

AR Sandbox: un recurso educativo interactivo para la modelización y simulación de procesos geológicos en el aula

AR Sandbox: an interactive educational resource for modeling and simulation of geological processes in the classroom

ABEL HERRERO HERRANZ, AINHOA GODOY GUAZA, FLAVIU E. HONGU Y ALEJANDRA GONZÁLEZ CAMPESINO

IES Europa. Móstoles (Madrid). E-mail: abelherrero7@hotmail.com

Resumen Con este artículo presentamos un recurso educativo interactivo y tecnológico basado en la realidad aumentada, aplicable a las enseñanzas de las Ciencias de la Tierra. A partir de la construcción de modelos analógicos, creados con composiciones de arena, o con la construcción de maquetas topográficas, se pueden simular distintos fenómenos geológicos como el modelado y evolución del relieve, la hidrología, fenómenos de vulcanismo o riesgos geológicos asociados a distintos procesos, con muchas posibilidades a desarrollar. Se ofrecen aquí distintas actividades que han sido desarrolladas en un centro educativo de secundaria, en distintos niveles educativos, y con gran éxito. El recurso se presenta con un gran potencial para fomentar metodologías activas, a través del aprendizaje interactivo y el aprendizaje basado en proyectos.

Palabras clave: Modelos analógicos, simulador geomático, caja de arena, realidad aumentada, aprendizaje interactivo.

Abstract *Through this paper, we present an interactive and technological educational resource, based on augmented reality, which is applicable to Earth Sciences teaching. Beginning with the construction of analog models created with sand compositions, or with the construction of topographic miniatures, different geological phenomena can be simulated, such as topography modeling and its evolution, hydrology, volcanic phenomena or geological risks associated to different processes, with many other possibilities to develop. Different activities are offered in this article, which have been developed in a secondary school at different age levels with great success. This educational resource is presented with great potential to encourage active methodologies through interactive learning and project-based learning.*

Keywords: *Analog models, geomatic simulator, sandbox, augmented reality, interactive learning.*

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las Ciencias de la Tierra se enfrenta a un gran desafío en la educación actual. Las sucesivas leyes educativas y su tratamiento de la Geología y las Ciencias de la Tierra de una forma más general, motivaron la creación de una comisión que reivindicara la presencia de contenidos en los currículos correspondientes, lo cual quedó reflejado en el artículo “¿Qué geología deberíamos enseñar en la educación secundaria?” (Pedrinaci, 2013) Fruto de ello, se presentaron sendos documentos, de amplio consenso, bajo los títulos de “Alfabetización

en Ciencias de la Tierra” (Pedrinaci *et al.*, 2013) y “Alfabetización en Ciencias de la Tierra y competencia científica” (Pedrinaci, 2013), incluyendo en ellos aquellos conocimientos básicos sobre Ciencias de la Tierra que debería conocer todo estudiante al finalizar la Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Sin embargo, a pesar de la incidencia de esta exitosa iniciativa en la presencia de contenidos y materias en la ley actual (LOMCE), la realidad es bien distinta. Como se ha debatido en los últimos meses (Brusi *et al.*, 2017), incluido en el último Simposio de AEPECT celebrado en Menorca (Duque-Macías y Bernal, 2018), la enseñanza de las Ciencias de la Tierra está

COMPETENCIAS	
SABER	• Conocimiento de base conceptual (conceptos, principios, teorías, datos...)
SABER HACER	• Conjunto de habilidades y destrezas que permitan poner en práctica los conocimientos conceptuales
SABER SER	• Conjunto de actitudes y valores con influencia social y cultural para un desarrollo personal integrados con los componentes anteriores

Tabla I. Relación entre contenidos y competencias clave en relación con la Estrategia Europea para 2020.

lejos de alcanzar una situación óptima.

De esta manera, conviene remarcar que la Estrategia Europea para 2020 se marca un objetivo de crecimiento inteligente, sostenible e integrador. En la realidad educativa, esta estrategia se ve reflejada en la legislación correspondiente a través del desarrollo de contenidos y la adquisición de competencias clave. Para ello, relacionando contenidos y competencias, se deben identificar los componentes descritos en la Tabla I.

Son diversas las metodologías a implementar en el aula que permiten un enfoque integral de la docencia incluyendo los componentes descritos (Saber, Saber hacer y Saber ser).

Con ese fin, se presentan con gran potencial en la mejora de la metodología el uso de modelos analógicos (Álvarez y García, 1996; Murcia y Crespo-Blanc, 2008; Ramón-Sala y Brusi, 2015; Balaguer *et al.*, 2017) que incluyan la integración de la tecnología, como es la realidad aumentada, y la interactividad, permitiendo un aprendizaje significativo en el alumnado. La educación interactiva es el proceso por el cual un maestro enseña esperando que los alumnos participen activamente lanzando preguntas y proponiendo mejoras. Resulta especialmente relevante en la adquisición del conocimiento en materias de ciencias eminentemente, prácticas a través de una metodología científica.

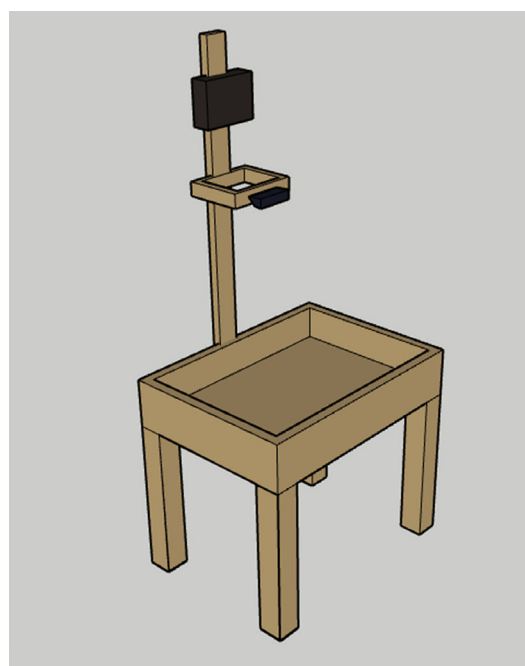


Fig. 1. Modelo para la construcción de la caja de arena.

El recurso educativo que se presenta se denomina AR Sandbox, que son las siglas de Augmented Reality Sandbox, traducido como “caja de arena de realidad aumentada”. Este recurso ha sido desarrollado por científicos del centro KeckCAVES la Universidad de California (<https://arsandbox.ucdavis.edu/>; recurso web en inglés). AR Sandbox es una forma lúdica y dinámica de aprender geología en tiempo real en la cual el alumno es protagonista directo de su propio proceso de aprendizaje.

AR Sandbox: la caja de arena

AR Sandbox (caja de arena de realidad aumentada) es un simulador geomático de realidad aumentada que consiste en un soporte al cual se ancla un sensor de profundidad, como por ejemplo una cámara Kinect de las usadas en videoconsolas, y un proyector a color, orientados ambos hacia la superficie de trabajo sobre la que se llevarán a cabo las simulaciones. En el contenedor de la estructura construida, como puede verse en la representación (Figs. 1 y 2), se coloca la arena con la que se trabajará. Se recomienda el uso de arena de sílice fina debido a la facilidad con la que se pueden modelar relieves más detallados y a la capacidad de construir estructuras más estables cuando se humedece este tipo de arena.

El sensor de profundidad (cámara Kinect), conectado a un ordenador, detecta las distancias de la superficie de trabajo respecto a su posición, transmitiendo esos valores, que son interpretados mediante un software gratuito, de código abierto, obtenido de los repositorios de la web de la Universidad de California. Dicho software asigna un código de colores correspondiente, de forma que en tiempo real se recrea un mapa topográfico que es proyectado sobre la superficie. Estas simulaciones pueden consistir en el modelado del relieve en tiempo real, la recreación de fenómenos que pueden generar riesgos geológicos, simulaciones de erupciones volcánicas, simulaciones de tsunamis e inundaciones, etc... Toda la información referente a los procesos de instalación y calibración del software pueden encontrarse en:

<https://arsandbox.ucdavis.edu/instructions/>

El programa tiene numerosas posibilidades a través de la programación del software. De muchas de ellas se puede encontrar información en el enlace web. Entre otras cosas, es posible modificar la cota de altura para la interpretación y proyección del modelo topográfico, lo que permite, por ejemplo, realizar simulaciones para estudiar la subida o bajada del mar, como se detalla más adelante en alguna de las actividades descritas. El programa incluye también la posibilidad de simular diversos fluidos. Para ello, a través de la interacción con el software, se debe hacer un gesto con la mano, extendiendo los dedos para ocupar una mayor área, siempre por encima de la zona donde se quiera provocar las precipitaciones, de manera que el sensor detecte la mano. Esto provocará la generación de fluido en esa zona concreta. Entre estos fluidos están incluidos agua, lava y un fluido acuoso estático sin olas ni reflejos, siendo posible además modificar los valores de viscosidad de esos fluidos, opción interesante para simular distintos tipos de magmas o el movimiento de glaciares. Igualmente, al ser un programa de código

abierto, existe la posibilidad de crear y programar fluidos personalizados por parte del usuario, como, por ejemplo, petróleo para simular distintos impactos relacionados.

Entre otras herramientas que ofrece el programa, destaca la posibilidad de poder generar y secar fluidos de manera local, al colocar el puntero del ratón en la zona concreta deseada de la superficie de trabajo. Para simular este proceso, el software debe configurarse activando la opción "Manage water locally". Esto permite simular precipitaciones en zonas muy concretas del modelo construido o la generación de superficie terrestre a partir de la solidificación de lava en una erupción o en contacto con el agua, pudiéndose elevar a su vez el nivel de la superficie modelando la arena de la caja.

A partir de esas múltiples opciones que ofrece el software se han explorado en el aula diversas aplicaciones de AR Sandbox como recurso educativo desde diferentes enfoques, con propuestas para alumnado de diversos niveles, a partir del modelado con la arena seca y humedecida, con simulaciones a partir de maquetas topográficas e incluso como recurso educativo terapéutico adaptado para alumnado con necesidades específicas como son el grupo de alumnos TEA (Trastorno del Espectro Autista) del centro. Se exponen a continuación con mayor detalle algunas de estas actividades.



Fig. 2. Resultado final de la caja de arena construida.

DESARROLLO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DIDÁCTICAS

Actividad 1: Creación de cuenca hidrográfica y regulación de caudales

En esta actividad, se plantea al alumnado la creación de una cuenca hidrográfica sencilla con la arena humedecida, debido a que de esta manera resulta más moldeable. El objetivo de la actividad es estudiar la evolución de caudales tras simular precipitaciones de diversa intensidad en las cabeceras de los valles. Tras una primera simulación, se estudia la regulación de caudales mediante la construcción de presas en distintos puntos de la cuenca. Todo ello permite, a su vez, estudiar y evaluar riesgos geológicos asociados, por ejemplo, situando en algún punto de la cuenca una localidad. El objetivo de la actividad es estudiar fenómenos geológicos con un enfoque sistémico con aplicaciones en la ordenación del territorio (Bach y Márquez, 2017). En la caja, se comienza creando un ejemplo de cuenca hidrográfica, como la que puede verse en la figura 3. Resulta importante, para una mejor visualización y simulación del drenaje en una cuenca hidrográfica, modelar varios afluentes a una misma cuenca principal con un único punto de desembocadura por donde fluya el caudal total de la cuenca (Fig. 3). Una vez construido el modelo, se simula y estudia la evolución de los caudales en distintos puntos de la cuenca hidrográfica a partir de la simulación de episodios de distinta intensidad de precipitación en las zonas de cabecera de los distintos valles. Conviene prestar especial atención al tiempo e intensidad de drenaje de la cuenca, la morfología y características propias de cada afluente y del río principal (estudio de pendiente, cauce del río, anchura de cada valle...) y la evolución del caudal en el punto de desagüe de la cuenca. A partir de estas primeras simulaciones, se plantea a los alumnos cuestiones relacionadas con riesgos e impactos en la zona estudiada, y posibles medidas a tomar para regular los caudales de la cuenca, como puede ser la construcción de presas en distintos puntos de la red hidrográfica representada.

Fig. 3. Cuenca hidrográfica con tres afluentes y un punto principal de desagüe.

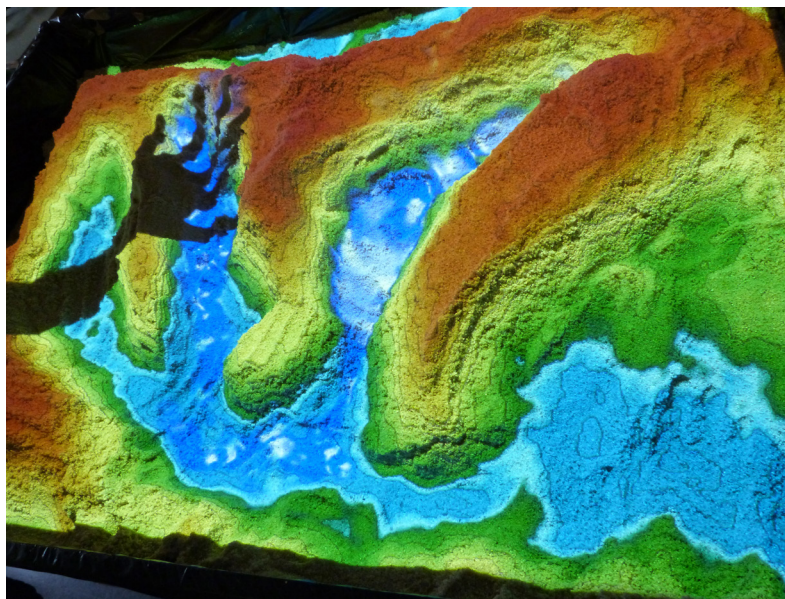
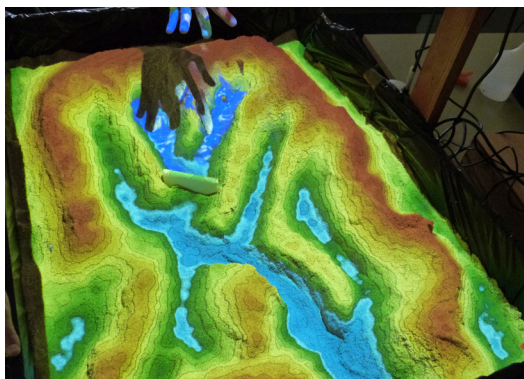


Fig. 4. Cuenca hidrográfica en la que se ha simulado un embalse para estudiar la hidrología a partir de precipitaciones.



En la figura 4 puede observarse el mismo modelo de cuenca hidrográfica, sobre el cual se ha construido una única presa en uno de los afluentes al cauce principal. Para construir la presa y simular la regulación de caudales a partir de embalses se recomienda usar piezas de cartón o madera de al menos 1 cm de grosor para que sean detectadas correctamente por el programa. Como en el caso anterior, al simular precipitaciones en las cabecezas de los valles se podrá observar en esta ocasión el almacenaje de agua en el valle donde se ha construido el embalse, y un menor caudal en el punto de desagüe de la cuenca tras los periodos de precipitaciones intensas (Fig. 4).

Para seguir con el planteamiento de la regulación de caudales, se propone simular situaciones alternativas reutilizando el mismo modelo de cuenca. Como puede apreciarse en la figura 5, sobre el modelo se han situado en esta ocasión cuatro presas en distintos afluentes de la cuenca principal, lo que, tras simular precipitaciones, permite observar cómo se rellenan pequeños embalses en

Fig. 5. Cuenca hidrográfica con cuatro embalses para regular los caudales tras episodios de precipitación.

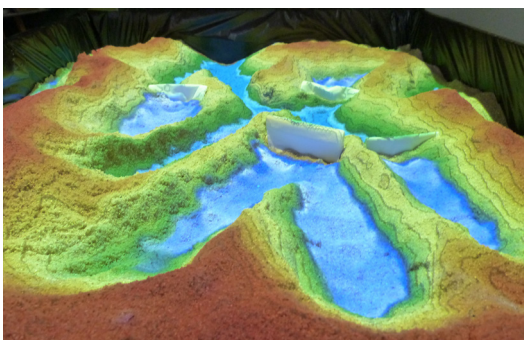
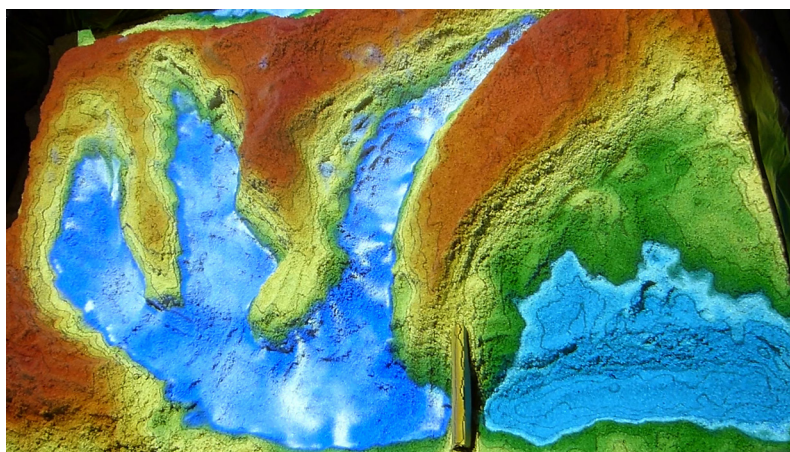


Fig. 6. Simulación de la regulación de caudales con un único embalse.



los cauces correspondientes, reduciéndose mucho el aumento rápido de caudal en el cauce principal. Por último, se ha simulado la construcción de una gran presa en una situación próxima al punto de desagüe de la cuenca (Fig. 6). En esta ocasión, tras la simulación de episodios intensos de precipitación se observará un incremento importante del área inundada por un embalse de grandes dimensiones. Se recomienda, a partir de esta simulación, valorar cuestiones de las distintas situaciones simuladas como las ventajas de regular los caudales, el impacto comparado de esa regulación mediante distintas alternativas, la ocupación del territorio y las áreas inundadas o posibles aprovechamientos como recursos del agua.

Actividad 2: Vulcanismo y creación de superficie terrestre

El desarrollo de esta experiencia se fundamenta en la creación de superficie terrestre a partir de la solidificación de lava tras una erupción volcánica, modelando un volcán en uno de los extremos de la caja de arena, para poder abarcar el mayor terreno posible al crearse de manera gradual nueva superficie. Además de modelar el volcán, se recomienda cambiar la viscosidad del fluido adaptándose al proceso geológico a simular.

El objetivo es estudiar la creación de superficie al contactar la lava con el mar en zonas costeras, evaluando la formación de islas a través de erupciones volcánicas y los posibles riesgos geológicos que podrían darse.

Para su desarrollo, se comienza creando una isla volcánica en uno de los extremos de la caja de arena (Fig. 7), amontonándola, previamente humedecida para mejores resultados, formando un cráter en lo

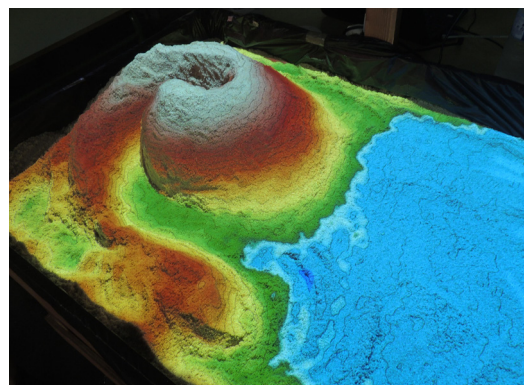


Fig. 7. Modelo de volcán creado en la caja de arena.

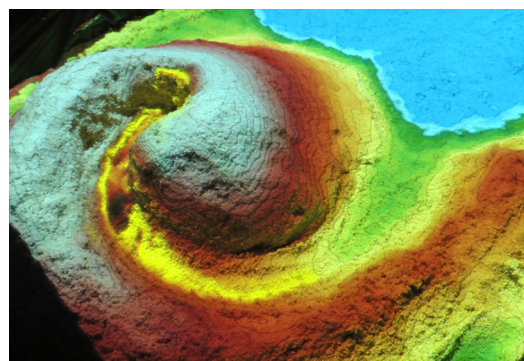


Fig. 8. Simulación de erupción volcánica.

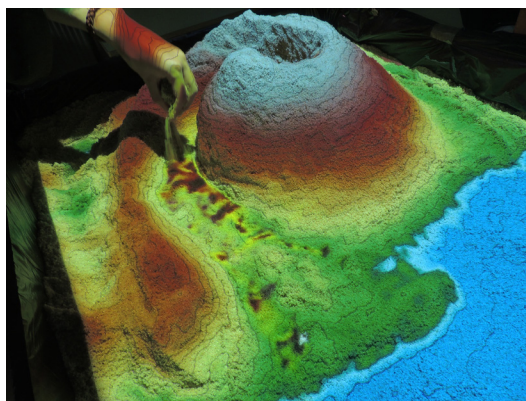


Fig. 9. Simulación de solidificación del magma en contacto con el mar y a lo largo de la colada de lava.

alto de la superficie. A lo largo de la ladera del volcán recreado, se construye un canal poco profundo por el que fluirá la lava hacia la zona costera deseada. A continuación, se realiza la simulación de una erupción volcánica, utilizando el gesto con la mano como en el caso de la lluvia explicado anteriormente, o bien utilizando el puntero del ratón para precisar el lugar donde simular la aparición de lava, hasta que esta se desborda y comienza a fluir, deslizándose por el canal realizado previamente (Fig. 8). Con el uso del puntero del ratón sobre la zona en la que se deposita la lava, se va simulando la solidificación en contacto con el agua usando los comandos pertinentes.

Al mismo tiempo, mientras se realiza este paso, se debe ir depositando arena en el lugar donde se encontraba la lava anteriormente y así simular la solidificación de esta (Fig. 9), creando nueva superficie inmediatamente. A medida que se produce la solidificación de la lava, se sigue simulando la producción de esta en el cráter del volcán, para ir formando más terreno hasta conseguir el resultado deseado. Una vez creada suficiente superficie para simular el proceso deseado, se procede a solidificar el resto de lava que queda en la superficie del volcán hasta llegar al cráter, repitiendo el proceso de solidificación anteriormente explicado. Por último, se continúa con la solidificación total del magma del cráter, finalizando así la simulación del proceso eruptivo (Fig. 10). A partir de la simulación, se recomienda evaluar riesgos asociados a la erupción volcánica, valoración y propuesta de medidas preventivas y correctoras, y su estudio a través de nuevas simulaciones con AR Sandbox.

Actividad 3: Simulación a partir de maquetas

Con el objetivo de explorar las posibles aplicaciones de la herramienta AR Sandbox, se construyeron maquetas a distinta escala, ajustándolas a las dimensiones de la caja de arena, de distintos lugares reales, representando distintos contextos geológicos a simular. Para la construcción de maquetas se aplicó un método como el descrito por Hansen y Arroyo (1991), aplicándose como complemento, para conseguir un resultado más homogéneo y ajustado al relieve real, una capa superior de papel mezclado con cola blanca. Para el trabajo con maquetas en AR Sandbox se recomienda extraer toda la arena del contenedor, e introducir la maqueta, ajustando las medidas al mis-

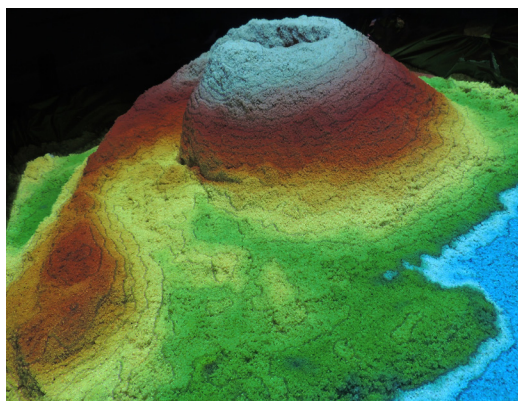


Fig. 10. Resultado final tras los procesos de solidificación de lava tras la erupción volcánica simulada.

mo. De esta forma, se asegura la horizontalidad en la base de la maqueta y una mejor interpretación del relieve y simulación por el software. Resulta de gran aplicación trabajar con maquetas cuando se pretende simular distintos impactos en situaciones reales. En la figura 11 y la figura 12 pueden verse dos maquetas de relieves montañosos que representan el valle de Lozoya, situado en la vertiente sur de la Sierra de Guadarrama, y el valle glaciar de Pineta, situado en el

Fig. 11. Maqueta topográfica del valle de Lozoya, del Sistema Central, utilizada para estudiar la hidrología de la zona en la caja de arena.

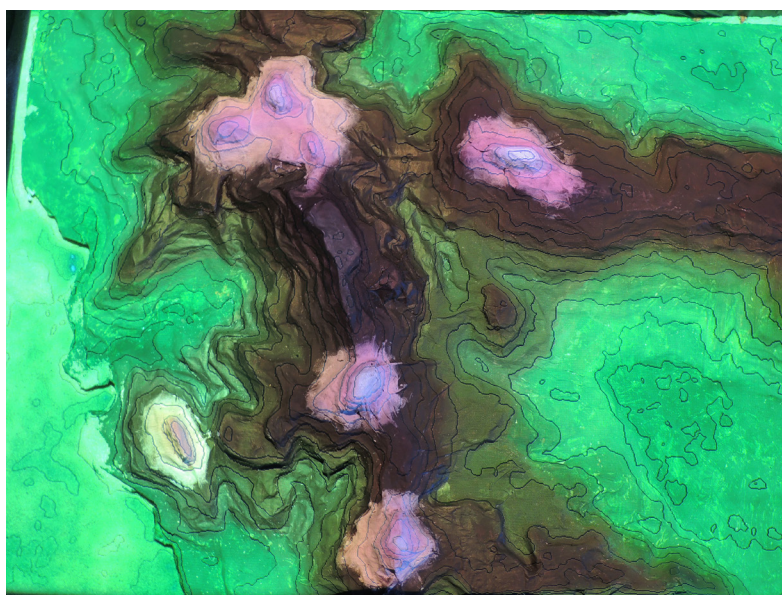


Fig. 12. Maqueta topográfica del valle de Pineta, con interpretación de la topografía en la caja de arena.

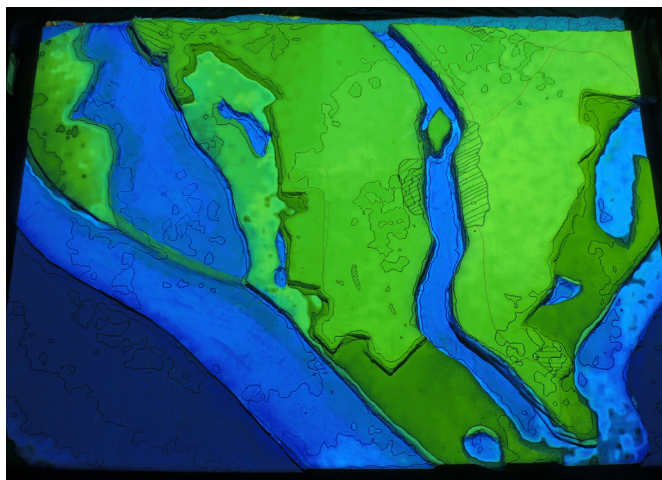


Fig. 13. Maqueta topográfica del Delta del Ebro, sobre la que se simularon distintos procesos de sedimentación y dinámicas fluviales y costeras.

Pirineo oscense e incluido, en su cabecera, en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. En ambos casos, se simuló la red de drenaje tras precipitaciones, su posible regulación, la extensión y la evolución de glaciares y la superficie cubierta de nieve, realizándose dicha simulación a partir del cambio de representación de valores altitudinales en el software. Además, en el caso de la maqueta del valle de Pineta, se analizaron los riesgos asociados a la posible aparición de aludes, como ocurrió en el invierno del año 2017 tras unas intensas nevadas (Andrés *et al.*, 2000; Leo y Cuchi, 2018).

Para el estudio de fenómenos volcánicos se construyeron dos maquetas que representaban el volcán Teide, de la isla de Santa Cruz de Tenerife, y la isla de Stromboli (Italia). La posibilidad de simular la emisión de lava en una erupción volcánica cambiando valores de viscosidad del fluido otorga un gran potencial a la herramienta AR Sandbox a la hora de evaluar riesgos volcánicos asociados a corrientes de lava (López-Ruiz y Cebria, 2015), así como su potencial impacto sobre la población y el estudio de posibles medidas de prevención, actuación y ordenación del territorio. Además, se puede evaluar, a partir del uso de estas maquetas sobre lugares concretos, la evolución en la creación de superficie terrestre, como se trató en la descripción de

Fig. 15. Simulación de los efectos de la subida del nivel del mar y la subsidencia en la isla de origen volcánico de Moorea.

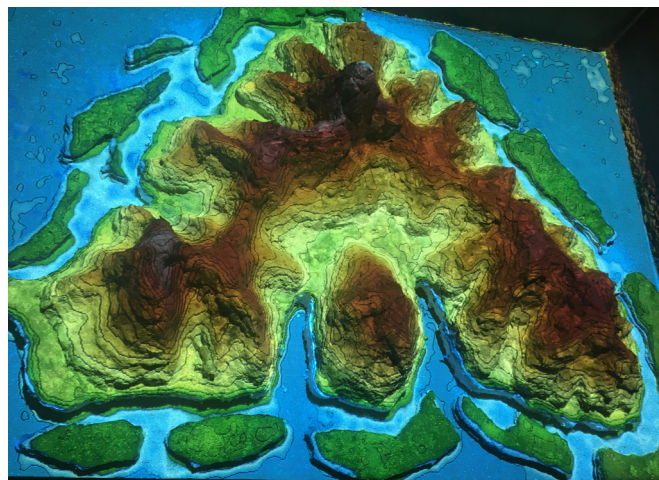
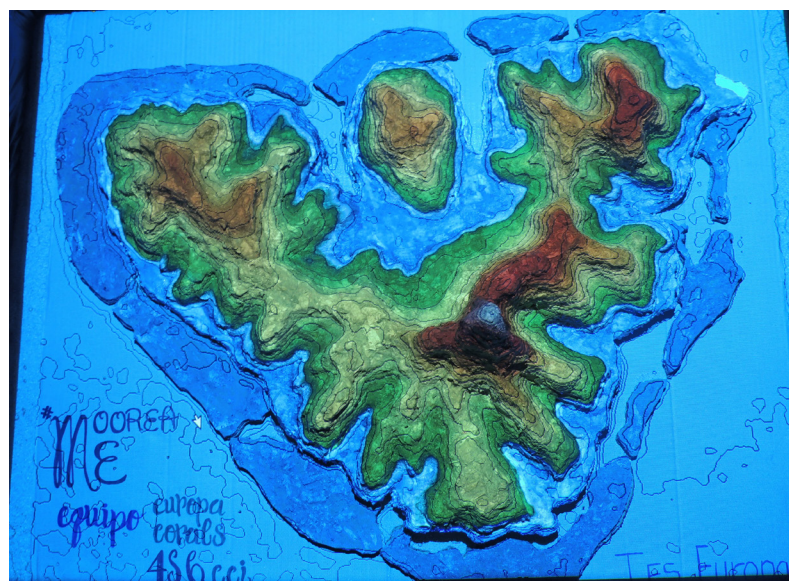


Fig. 14. Representación de la topografía y batimetría de la isla de Moorea a partir de su maqueta topográfica y el uso de AR Sandbox.

la actividad anterior, simulando situaciones similares a las vividas en el último episodio de vulcanismo del Kilauea (<https://www.usgs.gov/news/k-lauea-volcano-erupts>).

Mediante el uso de maquetas también se trabajaron contenidos relacionados con dinámica fluvial en desembocaduras y dinámica costera, utilizando como ejemplo el Delta del Ebro (Fig. 13). Un ejemplo como este supone una aplicación en la que se puede modelar y simular distintas situaciones sobre una maqueta con un relieve muy atenuado, utilizando arena para ir rellenando distintos lugares a modo de simulación de los procesos de sedimentación. De esta forma, el alumnado puede evaluar el dinamismo de las corrientes fluviales en relación con el ambiente marino donde desembocan, y la evolución de los cauces y zonas de sedimentación en tiempo real.

En la exploración de las múltiples aplicaciones de la AR Sandbox, y en el contexto de la participación de un grupo de alumnos en un concurso convocado por el Instituto de Ciencias del Mar del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (ICM-CSIC), se trabajó a partir de una maqueta en el estudio de la batimetría y distribución espacial y evolución temporal de los arrecifes de coral de la isla de Moorea (Polinesia francesa). Para este caso concreto, la maqueta se realizó elevando la cota cero, de forma que por debajo de la misma se representaron los arrecifes de coral y los fondos de los mares someros entre las barreras coralinas y la línea de costa. La batimetría, con sus distintas profundidades, queda representada con una escala de colores mediante la proyección de la topografía, como puede observarse en la figura 14.

Resultó de gran interés el empleo de este modelo para simular la posible evolución de la batimetría de la isla y evaluar su impacto sobre los arrecifes de coral como resultado de la subsidencia de una isla de origen volcánico como Moorea hasta formar un atolón (Neall y Trewick, 2008) y de la elevación del nivel del mar según distintos modelos predictivos como consecuencia del cambio climático (Fig. 15). Una explicación más detallada de este

modelo y su simulación se puede encontrar en el vídeo realizado por los alumnos titulado “Moorea, historia de una maqueta topográfica”: <https://www.youtube.com/watch?v=bcAWNohiEko&t=35>.

EXPERIENCIA DIDÁCTICA Y VALORACIÓN

El recurso interactivo AR Sandbox se implementó en la práctica docente del departamento de Biología y Geología del IES Europa (Móstoles, Madrid) para el desarrollo de distintos contenidos de niveles diferentes. Se describen a continuación las actividades que se llevaron a cabo y la valoración de cada una de ellas.

Biología y Geología 1º ESO

Dentro de la asignatura de Biología y Geología en el curso 1º de ESO, se utilizó AR Sandbox en una actividad práctica en la unidad didáctica “Hidrosfera”. La actividad, titulada “Embalses y ríos”, abordaba los contenidos de “gestión y uso sostenible de los recursos hídricos” y “concienciación y reflexión sobre los problemas de la gestión del agua en el entorno más cercano”, con el objetivo de simular los efectos de la precipitación en una cuenca hidrográfica y estudiar métodos de regulación de caudales. La actividad, que se corresponde con la actividad 1 descrita en este mismo artículo, se llevó a cabo en varias sesiones con cuatro grupos distintos, un total de unos 120 alumnos, divididos en subgrupos de 15.

Valoración: la actividad resultó de gran interés para el alumnado, por su enfoque interactivo y lúdico, y adecuada para el desarrollo de los contenidos a partir del planteamiento de cuestiones y problemáticas por el profesorado. Sin embargo, las dimensiones de la caja de arena dificultaron la participación del alumnado, por lo cual se aconseja trabajar con grupos más reducidos a fin de que los alumnos puedan tener una mayor participación.

Cultura Científica 1º Bachillerato

Con el alumnado de 1º de bachillerato, y dentro de la asignatura optativa de Cultura Científica, se trabajaron parte de los contenidos de “Estructura, formación y dinámica de la Tierra”, dentro del bloque “La Tierra y la vida”, con una metodología de aprendizaje basado en proyectos a partir de la construcción de maquetas topográficas para simular distintos procesos geológicos basados en situaciones reales, tal y como se describe en la actividad 3, simulación a partir de maquetas. Los 33 alumnos de la clase se dividieron en grupos reducidos de 5-6 personas. A cada uno de los grupos se le asignó un guion sobre un lugar de interés geológico de distintas características (formación de islas volcánicas, glaciares, montañas, costas...) sobre el que trabajar el origen y formación del mismo, particularidades propias, problemática pasada, actual y futura y riesgos geológicos. Para todos los lugares, se pedía la realización de una maqueta topográfica, partiendo para su elaboración de mapas topográficos a escala proporcionados por el profesorado, con la que utilizar el recurso AR Sandbox para la presentación del trabajo y simulación de distin-

tos procesos geológicos relacionados con el lugar correspondiente.

Al proyecto se dedicaron un total de diez sesiones lectivas durante cinco semanas consecutivas, dedicando las siete primeras para la construcción de las maquetas y su calibración y simulación con AR Sandbox, y las tres últimas sesiones a la presentación de los proyectos por parte de los distintos grupos.

Valoración: entre el alumnado, la valoración general de la actividad, debatida en el aula tras la finalización de la misma, fue positiva. Sin embargo, la limitación de recursos en el aula para la realización de las maquetas y la ausencia de recursos tecnológicos para poder realizar búsqueda de información y elaborar la parte escrita de los proyectos, con el consecuente trabajo a realizar fuera del aula, fueron aspectos valorados negativamente. En el desarrollo de la actividad resultó compleja la organización y distribución de trabajo por el elevado número de alumnos y por la dificultad de ajustar las tareas a la duración de las sesiones (50 minutos). En el trabajo con AR Sandbox para la simulación con las maquetas, la principal dificultad fue la necesidad de calibrar y configurar el software a las características propias de cada proyecto. Si bien la configuración se puede guardar una vez realizada, requiere un tiempo considerable para un ajuste óptimo a cada maqueta. Como valoración global de la actividad, teniendo en cuenta posibles propuestas de mejora en el diseño de la misma, trabajar por proyectos, con un recurso interactivo como el que se muestra, y con alumnado de niveles superiores en una asignatura más dinámica como es Cultura Científica, se presenta como un enfoque metodológico adecuado para fomentar la motivación en el aprendizaje de contenidos por el alumnado.

CONCLUSIONES

La construcción de modelos analógicos, ya sea a través de la caja de arena o mediante la construcción de maquetas topográficas con las que interactuar a tiempo real a través de esta aplicación de realidad aumentada, se ha mostrado como un recurso educativo muy atractivo y con gran aceptación entre el alumnado, aumentando la motivación e interés por desarrollar contenidos geológicos en el aula.

Este recurso educativo puede emplearse en los distintos niveles educativos de la enseñanza adaptando la complejidad de los contenidos planteados a las características propias del alumnado. Así mismo, se muestra como un recurso idóneo para implementar metodologías activas en el proceso de enseñanza, como el aprendizaje interactivo, a la vez que permite un fomento del uso de las nuevas tecnologías. Resulta igualmente apropiado como recurso para fomentar el aprendizaje basado en proyectos, especialmente en cursos superiores, donde se puede diseñar distintos planteamientos sobre contenidos geológicos al alumnado para su investigación, diseño de modelos y simulación en la caja de arena.

A partir de las distintas experiencias desarrolladas en el aula se ha considerado más apropiado iniciar las actividades a partir de una serie de cuestiones que despierten el interés y curiosidad en el alumnado, para que a partir de esos planteamientos sean los propios alumnos los que construyan los modelos sobre los que trabajar con las distintas simulaciones.

Para trabajar en un modelado que permita recrear situaciones concretas, resulta conveniente humedecer previamente la arena, para así poder construir los modelos con una morfología más definida. Cuando se trata de simular la aparición de fluidos, recomendamos realizarlo de forma ordenada y sincronizada para un mejor funcionamiento del software e interpretación de los fenómenos simulados.

Respecto a la caja de arena, resaltamos la facilidad de conseguir los recursos necesarios para su construcción e instalación a partir de los manuales realizados por los desarrolladores del software. En cuanto al diseño de construcción, sugerimos la posibilidad de instalar un soporte para el ordenador en la propia estructura para así facilitar el traslado y movilidad del recurso. Se recomienda proteger la madera, si es ese el material de construcción elegido, frente a la humedad de la arena e incorporar alguna medida que facilite el vaciado de la misma del recipiente, como puede ser un lateral de la caja que se pueda quitar. También se puede instalar un lateral de la caja con un material transparente (metacrilato, cristal) si se desea utilizar AR Sandbox como recurso para abordar contenidos de Estratigrafía e interpretación de cortes geológicos.

Destacamos también el alto interés despertado entre el alumnado a partir de la utilización de la caja de arena, recibiendo múltiples propuestas de trabajo por su parte relacionados con distintas situaciones geológicas asociadas a diversos episodios de actualidad. Por todo ello, animamos a todos los docentes a incorporar este recurso educativo en la práctica pedagógica en las materias relacionadas con las Ciencias de la Tierra.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este recurso educativo no habría sido posible sin el sincero apoyo de todo el personal del centro, especialmente el equipo directivo, con Marisa y Belén a la cabeza, y los compañeros del departamento de Biología y Geología, con especial mención a Elena Pérez por toda su colaboración. Merecen nuestro reconocimiento todos los alumnos que de una forma u otra han participado, usado y disfrutado con la caja de arena y nos han motivado a seguir mejorando y desarrollando sus múltiples aplicaciones. Especial agradecimiento dedicamos a los alumnos de Cultura Científica de 4º curso que incorporaron el uso de esta herramienta en su proyecto de investigación en el marco del concurso MooreaMe del ICM-CSIC y nos permitieron explorar nuevas posibilidades y usos.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, R. M. y García, E. (1996). Los modelos analógicos en geología: implicaciones didácticas. Ejemplos relacionados con el origen de materiales terrestres. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4.2., 133-139.

Andrés, A. J., Peña, J. L., Chueca, J., Zabalza, J., Lapeña, A. y López, I. (2000). Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés: metodología y resultados. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30. 119-134.

Bach, J. y Márquez, C. (2017). El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25.3, 302-309.

Balaguer Agut, L., Orbís Crespo, M. J., Gómiz Garijo, J. y Aparici Seguer, V. (2017). Un modelo analógico aplicado a la enseñanza de las Ciencias de la Tierra: simulación de un vertido en una plataforma petrolífera oceánica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25.2, 184-190.

Brusi, D., Alonso-Zarza, A. M., Ortega, L. y Regueiro, M. (2017). La situación crítica de la Geología en el Bachillerato. La presencia e implementación de los contenidos geológicos en el sistema educativo español. *Tierra y tecnología: revista de información geológica*, 50.

Duque-Macías, J. y Bernal, A. P. (2018). XX Simposio sobre Enseñanza de la Geología. Libro de Actas.

Hansen Machín, A. y Arroyo Doreste, A. (1991). La construcción de maquetas en la escuela: la representación del relieve de canarias. *El Guiniguada*, 2, 339-356.

Leo, E. y Cuchi, J. A. (2018). Los aludes en el Alto Aragón: tipología, zonas de peligro, daños y víctimas. *Lucas Mallada*, 19. 233-278.

López-Ruiz, J. y Cebriá, J. M. (2015). Volcanismo y Tectónica de placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.1, 12-23.

Murcia López, M. I. y Crespo-Blanc, A. (2008). La formación de océanos y cadenas de montañas a partir de modelos analógicos: maquetas y nuevos materiales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.2, 173-177.

Neall, V. E. y Trewick, S. A. (2008). The age and origin of the Pacific islands: a geological overview. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 363(1508), 3293-308.

Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G. R., Barreras, J. L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J. C., Fernández-Martínez, E. M., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J. M., Pascual, J. A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L. Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 117-129.

Pedrinaci, E. (2013). ¿Qué geología deberíamos enseñar en la educación secundaria? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 114-116.

Pedrinaci, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra y competencia científica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 208-214.

Ramón-Sala, L. y Brusi, D. (2015). Erupciones en el laboratorio. Modelos analógicos de peligros volcánicos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.1, 96-106.

Más información adicional de nuestro trabajo en: <https://fl4v1u5.wordpress.com/my-software/sandbox/> ■

Este artículo fue recibido el día 12 de noviembre de 2018 y aceptado definitivamente para su publicación el 8 de enero de 2019.