materias que se imparten en Educación Primaria. Aunque hemos incluido algún apartado, no perteneciente al currículum, nos han resultado muy interesantes para mostrar el potencial de la RA. Debemos comentar que en Geología, el área que nos interesa en cuestión, no hemos encontrado un gran número de propuestas pero algunas son ciertamente muy llamativas e innovadoras.

4.2.1.- Química (Simulador de laboratorio de Química en Realidad Aumentada)

La posibilidad de simular en Realidad Aumentada un laboratorio resulta de lo más interesante que hemos encontrado como propuesta en el área de Química. **ChemistryAR** es precisamente un laboratorio virtual desarrollado por SectorFour Technologies (*Figura 8*)

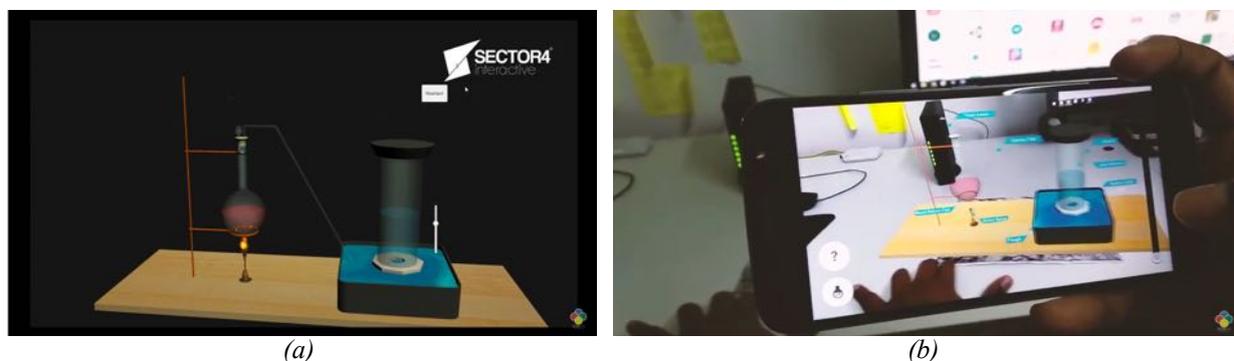


Figura 8. Capturas de la aplicación ChemistryAR en funcionamiento. 8(a) Se muestran unos instrumentos de laboratorio que sustituyen a los reales. 8(b) Muestra en funcionamiento de la aplicación y cómo se visualiza a través del dispositivo móvil.

La propuesta no puede ser más atractiva, supone la posibilidad de prescindir totalmente de las dificultades que entraña el laboratorio físico y permite a los alumnos acceder a uno, todo lo sofisticado que queramos que sea. Sin las limitaciones de presupuesto, material, instrumentos que presenta el primero. Con esta simulación no evitamos cualquier inseguridad para nuestros alumnos ya que no hay contacto con materiales peligrosos, fuentes de calor o cualquier otro riesgo. Como ventaja, además de la seguridad, podemos destacar la aceleración de los procesos, que podemos manejar a nuestra conveniencia. La limpieza y recogida de materiales es también importante, no son necesarios en este caso. Y el factor diversión y motivación son aspectos muy destacados.

Esta software, aunque tiene su principal aplicación en el área de Química, visualizando elementos de la tabla periódica, observando cómo se combinan los elementos o transformándolos mediante diferentes procesos, también podemos emplearla para desarrollar contenidos de Geología. Podemos trabajar con rocas, minerales o fósiles.

4.2.2.- Matemáticas

Las Matemáticas, tal vez por la manera en que se ha estado impartiendo hasta ahora, son consideradas por los alumnos de las materias más tediosas y complicadas de cursar. Aquí es donde la Realidad Aumentada puede venir en ayuda de los docentes introduciendo un elemento motivador y a la vez que resulte de verdadera ayuda. Es evidentemente que este factor por sí mismo no va a resultar determinante para facilitar el aprendizaje de las matemáticas pero puede resultar una estimable ayuda, tanto a nivel motivacional como práctico.

Una aplicación interesante, que puede resultar muy útil y que se aleja de la espectacularidad de las animaciones 3D, es esta aplicación de RA para trabajar ejercicios de Matemáticas. Consiste en utilizar esta tecnología para el desarrollo y corrección de ejercicios matemáticos, como por ejemplo, la resolución de ecuaciones. A través de la aplicación **Aurasma**, y partiendo de la imagen de un enunciado matemático (*Figura 9a*), podemos hacer que este se vaya, a modo de explicación, desarrollando en pantalla hasta llegar a la solución final (*Figura 9b*). Esto se puede utilizar para proporcionar explicaciones que ayuden al alumno fuera de clase o bien, como corrección o comprobación de que se ha resultado el ejercicio de forma correcta.

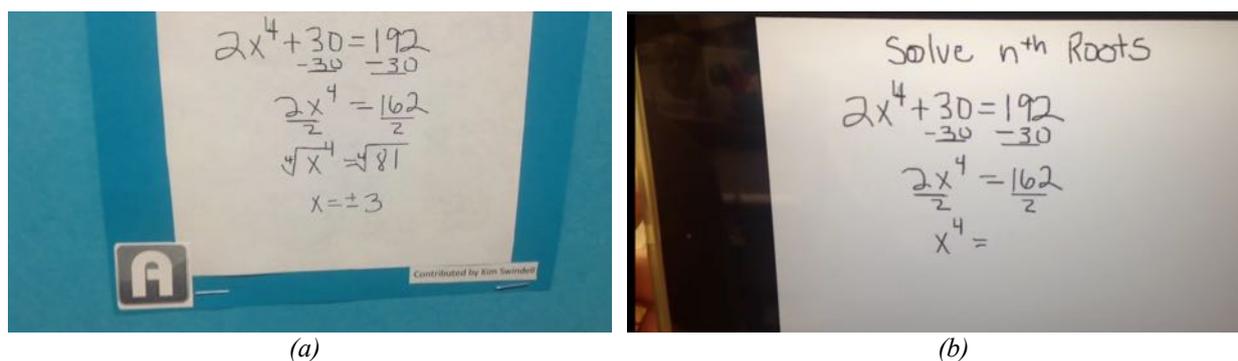


Figura 9. Desarrollo de ejercicios matemáticos con la aplicación de Realidad Aumentada Aurasma. (a) Muestra la imagen del enunciado del problema matemático que se utiliza para lanzar la explicación en video. (b) En esta captura de imagen de video el problema se va resolviendo paso a paso.

4.3.3.- Geología

4.3.3.1.- Libros de Realidad Aumentada

Una de las aplicaciones más interesantes y que requiere menos coste económico y esfuerzo a la hora de implantarlo en el aula son los libros que incorporan la Realidad Aumentada. Mediante esta tecnología se pueden diseñar nuevas y mejores experiencias de aprendizaje para las distintas etapas de educación. Tienen un enorme potencial para mejorar el aprendizaje gracias a la posibilidad de enriquecer su contenido impreso. y ver en 3D los elementos sobre los que se está estudiando e interactuar y modificarlos, viendo su evolución, cambiándolos, etc. y en general aprendiendo de ellos (Gallego Delgado, Saura Parra, & Nunez Trujillo, 2013). Con ellos conseguimos “aumentar” la realidad consiguiendo que el alumno se implique más en el aprendizaje del contenido debido a la interactividad que tiene con el mismo.

La gran ventaja de un libro aumentado es que permite mantener la metáfora de lectura tradicional y a su vez enriquecerla con elementos digitales que la RA nos permite incorporar de manera natural, no sólo aumentando sus contenidos sino también proveyendo nuevas interacciones (Gazcón, Trippel Nagel, Urribarri, Bjerg, & Castro, 2015). A pesar del gran potencial que poseen los libros aumentados, aún resulta una tecnología nueva para muchos docentes y representa un desafío en cuanto a su utilización (Gazcón, Larregui, & Castro, 2016).

El Libro Aumentado pertenece al nivel 1 de la RA, por tanto utiliza marcadores para generar el objeto 3D que queremos proyectar. Podemos trabajar conceptos como el sistema solar, la tierra y sus capas, eclipses solares y lunares, volcanes, etc. Las posibilidades son enormes dentro de la Geología. Otro aspecto interesante es la creación de apuntes por el propio alumno, lo que nos permite ampliar las posibilidades y materia de trabajo.

Dentro de los resultados que hemos obtenido en la búsqueda de aplicaciones de esta tecnología dentro del campo de la Geología, vamos a empezar por una de las editoriales más conocidas en nuestro país, como es el caso de la **Editorial Santillana S.L.** Dentro del amplio material multimedia que pone a disposición de los docentes y alumnos como complemento de sus libros de texto, han apostado por editar libros de texto con RA incorporada. Para ello, además del propio libro, ponen a disposición de los alumnos la aplicación móvil con el que escanear el contenido y proyectar la imagen 3D en sus pantallas. (Figura 10)



Figura 10. Libro de RA de la Editorial Santillana. En la figura se muestra el funcionamiento de la aplicación que acompaña al libro.

La empresa **Larngear Technology** ha desarrollado seis espectaculares libros de RA sobre ciencias. Tres de ellos dentro del área de Geología: Estructura de la Tierra, El Sistema Solar y Terremotos que destacan por su calidad y contenido, como podemos apreciar en las imágenes de la *Figura 11*.

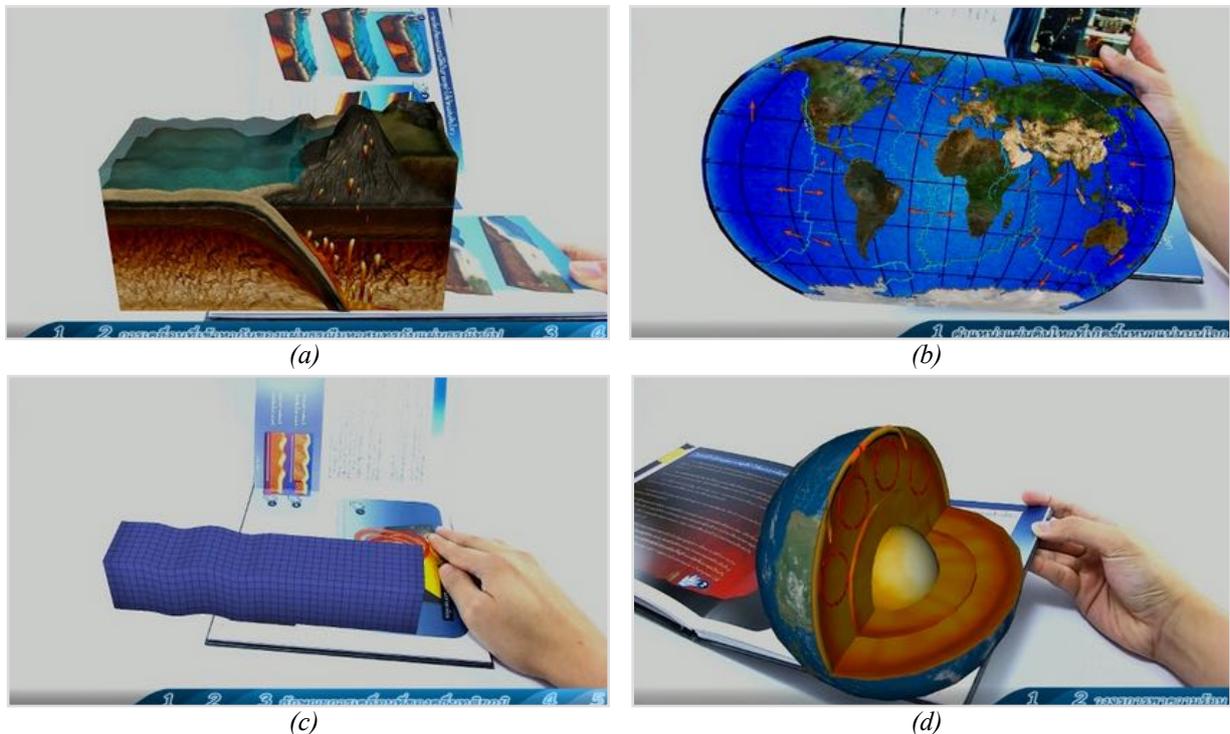


Figura 11. Imágenes de varios libros de RA sobre Geología. (a) explicación sobre tectónica de placas y la dinámica de la corteza terrestre. (b) Muestra un Mapamundi. (c) explicación de los movimientos sísmicos. (d) Objeto 3D del interior de la Tierra.

Son solo dos ejemplos de esta tecnología aplicada a uno de los recursos menos evolucionados dentro del aula. Aplicar la RA a los libros de texto implica nuevas maneras de acercar a los alumnos al material, fuera de los límites del papel, incrementando el valor de los libros de texto y aumentando así su motivación.

4.3.3.2.- Aplicando Marcadores (Markers) de RA en Geología

Los marcadores pertenecen al Nivel 1 en cuanto a la implementación de la RA y se utilizan para proyectar sobre ellos los objetos 3D deseados. Es la misma tecnología que utilizan los Libros Aumentados pero hacemos una distinción en este punto debido al incremento exponencial de sus posibilidades. La manera en la que podemos interactuar con los marcadores nos lleva a otro estado avanzado, mezclándolos y creando sistemas 3D más complejos.

Esta aplicación escrita en el lenguaje HTML 5 y creada por el programador **Skeel Lee** es sencillamente espectacular. Nos permite mediante el movimiento de marcadores, crear y

modelar un paisaje, construyendo montañas a diferentes alturas, valles, ríos, etc (Figura 12). Esto supone un enorme potencial a la hora de abordar esta materia en el currículum.

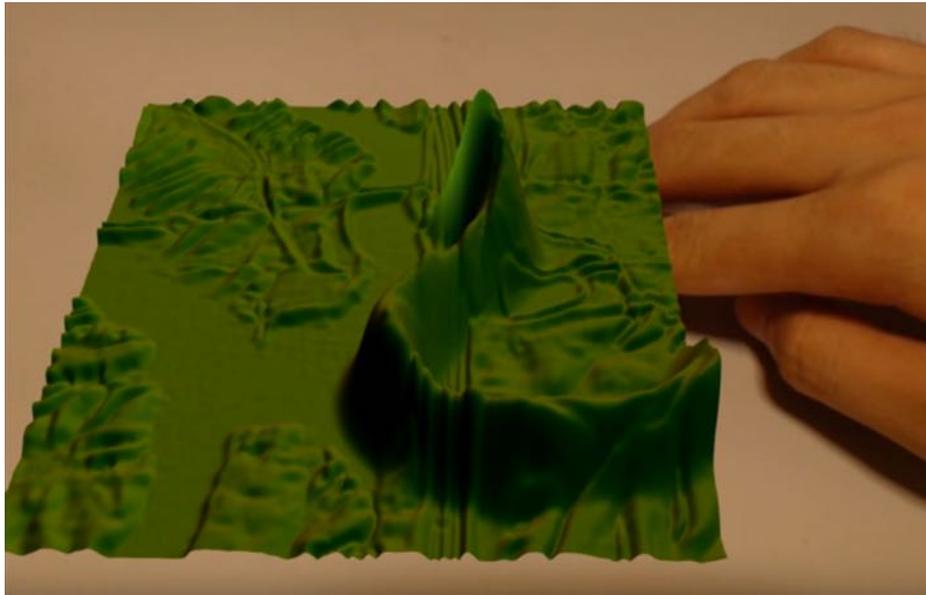


Figura 12. Modelado de paisajes de RA con HTML 5. La imagen ilustra como se utilizan los marcadores para crear el relieve.

La siguiente aplicación es un poco más veterana y se ha quedado un poco rezagada comparada con las aplicaciones más modernas, sobre todo en el aspecto de la construcción, definición y presentación de los elementos 3D. Se trata del software **BuildAR** (Figura 13) del cual hemos obtenido la referencia del Centro Aragonés de Tecnologías para la Educación. Nos ha parecido interesante por varios motivos: es software libre y gratuito, de fácil manejo y aprendizaje y tiene a disposición abundantes recursos educativos que cubren varias áreas (Geología, Matemáticas, Biología, etc.). Dispone también de manuales y tutoriales.

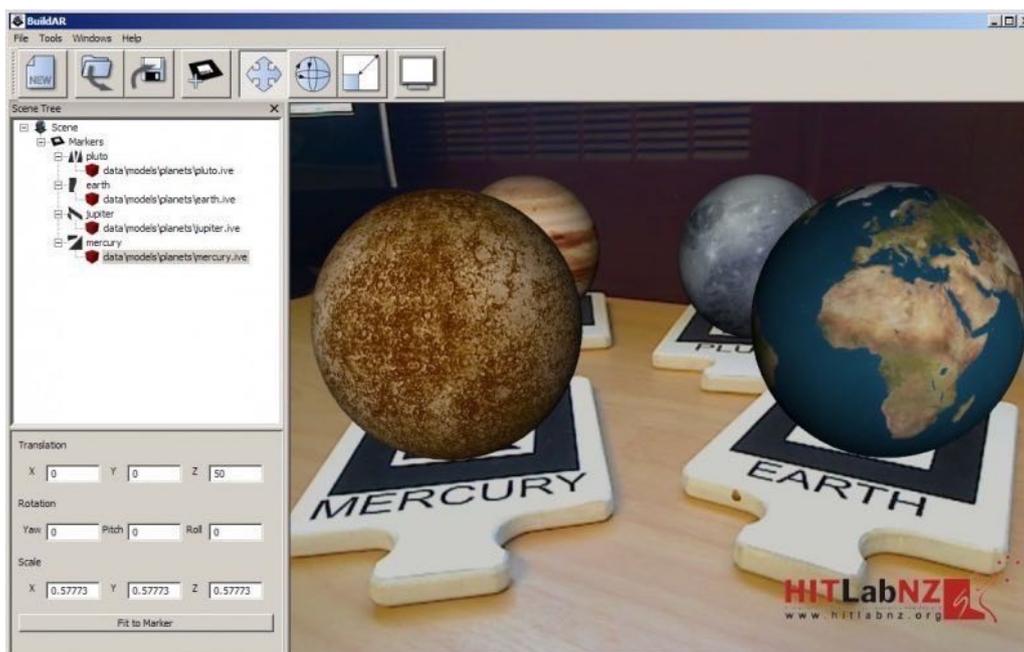


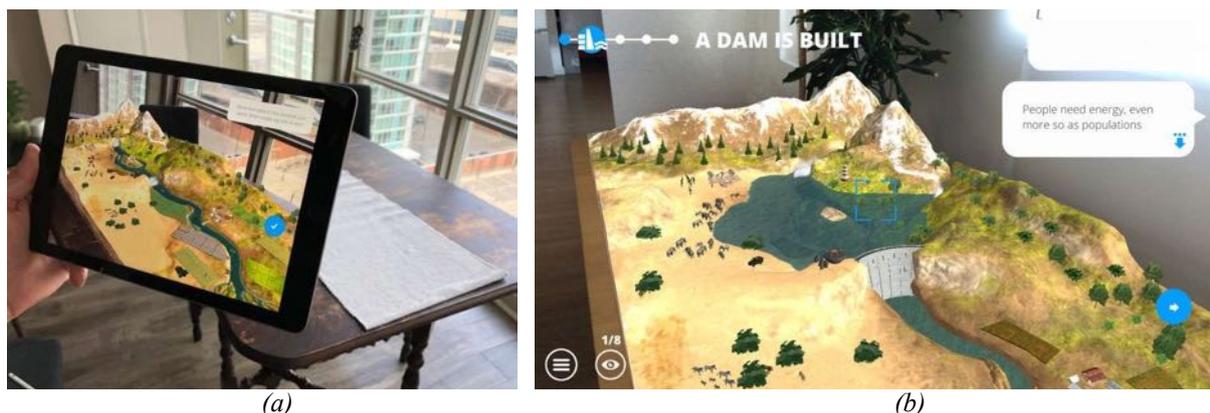
Figura 13. Muestra la interface de la aplicación BuildAR.

4.3.3.3.- Aplicaciones móviles para Realidad Aumentada

Dentro de los resultados que hemos obtenido, el mayor número de ellos lo ocupan las aplicaciones móviles que son sin duda las que mejor se adaptan a esta tecnología y las que mayor futuro tienen.

Nos ha sorprendido mucho una aplicación de la organización **World Wildlife Fund (WWF)** realizada con la última tecnología en RA para la plataforma de Apple llamada Explore WWF Free Rivers. Pertenece al Nivel 2 de la RA donde los marcadores que utiliza pueden ser tanto imágenes como objetos, lo cual nos permite una mayor flexibilidad ya que, al contrario que sucede cuando utilizamos marcadores, es la propia pantalla, en este caso la del móvil, la que se va moviendo para visualizar el objeto 3D desde distintas perspectivas (*Figura 14b*).

Free Rivers utiliza la Realidad Aumentada para simular cómo fluye un río por diferentes hábitats y cómo afecta este al paisaje y a las personas que viven en ese entorno. Podemos presionar en el curso del río para realizar modificaciones en su curso para luego ver qué sucede con los paisajes alrededor de este. Jugando con estas opciones, debemos mantener un desarrollo sostenible que mantenga el río y alrededores de una manera saludable. Todo ello recreado sobre la superficie que le indiquemos (*Figura 14a*), como por ejemplo una mesa. Esto consigue un efecto espectacular. (*Figura 14c*)



(c)

Figura 14. Aplicación de la World Wildlife Fund llamada WWF Free Rivers.

- (a) Muestra cómo y dónde se puede proyectar la RA.
- (b) Muestra una perspectiva donde se simula una presa.
- (c) Muestra la simulación de las diferentes cursos del río hasta su desembocadura.

4.3.3.4.- AR SandBox: el arenero de Realidad Aumentada

Sin duda la propuesta más interesante que hemos encontrado en cuanto a utilización de la Realidad Aumentada para la didáctica de la Geología ha sido este proyecto ideado en la Universidad de California (UC Davis) y que esta siendo imitado y adaptado por numerosas entidades como museos, universidades y órganos educativos prácticamente por todo el mundo. Podemos encontrar todos los detalles en <https://arsandbox.ucdavis.edu/>.

Ar Sandbox es el resultado de un proyecto sobre educación para la ciencia de cuencas hidrográficas desarrollado por dicha Universidad. Combina aplicaciones de visualización 3D con manipulación de arena para enseñar conceptos tratados en ciencias de la tierra. Se trata de una caja de arena que tiene situada en la parte superior una cámara Kinect 3D y un proyector para proyectar las imágenes sobre la arena (*Figuras 15a y 15b*). Permite a los usuarios crear relieves manipulando dicha arena. La cámara capta el contorno y profundidad del relieve creado y mediante software, se proyecta a tiempo real un mapa de colores, líneas de contorno topográficos y agua simulada (*Figura 15c*).

Con Sandbox podemos trabajar las cuencas hidrográficas, cómo se comporta el agua y cómo afecta a los ecosistemas y a las personas que viven en ella. Nos ayuda a entender cómo la superficie de la tierra cambia a través de procesos naturales como la erosión y la sedimentación que provoca el agua. Podemos crear accidentes geográficos y ver como se comporta el agua en ellos, como se muestra en la *Figura 16*. Ver de qué forma podemos conservar el agua y proteger las cuencas hidrográficas. Las posibilidades educativas son enormes, a las que tenemos que añadir el componente motivacional que supone, conviene recordar que todo esto se consigue manipulando arena.

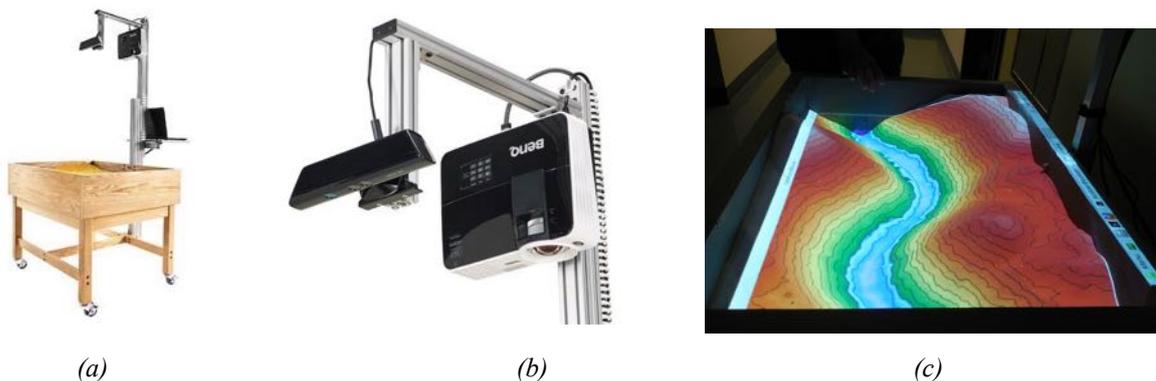


Figura 15. Componentes de SandBox, el arenero de RA. (a) Ilustración del arenero en su conjunto. (b) La torre superior del arenero consiste en un proyector y un Kinect 3D de Microsoft como se muestra en el imagen. (c) La arena dentro del cajón es la que nos sirve para modelar el paisaje como se muestra en esa imagen.



Figura 16. Alumnos trabajando accidentes geográficos y modelando el comportamiento del agua.

4.3.- Ideas factibles aplicables al campo de Geología

4.3.1 Simulación Sistema Solar a escala en RA

Uno de los problemas que encontramos en Primaria a la hora de abordar contenidos como el sistema solar, las estrellas y galaxias, es entender la proporción y el tamaño real que ocupan en el universo. Las explicaciones e imágenes que encontramos en los libros de texto nunca proporcionan una visión correcta del tamaño de los planetas con respecto al Sol, ni las enormes distancias que separan sus órbitas (figura 17 y 18). Esto es un error que se arrastra hasta los estudios superiores y que sería conveniente corregir. Estos errores vuelven a poner de manifiesto la gran dificultad experimental de esta disciplina y los problemas que suponen las enormes escalas especiales. La aplicación que vamos a describir tiene como objetivo aportar una visión correcta de la escala del Sistema Solar, sus dimensiones y proporciones reales que existen entre el Sol y sus planetas. Estos contenidos se incluyen dentro del Bloque 2 y pertenecen al Tercer Ciclo de Primaria.

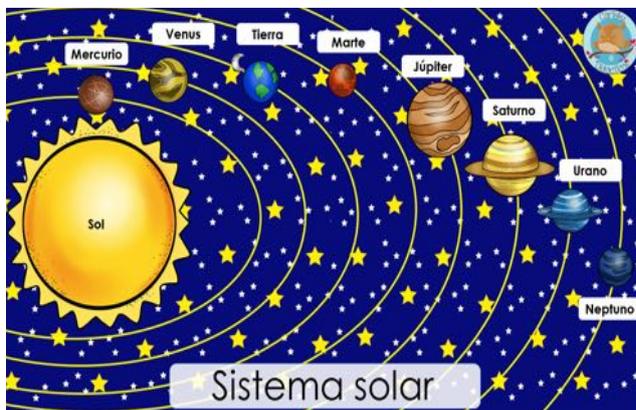


Figura 17. Imagen sacada de cuadernos para trabajar el sistema solar. Muestra las órbitas que se suelen emplear en este tipo de ilustraciones.



Figura 18. Ilustración sacada de "Mi Primer libro del espacio" para educación primaria.

Esta propuesta consiste en realizar una simulación del Sistema Solar mediante Realidad Aumentada para proyectarla en el patio o campo de juego del centro escolar. La simulación tendría las dimensiones de dicho campo, en el que se colocaría el Sol en el centro a un tamaño adecuado, para luego distribuir los planetas en proporción, con las órbitas los más reales posible. La *figura 19* muestra de una manera más fiel las proporciones reales y la *figura 20* nos da una idea del verdadero tamaño de las órbitas. Los alumnos ya poseen referencias espaciales de su campo de juego o patio, por tanto, se trata de extrapolar esas referencias al modelo del Sistema Solar simulado para permitirles deducir el tamaño real de éste. Con un dispositivo móvil (Smartphone o Tablet) se capta la imagen donde queremos que aparezca la simulación y automáticamente aparece en la pantalla del dispositivo. Una vez fijada la imagen 3D, los alumnos pueden moverse para obtener diferentes puntos de vista, así como acercarse o alejarse de esta. Permite la posibilidad de añadir capas de información sobre el Sol, los planetas o incluso, añadir otros objetos como lunas, asteroides, cometas, etc.

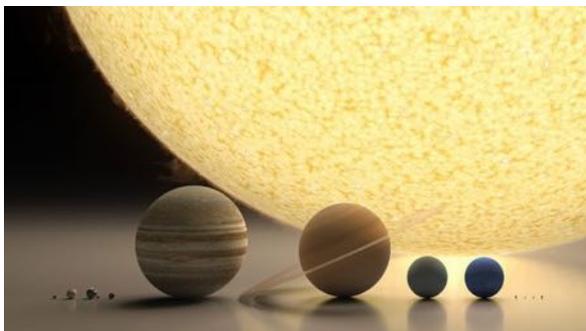


Figura 19. Ilustración digital del artista Roberto Ziche que muestra una aproximación más real del tamaño de los planetas del Sistema Solar.



Figura 20. Recreación de las órbitas del Sistema Solar en el desierto de Nevada realizada por Wylie Overstreet.

Esta aplicación se debe implementar aplicando tecnología del nivel 2 de RA, donde no se utilizan marcadores y sería el propio campo de juego el objeto para disparar la simulación. Podemos ver un ejemplo al aire libre en la *figura 21*, donde se recrea Júpiter y la Tierra a gran tamaño. Sería posible su creación con el el Kit de desarrollo para Realidad Aumentada de Apple (ARKit) que pone a disposición del desarrollador la tecnología necesaria para la simulación. El siguiente paso sería realizar el Sistema Solar en 3D, trabajo que llevaría a cabo un diseñador. Por tanto la viabilidad es perfectamente posible, lógicamente con la conveniente inversión, que debería ser a un nivel superior al propio centro.

Desarrollar esta actividad como complemento a las explicaciones teóricas nos da la posibilidad de experimentar con algo imposible de realizar en la vida real. Resuelve los problemas que acarrear los libros de texto al no ser capaces de transmitir de forma correcta las dimensiones y escalas reales de estos objetos. Por último y no menos importante, imprimen al proceso de aprendizaje una motivación extra difícil de conseguir de otra forma, resultando una experiencia impactante e inolvidable para los alumnos. En la figura 3 se muestra a modo de ejemplo una impresionante imagen del planeta Júpiter en exteriores.



Figura 21. Representación de Jupiter y la Tierra a escala en ambiente exterior. Nos da una idea de cómo luce una implementación del sistema Solar a escalas más reales.

4.3.2.- Catálogo virtual de Rocas, Minerales y Fósiles.

Entre los recursos más utilizados en los laboratorios o clases prácticas de Primaria, en lo que a Geología se refiere, son sin duda los minerales, rocas y fósiles. Estos recursos presentan una serie de problemas asociados a las prácticas de laboratorio que han sido expuestos con anterioridad. Con esta aplicación se pretende dar solución a algunas de estas cuestiones. Uno de los problemas detectados en este ámbito es la falta de estos materiales para su estudio, en muchos casos los centros no cuentan ni siquiera con un laboratorio donde poder examinar o realizar trabajos de reconocimiento visual de estos. A esta falta de recursos, como señalan Perales Palacios & Cañal de León (2000), hay que sumar otras dificultades a la hora de organizar las actividades. Las cuestiones logísticas, como la organización del material y limpieza posterior del laboratorio y medidas de seguridad, son aspectos a tener en cuenta. Nos interesa también acortar el tiempo que transcurre entre las explicaciones teóricas y los ejercicios prácticos.

Esta propuesta consiste en elaborar un catálogo de rocas, minerales y fósiles de manera virtual, mediante el modelado 3D, para su posterior consulta y estudio. Este catálogo podrá utilizarse de manera aislada o integrado en un libro de Realidad Aumentada, como describiremos más adelante. Estos trabajos permiten la posibilidad de realizarlos en grupo, fomentando el carácter participativo. Existen varias posibilidades de llevar a cabo esta idea, que consta principalmente de dos fases:

1. **Modelado 3D de los objetos:** consistente en escanear digitalmente los objetos que vamos a catalogar mediante un software específico para tal tarea. Aquí tenemos varias posibilidades donde elegir. A modo de ejemplo nos decantamos por la aplicación

móvil *Trnio* (figura 22), gratuita y de fácil manejo y aprendizaje. El modelado se realiza fotografiando el objeto desde varios puntos de vista y es la propia aplicación la que se encarga de crear el objeto a partir de éstas. Los materiales pueden ser seleccionados y aportados por el centro o por el docente para su digitalización.

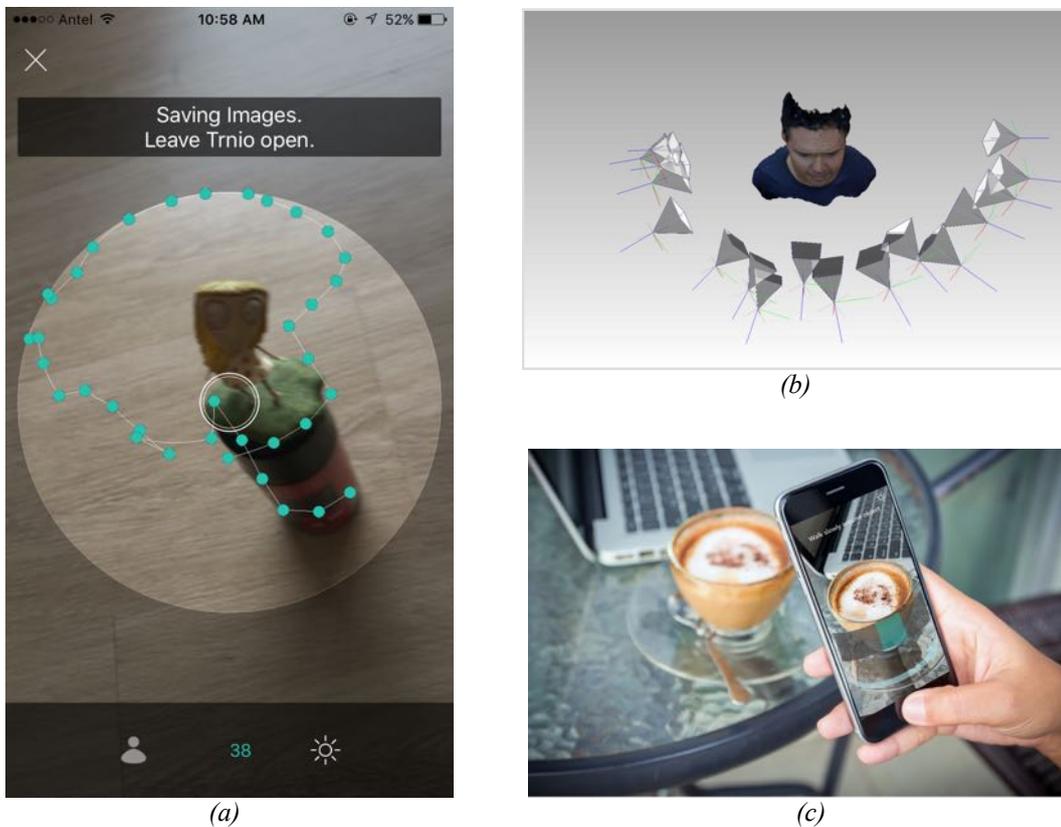


Figura22. Funcionamiento de *Trnio*. La aplicación va marcando con puntos las capturas de imágenes (a). Un esquema de cómo se obtiene el modelado 3D (b). Se puede capturar cualquier objeto desde el móvil con *Trnio* (c).

2. **Elaboración de la aplicación de Realidad Aumentada o Libro Aumentado:** una vez creados los objetos 3D de los materiales, mediante el software específico para implementar la RA, realizamos los marcadores para poder visualizar estos objetos posteriormente. En esta ocasión utilizaremos *Aumentaty Author* (Figura 23). Esta propuesta esta pensada inicialmente para visualizarse en el ordenador de clase o del centro, aunque también se puede utilizar tablets o smartphones si se dispone de ellos. Nuevamente nos surgen aquí dos posibilidades:

- Quedarnos solo en la elaboración de los marcadores, que se utilizarían como “fichas” de un catálogo disponible para su posterior estudio, prácticas, evaluación o repaso. Este catálogo tiene la ventaja de quedar a disposición del centro para reutilizarse en cursos posteriores. También permite la posibilidad de ir incrementándolo con nuevas fichas por parte de nuevos alumnos.

- Realizar un Libro o Apuntes de Realidad Aumentada elaborado por los propios alumnos como complemento del estudio del temario de minerales y rocas. Otra posibilidad es aprovechar el mismo libro de texto que utilizan en clase como marcador para disparar los objetos se utilizaría las mismas ilustraciones del libro, convirtiéndolo en un libro de RA. En la (Figura 24) tenemos un ejemplo realizado por Nina McGowan en el libro Pop-Up AR realizado para el Centro de Arte Contemporáneo de Seattle. Se trata de la chimenea del volcán llamada La Torre del Diablo y nos da una idea del resultado que buscamos.

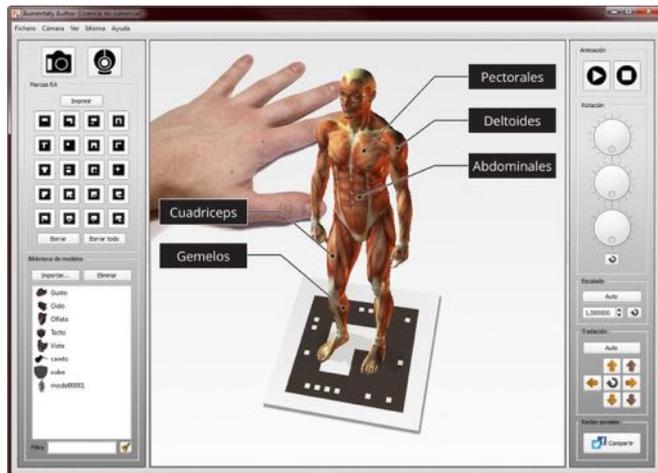


Figura 23. Interface de la aplicación Aumentaty Author. En la imagen podemos ver los controles para posicionar el objeto 3D sobre el Marcador.



Figura 24. La Torre del Diablo, un ejemplo de Libro Aumentado.

El objetivo de esta propuesta es ofrecer una alternativa para trabajar estos contenidos a centros y docentes con pocos recursos, ya que nos permite visualizar de manera virtual estos objetos que de otra manera no sería posible. Resuelve gran parte de la problemática de realizar estas prácticas en un laboratorio como puede ser: la inversión en materiales e instrumentos que se deterioran con el tiempo, el peligro de accidentes con estos materiales, la limpieza posterior a su utilización, etc. La motivación es nuevamente uno de los factores importantes a tener en cuenta en este tipo de propuestas, que aquí resulta un elemento esencial para enfocar la enseñanza de contenidos relacionados con la ciencia de una manera dinámica y entretenida, posibilitando un aprendizaje mucho más significativo. Gazcón et al., (2016) opinan sobre el empleo de libros de RA en el aula que “Gracias a su característica de aumentar la realidad que percibimos, resulta en un complemento sumamente atractivo tanto para mejorar la motivación en los estudiantes como para aprender de manera experimental”. A su vez, Toledo Morales & Sánchez García (2018) cita una serie de estudios donde concluye: “se consideran beneficios tras su uso, como mejora de la motivación, mejor comprensión de los contenidos, mejora en las calificaciones de los temas tratados con las herramientas de RA”. A su vez, el carácter participativo y de trabajo en grupo imprime más valor a la actividad.

Respecto a la viabilidad, existen multitud de ejemplos de libros con Realidad Aumentada ya realizados. La tecnología es completamente gratuita y de fácil aprendizaje. En cuanto al

equipamiento, tan solo se necesita un PC con cámara web. La utilización de tablets o smartphones es totalmente opcional.

5.- Conclusiones

Debido a la dificultad experimental que presenta la Geología como disciplina, más aún en entornos como la Educación Primaria, aplicar una tecnología como la Realidad Aumentada para su enseñanza nos permite reproducir condiciones, situaciones y experiencias que serían imposibles de realizar debido a las escalas y al tiempo en el que se producen los procesos geológicos.

Esta tecnología puede resultar una verdadera alternativa a las practicas de clase, ya sean salidas al campo o practicas en el laboratorio, ya que nos resuelven las dificultades organizativas y logísticas que presentan este tipo de actividades, incluso podemos simularlas en un entorno más controlado, evitando cualquier tipo de riesgo asociadas a estas, permitiendo además el ahorro de recursos, materiales, etc.

Por las ventajas que supone y por sus características, resulta muy interesante su incorporación a Educación Primaria. Permite mejoras en el proceso de enseñanza-aprendizaje y en el desarrollo de las competencias tecnológicas. Con ella podemos lograr un mayor acercamiento o relación entre la teoría y la práctica, reduciendo el tiempo entre la presentación de los contenidos teóricos y su posterior confirmación en el trabajo práctico.

Podemos pues concluir que es una tecnología lo suficientemente desarrollada para aplicarla de manera inmediata en el aula. Existen numerosos recursos donde obtener el material necesario para su utilización, así como incontables aplicaciones para su implementación. Estas aplicaciones están adaptadas a todos los entornos que podemos encontrar en el aula o en el propio centro, ya que permite ejecutarlas tanto en ordenadores de clase como en dispositivos móviles.

Actualmente hay desarrolladas aplicaciones de RA diseñadas específicamente para educación que tratan temas o áreas muy concretas. Pero en la mayoría de los casos son aplicaciones generales que se adaptan con posterioridad a un uso educativo específico. Si bien su uso todavía no está lo suficientemente extendido a nivel de centros. En lo referente a Geología, encontramos aplicaciones muy interesantes y con un gran potencial. La flexibilidad que nos aporta la RA nos permite adaptar su uso, generando así actividades que tratan contenidos muy concretos y que en este área son difíciles de trabajar en el aula.

Si hay un aspecto interesante y que merece la pena destacar es sin duda la mejora de la motivación que puede ofrecer la utilización de esta tecnología en el aula. Supondría una mayor implicación y un comportamiento más activo por parte de los alumnos en su proceso de aprendizaje. Es el propio alumno el que construye el conocimiento, para ello hay que hacerles participe desde el primer momento del proceso, utilizando la aplicaciones de RA y los dispositivos empleados y no convertirlos en meros espectadores de la información que se les presenta. Por otra parte, enriquece los contenidos, mostrando objetos o animaciones 3D,

imágenes o texto que complementan o amplían los contenidos propios del currículum, que de otra forma no sería posible mostrarles. Es posible una mejora en la comprensión de estos y por tanto, de los resultados. Esta motivación no solo se refleja en el alumnado, sino en el propio docente que, aunque supone una mayor elaboración de los materiales, les permite abordar la enseñanza desde otra perspectiva más ilusionante.

Por último, cabe destacar su facilidad de uso, que no precisa de grandes conocimientos para su implementación. En la mayoría de los casos se puede obtener de manera gratuita lo que nos evita un obstáculo importante. La utilización de dispositivos móviles permite un fácil acceso desde cualquier sitio y al estar conectados a la red, la disponibilidad de los contenidos es permanente.

6.- Referencias

- Carina Fracchia, C., Alonso de Armiño, A., & Martins, A. (2015). Realidad Aumentada aplicada a la enseñanza de Ciencias Naturales. *Revista Iberoamericana De Educación en Tecnología Y Tecnológai en Educación*, 1–9.
- Fombona Cadavieco, J., Pascual Sevillano, M. Á., & Ferreira Amador, M. F. M. (2012). Realidad Aumentada, una evolución de las Aplicaciones de los dispositivos móviles. *Píxel-Bit, Revista De Medios Y Educación*, (41).
- Gazcón, N. F., Larregui, J. I., & Castro, S. M. (2016). La Realidad Aumentada como complemento motivacional. *Te & Et*, no. 17.
- Gazcón, N. F., Trippel Nagel, J. M., Urribarri, D. K., Bjerg, E., & Castro, S. M. (2015). Realidad aumentada en exteriores e interiores.
- Gallego Delgado, R., Saura Parra, N., & Nunez Trujillo, P. M. (2013). AR-Learning: libro interactivo basado en realidad aumentada con aplicación a la enseñanza. *Tejuelo Didáctica De La Lengua Y La Literatura. Educación*, 8, 74–88.
- Hernandez Arnedo, M. J. (2013). *Investigando la Tierra y el universo*. (Díada, Ed.). Sevilla.
- Moreno Martinez, N. M., Leiva Olivencia, J. J., & Lopez Meneses, E. (2016). Experiencia formativa en el uso didáctico de la Realidad Aumentada con estudiantes del máster de formación del profesorado en Educación Secundaria en la Universidad de Málaga. *Innovación Educativa*, 265–303.
- Pastrana, A. M. E. (2005). Enseñar Biología hoy en los niveles obligatorios o el reto de una enseñanza motivadora para un aprendizaje significativo en los tiempos que corren. *Encuentros en La Biología*, (100), 2.

- Pedrinaci, E. (2012). Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria, 133–140.
- Pedrinaci, E. (1998). Qué aporta el medio que nos rodea al aprendizaje de las ciencias, 18, 1–2.
- Perales Palacios, F. J. P., & Cañal de León, P. (2000). Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias. (Marfil, Ed.) (2000 ed.). Marfil.
- Prendes Espinosa, C. (2014). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Píxel-Bit, Revista De Medios Y Educación*, (46), 187–203.
- Prieto Horces, R., & Sampedro Villasán, C. (1998). Las ciencias fuera del aula: consideraciones generales, 1–5.
- Rebelo, D., Marques, L., & Costa, N. (2011). Actividades en ambientes exteriores al aula en la Educación en Ciencias: contribuciones para su operatividad. *Enseñanza De Las Ciencias De La Tierra*, 15–25.
- Sanz, J., Zamalloa, T., Echavarría, I., Maguregi, G., Fernandez, M. D., & Casas, N. (n.d.). Utilización de los recursos geológicos como instrumentos educativos en la enseñanza formal . *Diagnóstico del País Vasco*, 719–726.
- Toledo Morales, P., & Sánchez García, J. M. (2018). Realidad Aumentada en Educación Primaria: efectos sobre el aprendizaje. *Revista Latinoamericana De Tecnología Educativa*, 1–14.
- Figura 1: Rodriguez, F (2017). Realidad Aumentada con ARKit. [Figura] Recuperado de <https://iphonea2.com/ios-11-revolucion-realidad-aumentada-video/>
- Figura 2(a): eTroyTronic Blog. [Figura]. Recuperado de <https://etoytronic.com/blog/que-es-la-realidad-virtual/>
- Figura 2(b): Ortiz, F (2013). Esquema RA. [Figura]. Recuperado de <http://aumentada.blogspot.com/2011/05/que-es-la-realidad-aumentada.html>
- Figura 3: Villegas, A (2015). Funcionamiento de la RA . [Figura]. Recuperado de <http://www.e-historia.cl/e-historia/propuesta-para-el-trabajo-de-contenidos-conceptuales-con-uso-de-realidad-aumentada-en-el-aula/>
- Figura 4 : Lupunews (2017). que son los códigos QR. [Figura]. Recuperado de <https://www.flupulo.es/que-es-y-para-que-sirve-el-codigo-qr/>
- Figura 5: Pitboxmedia (2013). Realidad aumentada con animales. [Figura]. Recuperado de <http://www.pitboxmedia.com/realidad-aumentada-con-animales/>

- Figura 6: Carmen Bona, Martin Kon, Lara Koslow, David Ratajczak, and Michael Robinson (2018). Augmented Reality: Is the Camera the Next Big Thing in Advertising?. [Figura]. Recuperado de http://image-src.bcg.com/Images/BCG-Augmented-Reality-Apr-2018-r_tcm9-188072.pdf
- Figura 7: Agencia EFE (2015). Gafas Google Glass para RA. [Figura]. Recuperado de <https://rpp.pe/tecnologia/mas-tecnologia/ya-se-trabaja-en-una-nueva-version-de-google-glass-noticia-791545>
- Figura 8: Sector4 Technologies (2017). [Figura]. Recuperado de <https://www.sector4.in/>
- Figura 9: Thrasymakos (2013). Matemáticas con Aurasma. [Figura]. Recuperado de <https://thrasymakos.wordpress.com/>
- Figura 10: inMediaStudio. Libro de RA para Editorial Santillana. [Figura]. Recuperado de <http://inmediastudio.com/es/proyectos/santillana-ar-app>
- Figura 11: Larngear Technology. Libros de RA. [Figura]. Recuperado de <http://larngeartech.com/>
- Figura 12: Skeel Lee (2013). Modelado de paisajes usando marcadores. [Figura]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=qEFH_r_X7kY
- Figura 13: Build AR. Interface de la aplicación de RA. [Figura]. Recuperado de <https://buildAR.com>
- Figura 14: World Wildlife Fund (2018). Aplicación WWF Free Rivers. [Figura]. Recuperado de <https://www.worldwildlife.org/pages/explore-wwf-free-rivers-a-new-augmented-reality-app>
- Figura 15: UC Davis. Componentes Arenero de RA. [Figura]. Recuperado de <https://arsandbox.ucdavis.edu/>
- Figura 16: UC Davis. Niños probando la simulación en SandBox. [Figura]. Recuperado de <https://arsandbox.ucdavis.edu/>
- Figura 17: Carteles didácticos. Cuaderno para trabajar el Sistema Solar (Primaria). [Figura]. Recuperado de <https://www.imageneseducativas.com/impresionante-cuaderno-trabajar-sistema-solar/>
- Figura 18: Hughes, C (2014). Mi primer gran libro del espacio. [Figura]. Recuperado de <http://tigriteando.com/21-libros-espacio-universo/>
- Figura 19 : Ziche, R (2012). Escala del Sistema Solar. [Figura]. Recuperado de <https://www.robtoziche.com/>
- Figura 20: Overstreet, W (2015). Representación del Sistema Solar a escala en el desierto de Nevada. [Figura]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=zR3Igc3Rhfg>
- Figura 21: O'Brien, L (2017). Jupiter en RA a gran tamaño. [Figura]. Recuperado de <https://blog.xamarin.com/the-solar-system-with-arkit-and-f/>
- Figura 22: Trnio. Aplicación para modelar objetos 3D. [Figura]. Recuperado de <http://www.trnio.com/>
- Figura 23: Aumentaty. Interface de la aplicación Aumentaty Author. [Figura]. Recuperado de <http://author.aumentaty.com/>
- Figura 24: McGowan, N. La Torre del Diablo [Figura]. Recuperado de <http://www.lulu.com/blog/2016/09/27/transforming-art-into-virtual-reality/>