

## **Realidad aumentada en química: Experiencia en educación secundaria a través de Elements 4D**

### **Augmented Reality in Chemistry: An Experience in Secondary Education Through Elements 4D**

Noelia Margarita Moreno Martínez<sup>1</sup>, Rosario Franco-Mariscal<sup>2</sup>, Antonio Joaquín Franco-Mariscal<sup>3\*</sup>

Nota del autor

Noelia Margarita Moreno Martínez, Rosario Franco-Mariscal, Antonio Joaquín Franco-Mariscal

<sup>1</sup> Universidad de Málaga. Málaga. Spain.

<sup>2</sup> IES Francisco Romero Vargas. Jerez de la Frontera, Cádiz, Spain.

<sup>3\*</sup> Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Málaga. Málaga. Spain. Dirección

postal institucional: <sup>1 3</sup> Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Málaga

Campus de Teatinos s/n. 29071-Málaga (Spain)

**Resumen:** A pesar de su potencialidad, las tecnologías emergentes como la Realidad Aumentada han sido poco exploradas en la enseñanza de las ciencias. Este trabajo describe una experiencia con este recurso a través de la aplicación móvil *Elements 4D*, realizada con 46 estudiantes españoles de secundaria (15-17 años) que cursaban la materia de Química. Los objetivos de investigación están orientados a valorar las posibilidades educativas que ofrece *Elements 4D* para favorecer el aprendizaje de los elementos químicos como adquisición de conocimiento científico, así como a conocer las percepciones del alumnado acerca de la utilidad didáctica de la herramienta para mejorar su aprendizaje. Entre los resultados más relevantes se constata un avance en la descripción de las características de los elementos tras usar la aplicación, así como una actitud positiva ante esta tecnología.

Palabras clave: realidad aumentada; mobile-learning; elementos químicos; educación secundaria, España.

Abstract: Despite its potential, emerging technologies such as Augmented Reality (AR) have largely been unexplored in science education. This paper describes an experience with this resource through the mobile application *Elements 4D*, carried out with 46 Spanish secondary education students (15-17 years) who were enrolled in a chemistry course. The aims of this research are to value the educational possibilities offered by the *Elements 4D* to improve learning of the chemical elements as acquisition of scientific knowledge, and on the other hand, to know the secondary school students' perceptions about

---

<sup>1</sup> Universidad de Málaga. Málaga. Spain.

<sup>2</sup> IES Francisco Romero Vargas. Jerez de la Frontera, Cádiz, Spain.

<sup>3\*</sup> Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Málaga. Málaga. Spain.

Dirección postal institucional: <sup>1 3</sup> Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Málaga  
Campus de Teatinos s/n. 29071-Málaga (Spain)

Contacto: [antoniojoaquin.franco@uma.es](mailto:antoniojoaquin.franco@uma.es)

the educational utility of this tool to improve their learning. Among the most relevant findings, we found a progress in the description of the characteristics of the different elements after using AR app, as well as a positive attitude towards this emerging technology.

Keywords: augmented reality; mobile-learning; chemical elements; secondary education; Spain.

## **Augmented Reality in Chemistry: An experience in Secondary Education through Elements 4D**

### **Introducción**

Atendiendo a las demandas actuales y futuras de la sociedad del conocimiento y los nuevos modelos de aprendizaje del alumnado de la nueva era digital, es una necesidad realizar un replanteamiento didáctico, curricular y organizativo con un carácter innovador en los centros educativos.

Hoy en día, podemos constatar que las nuevas generaciones de niños, adolescentes y jóvenes se muestran muy interesadas y receptivas ante las novedades tecnológicas que están surgiendo en el ámbito de la educación y el entretenimiento. Este colectivo además de estar acostumbrado a la riqueza de medios y elementos multimedia (imágenes de calidad, sonidos, animaciones, etc.) y a la flexibilidad de la comunicación e información instantánea de forma sincrónica y asincrónica que les ofrecen los dispositivos dotados de Internet, éste obtiene un refuerzo inmediato tras la manipulación e interacción con estos aparatos (Ortiz, 2011:153). Es por ello que se puede constatar en las aulas que encuentren poco motivadoras las clases y los recursos didácticos tradicionales.

Por lo tanto, debemos aprovechar el potencial educativo que las tecnologías emergentes como la realidad aumentada (en adelante RA) nos ofrece para generar experiencias potentes y atractivas que permitan al alumnado de secundaria construir su conocimiento y desarrollar habilidades y competencias sobre diversos ámbitos desde un enfoque conectivista de aprendizaje en red (Siemens, 2004; Downes, 2005) y desde los paradigmas de aprendizaje por descubrimiento (Bruner, 2001), aprendizaje basado en la resolución de problemas (Barrows, 1986; Norman, Henk y Schmidt, 1992; Morales y Landa, 2004), aprendizaje por proyectos (Harwell, 1997) y aprendizaje basado en juegos atendiendo a un procedimiento metodológico gamificado (Horizon Report, 2014, Sánchez i Peris, 2015, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, 2017) como una nueva y poderosa estrategia para influir y motivar a los grupos de estudiantes implicados en las tareas propuestas de clase. Así pues, estos mecanismos propios de los videojuegos trasladados al terreno educativo están resultando efectivos, según lo expuesto en el informe Horizon Report (2014:55), *“la gamificación en la educación está ganando apoyo entre los educadores, quienes reconocen que juegos diseñados eficazmente, pueden favorecer un aumento significativo de la productividad y creatividad de los estudiantes”*. Otra ventaja que presentan estos recursos en su aplicación al aula es la posibilidad de enseñar y aprender ciencias con un carácter experimental y con pocos recursos económicos, a la vez que pueden proponer desafíos a los estudiantes (Calderón, Núñez, Di Laccio, Iannelli y Gil, 2015).

A pesar de la potencialidad de estos recursos, aún se consideran escasas las investigaciones realizadas en nuestra área para conocer tanto la eficacia de este tipo de estrategias en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, como las percepciones de los estudiantes sobre su uso. Es por ello, que este trabajo analice los resultados de una experiencia en el aula de química sobre uno de los tópicos fundamentales en esta materia, los elementos químicos de la Tabla Periódica (Scerri, 2007). Concretamente, se presentan los resultados de aprendizaje y percepciones de una experiencia de uso didáctico de la aplicación de RA *Elements 4D* con estudiantes de secundaria españoles.

### **Marco teórico**

Este apartado presenta en primer lugar la definición de la estrategia metodológica basada en el Mobile Learning. Posteriormente se realiza un análisis epistemológico del término RA, la taxonomía y las posibilidades educativas de dicha tecnología. Finalmente, se incluyen los aspectos didácticos del contenido elemento químico.

### **El aprendizaje móvil como tendencia pedagógica en la era digital**

El Mobile Learning (m-learning), puede entenderse como el e-learning a través de dispositivos móviles de comunicación (Quinn, 2000) y posee tres elementos esenciales: el dispositivo, la infraestructura de comunicación y el modelo de aprendizaje (Chang, Sheu y Chan, 2003). Hace referencia, por tanto, al uso de la nueva tecnología móvil como soporte de procesos de enseñanza aprendizaje (Kukulska-Hulme *et al.* 2009).

Según Cruz y López (2007, p.4), *“las aplicaciones utilizadas como agentes instruccionales y encaminadas a m-learning, están diseñadas dependiendo del tipo de aprendizaje que se pretenda explotar en el proceso, ya que dependiendo de éste, será también el modelo de uso de las aplicaciones móviles”*. En definitiva, y de acuerdo con Cruz y López (2007, p.2) y el informe del Radar de Innovación Educativa 2017 en el que se presentan las tendencias emergentes en pedagogía y en tecnología educativa del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (2017), el m-learning *“es un modelo tecnológico, donde el uso de los dispositivos móviles está fundamentado por un diseño instruccional previo, que deberá definir claramente el por qué, el para qué y el cómo se va a utilizar este tipo de tecnología inalámbrica”*. Por tanto, para que tenga lugar una correcta implementación de estas herramientas informáticas en el aula, es fundamental la figura del docente con una adecuada formación no sólo técnica, científica e instrumental, sino pedagógica, siendo capaz de reutilizar, modificar y diseñar materiales informáticos acordes con las necesidades y características de su alumnado.

### **Realidad Aumentada: aclaración terminológica**

RA hace referencia a la visualización directa o indirecta de elementos del mundo real combinados (o aumentados) con elementos virtuales generados por un ordenador, cuya fusión da lugar a una realidad mixta (Cobo y Moravec, 2011). En la misma línea Azuma (1997) la concibe como aquella tecnología que combina elementos reales y virtuales creando escenarios interactivos en tiempo real y registrados en 3D. También se ha definido como aquel entorno en el que tiene lugar la integración de lo virtual y lo real (Cabero y García, 2016; Cabero *et al.*, 2016). Es decir, la RA se puede concebir según establecen Moreno y Leiva (2017) como:

*“aquel entorno en el que tiene lugar la integración de lo virtual y lo real, es decir, la combinación de información digital e información física en tiempo real a través de distintos dispositivos tecnológicos; es decir, consiste en utilizar un conjunto de dispositivos tecnológicos que añaden información virtual a la información física, para crear de esta forma una nueva realidad, pero en la cual tanto la información real como la virtual desempeñan un papel significativo para la construcción de un nuevo entorno comunicativo mixto amplificado y enriquecido”* (p.84).

Otros autores elaboran conceptos más complejos abarcando un mayor número de elementos implicados en este proceso como De Pedro y Méndez (2012) que entienden 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. Por último, diversos autores (Basogain *et al.*, 2007; Kato, 2010; Fombona, Pascual y Madeira, 2012) indican que la RA se puede definir como objetos virtuales o anotaciones que pueden ser superpuestos en el mundo real como si realmente existieran, es decir, mantiene el mundo real complementándolo con información virtual. Así pues, podemos constatar que esta tecnología trasladada al ámbito

educativo supone un enorme potencial a nivel didáctico para favorecer los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias ya que amplifica, complementa, refuerza y enriquece la información que nos aporta el espacio físico real del aula haciendo el contenido didáctico de las materias más comprensible y accesible. Además a través de esta tecnología es posible poner en marcha una metodología pedagógica más versátil, abierta, interactiva y dinámica (Santos *et al.*, 2014; Bacca *et al.*, 2014; Barba, Yasaca y Manosalvas, 2015; Prendes, 2015; Han *et al.*, 2015; Fonseca, Redondo y Vals, 2016; Reinoso, 2016; Cabero, Llorente y Gutiérrez, 2017). También en este sentido Vázquez y Sevillano (2015) hacen referencia al aprendizaje móvil y ubicuo dada la gran proliferación y accesibilidad de dispositivos móviles por parte del alumnado sobre todo a partir de la etapa de educación secundaria.

### Tipología de las herramientas de realidad aumentada según sus niveles

En función del tipo de activadores de la información asociada a elementos para crear escenarios aumentados, se pueden distinguir cuatro niveles de RA (Reinoso, 2012; Muñoz, 2013; Cabero *et al.*, 2016):

**Nivel 0: Hiperenlaces en el mundo físico a través de códigos QR** como activadores de la información asociada a un elemento, mayoritariamente hipervínculos, pero también texto, SMS, VCards o números de teléfono. Dos ejemplos de representación de este nivel son la interfaz de la aplicación Qrafter para móviles que permite escanear y generar códigos QR (figura 1) o un código QR asociado a una página web (figura 2).



Figura 1. Interfaz de la app Qrafter



Figura 2. Ejemplo de código QR

**Nivel 1: Marcadores:** Son formas geométricas sencillas, generalmente cuadrados que permiten, entre otras funciones, la superposición de modelos en 3D. La figura 3 muestra un ejemplo de marcadores del programa de RA *Aumentaty Author* a partir de los cuales tras ser escaneados con la cámara webcam emergen los modelos tridimensionales, de utilidad en la enseñanza de las ciencias.

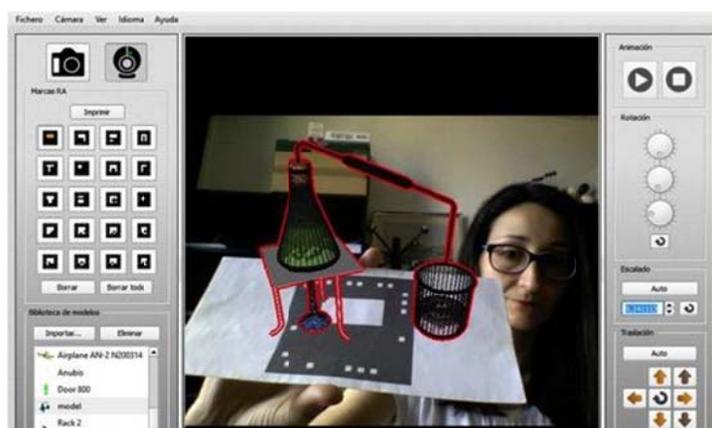


Figura 3. Ejemplo de escenario de RA creado con el programa de ordenador *Aumentaty Author*

**Nivel 2: Sin marcadores, reconocimiento de imágenes y objetos (Markerless):** Dentro de este nivel se pueden distinguir varios tipos en función de los activadores empleados (markerless). Un primer tipo de activador son láminas con imágenes, fotografías o dibujos. La figura 4 muestra varios ejemplos generados con las aplicaciones móviles de RA *Augment*, *iSkull*, y *Anatomy 4D* a partir de láminas, muy útiles en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.



Figura 4. a) Objetos de laboratorio en 3D con la aplicación *Augment* (imagen izqda.). b) Muestra de cráneo con la aplicación *iSkull* (imagen central) c) Muestra del cuerpo humano con la aplicación *Anatomy 4D* (imagen drcha.)

Un segundo tipo de activador pueden ser objetos o personas que son reconocidos como tales y que activan la información de la RA. Un tercer tipo lo constituye la RA geolocalizada, activada mediante GPS. La figura 5 ilustra con ejemplos las aplicaciones *Wikitude* y *WallaMe* pertenecientes a esta última modalidad.

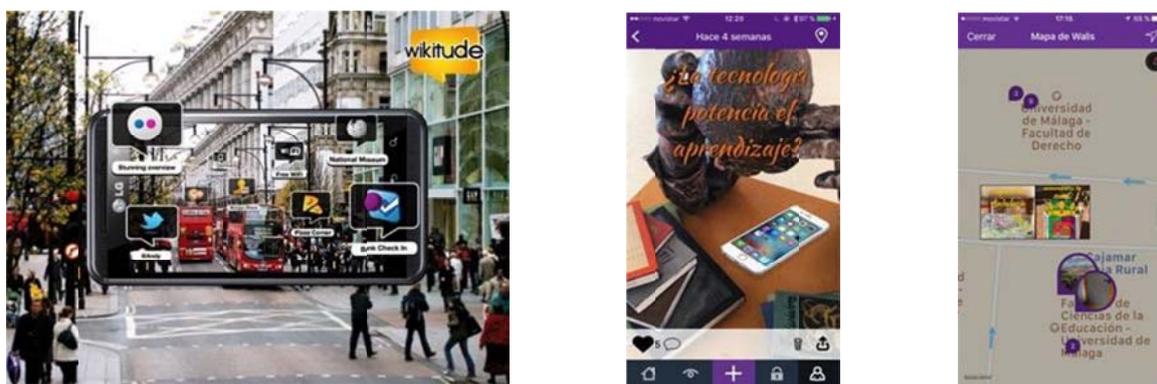


Figura 5. a) Vista de RA con *Wikitude* (imagen izqda.) b) Vista de capa de información digital superpuesta sobre elemento físico real para la creación de escenario de RA con app *WallaMe* (imagen central y drcha.).

**Nivel 3: Visión aumentada** a través de gafas de RA (figura 6) o lentillas biónicas (figura 7).

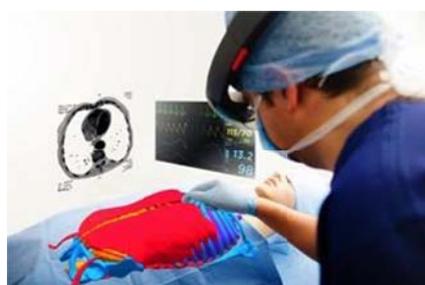


Figura 6. HoloLens. Gafas de RA de Microsoft, un ejemplo de uso en un quirófano (tomada de: [http://canitel.org.ni/wp-content/uploads/bfi\\_thumb/HoloLens-quirofano-n9cujsx0fesvyjr5kna4mr1lhuk0208n2yz4aqdl5sk.jpg](http://canitel.org.ni/wp-content/uploads/bfi_thumb/HoloLens-quirofano-n9cujsx0fesvyjr5kna4mr1lhuk0208n2yz4aqdl5sk.jpg))

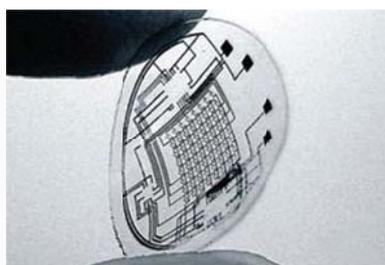


Figura 7. Lentillas de realidad aumentada para ver al detalle y en 3D objetos programados por códigos QR (tomada de: <http://www.Digitalavmagazine.com/wp-content/uploads/2013/06/Lente-AR-2.jpg>)

### Aspectos didácticos del contenido elemento químico

El concepto de elemento químico, sus propiedades y la ley de periodicidad se encuentran entre los tópicos considerados pilares fundamentales tanto en la historia (Schmidt, Baumgärtner & Eybe, 2003; Scerri, 2007; Esteban, 2009) como en la enseñanza de la química (Ben-Zvi & Gemut, 1998; Demircioğlu, Demircioğlu & Çalikb, 2009). Esta situación produce que los elementos químicos sean uno de los contenidos más discutidos frecuentemente en la didáctica de la química como evidencia la

revisión de Linares e Izquierdo (2007) sobre artículos publicados en diferentes journals, entre ellos Journal of Chemical Education. La mayoría de estas publicaciones se han centrado bien en problemas históricos y epistemológicos, o bien en diferentes estrategias o recursos para la enseñanza-aprendizaje de los elementos químicos en todos los niveles educativos (Ben-Zvi & Gemut, 1998; Franco-Mariscal, 2011; Taber & Tan, 2007; Talanquer, 2010; Wang & Barrow, 2013). En este sentido, en los últimos años han proliferado propuestas sobre los elementos químicos basadas en la gamificación.

Para establecer el tipo de conocimiento y razonamiento requerido para el aprendizaje de los elementos químicos que se pretende en este estudio, atenderemos a las áreas establecidas por Millar y Osborne (1998). Según estos autores, existen cuatro áreas importantes en el aprendizaje de las ciencias: (a) la adquisición de conocimiento científico, (b) la aplicación del conocimiento a diferentes contextos y situaciones, (c) el uso de evidencias científicas para establecer conclusiones, y (d) aprender sobre la naturaleza e historia de la ciencia. Esta clasificación supone diferentes niveles de demanda cognitiva, de forma que solamente la primera categoría requiere conocimiento y entendimiento, la segunda supone la aplicación del aprendizaje, mientras que la tercera requiere la capacidad de análisis y síntesis. Por su parte, la cuarta categoría es probable que implique una mayor capacidad de evaluación, es decir, en asuntos que requieran una evaluación de la utilidad y las limitaciones del conocimiento científico.

Este estudio se ha diseñado de acuerdo con la categoría (a) de Millar y Osborne (1998) con idea de que los alumnos adquieran el conocimiento de los elementos químicos a través de la interacción con el recurso tecnológico como mediador del contenido, lo que permite la observación de las propiedades de los elementos.

## Objetivos de la investigación

El escenario de investigación se sitúa en el desarrollo de una propuesta didáctica más amplia desde una perspectiva innovadora dedicada a los elementos químicos y la Tabla Periódica para estudiantes de secundaria. Aquí se presenta una parte de ella, el uso de la aplicación de RA *Elements 4D*.

Este trabajo plantea dos preguntas de investigación: ¿qué posibilidades educativas ofrece el recurso libre de RA *Elements 4D* en el aprendizaje de los elementos químicos en educación secundaria? (cuestión de investigación 1) y ¿cuáles son las percepciones del alumnado de secundaria hacia este tipo de recursos en una clase de química? (cuestión de investigación 2).

Dichas preguntas, se corresponden con los objetivos que se explicitan a continuación:

- Valorar las posibilidades educativas de la aplicación de RA *Elements 4D* para favorecer escenarios de aprendizaje de los elementos químicos en educación secundaria en la dimensión adquisición de conocimiento científico (Millar y Osborne, 1998).
- Conocer las opiniones y percepciones del alumnado de secundaria acerca de la utilidad de *Elements 4D* como herramienta didáctica para mejorar el aprendizaje de los elementos químicos.

## Metodología

### Participantes e instrumentos

La muestra consistió en 46 estudiantes de edades comprendidas entre 15 y 17 años que cursaban la materia de Química en la educación secundaria del curso académico 2016-2017. Los estudiantes pertenecían a dos centros educativos de la región sur de España. Concretamente, 16 estudiantes cursaban 3º ESO (grado 9), 11 4º ESO (grado 10) y 19 el primer curso de Bachillerato (grado 11). El 54.3 % eran chicos y el 45.7 % chicas. Estos sujetos mostraban un perfil de estudiante trabajador, con interés por la materia y rendimiento académico medio-alto.

La metodología de la investigación de carácter exploratorio y descriptivo fue de corte cualitativo y cuantitativo para su posterior análisis interpretativo de los datos. Para la primera pregunta de investigación, los instrumentos de recogida de información fueron el portafolios del estudiante y el diario del profesor investigador, mientras que para la segunda pregunta, se empleó un cuestionario de opiniones y concepciones pedagógicas acerca de la RA (*Elements 4D*) como herramienta didáctica en química en educación secundaria, que los estudiantes cumplimentaron online al finalizar la unidad. Dicho cuestionario, de 12 ítems, se diseñó con el programa Survey Monkey<sup>1</sup> que permite desarrollar cuestionarios en línea y provee de utilidades para el análisis estadístico y el tratamiento de los resultados. Los alumnos cumplimentaron el cuestionario de forma anónima para garantizar una respuesta más sincera, personal y objetiva. El modelo de cuestionario empleado está disponible a través del siguiente enlace: <https://es.surveymonkey.com/r/ZNNYCLD> y también como anexo. Dada la naturaleza de la investigación no es posible obtener tamaños de muestra más grandes consecuencia de las limitaciones en tiempo y recursos.

Las actividades planteadas a lo largo de la propuesta sobre elementos químicos fueron de naturaleza muy variada. Concretamente, la experiencia aquí presentada emplea la RA a través del material educativo *Elements 4D*. Esta actividad se desarrolló en un momento en el que los estudiantes conocían los nombres y símbolos de los elementos y sus aplicaciones, la diferencia entre elemento y compuesto químico y el concepto de reacción química. Se dedicó en el aula una sesión de una hora y varias horas de trabajo en casa para resolver tres tareas, las cuales se explicitan en el apartado de experiencia en el aula. La metodología en el aula implicó directamente a los alumnos en su proceso de aprendizaje al demandar un informe y una valoración. En su puesta en práctica participaron dos docentes (segundo y tercer autores) con amplia experiencia en RA.

## Descripción de la experiencia

### *Elements 4D*

*Elements 4D* es una aplicación diseñada por DAQRI como material educativo libre para aprender los elementos químicos de la tabla periódica interaccionando con los mismos en una experiencia de RA en la cual se combinan elementos físicos reales con elementos virtuales que complementan y amplifican la información acerca de las características de los elementos. Para generar los escenarios de RA se requiere de un dispositivo con acceso a Internet. Dicha aplicación está disponible para sistemas operativos Android e iOS de forma gratuita, y aunque está diseñada en principio como recurso para el aula, puede también emplearse para aprender química de forma autónoma. Se trata de una herramienta del nivel 2 (sin marcadores) que utiliza láminas como activadores.

El material consta de seis bloques o cubos donde cada una de sus caras ofrece información de un elemento químico (nombre, símbolo químico, número atómico y masa atómica) (figura 8), lo que hace un total de 36 elementos químicos diferentes. La forma de trabajar con estos cubos es sencilla. Para su uso es necesario imprimir las láminas de los cubos<sup>2</sup>, ejecutar la aplicación en un móvil o tablet y, enfocar con el objetivo de la cámara del dispositivo sobre cada una de las caras del cubo para ver el aspecto real del elemento químico en 3D y acceder a información química del elemento en cuestión (figura 9).

---

<sup>1</sup> <https://es.surveymonkey.com/home/>

<sup>2</sup> Las láminas están disponibles en: <http://elements4d.daqri.com/documents/elements-blocks-all.pdf>



Figura 8. Muestra de láminas para imprimir y crear cubos y generar cubos virtuales de elementos químicos con RA



Figura 9. Web Elements 4D (<http://elements4d.daqri.com/#intro>) (DAQRI, 2014)

Además, este material ofrece la posibilidad de combinar dos elementos químicos y observar la reacción química que tiene lugar entre ellos. Basta con introducir un segundo bloque en la pantalla del dispositivo móvil y acercar los dos cubos poco a poco hasta que toquen el uno con el otro. Una vez juntos, se puede observar el compuesto que se produce, en caso de que dicha combinación química sea posible. La aplicación da asimismo información de la reacción química que tiene lugar.

### ***Experiencia en el aula***

El profesor/a inició la sesión en el aula pidiendo a los estudiantes que indicaran por escrito algunas características de varios elementos químicos, como su estado de agregación, color, forma o aspecto. El docente, que había llevado al aula los cubos y varias tablets, mostró el uso de la aplicación y pidió a los alumnos que descubrieran si sus predicciones eran o no ciertas. Luego, los estudiantes tuvieron la oportunidad de descubrir el aspecto de otros elementos químicos y hacer una descripción de los mismos (figura 10). Se propusieron tres tareas para realizar en casa en el plazo de una semana y se facilitó como material las láminas necesarias para construir todos los cubos (DAQRI, 2014). Los enunciados de las tareas se recogen en la tabla 1.



Figura 10. Alumnos de secundaria trabajando en el aula con *Elements 4D*

Tabla 1. Instrucciones para la realización de las tareas en casa

<i>Tarea 1. Elementos químicos</i>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Construye los cubos que te proporcionará tu profesor.</li> <li>2. Instala en tu móvil o Tablet la app gratuita <i>Elements 4D</i> de DAQRI.</li> <li>3. Observa los elementos químicos acercando el móvil a cada una de las caras del cubo. Mueve el cubo lentamente para verlo desde distintos ángulos.</li> <li>4. Para cada elemento químico que observes, describe lo que ves (si es sólido, líquido o gas, su color, su forma, su aspecto, etc.). Puedes completar la información en esta tabla:</li> </ol>	
	Nombre del elemento:
	¿Es sólido, líquido o gas?
	¿De qué color es?
	¿Qué forma tiene?
	¿Qué aspecto tiene?
	Otras observaciones
<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Realiza fotografías de cinco elementos en las que aparezcas tú y el elemento.</li> </ol>	
<i>Tarea 2. Compuestos químicos</i>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acerca los elementos de dos en dos para observar si se produce alguna reacción química entre ellos.</li> <li>2. Para 5 combinaciones de elementos debes indicar:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los elementos que has combinado y el compuesto químico que se ha formado.</li> <li>• Una descripción del nuevo compuesto que se ha formado (si es sólido, líquido o gas, su color, forma, aspecto, etc.)</li> <li>• La fórmula del nuevo compuesto.</li> <li>• La reacción química que ha tenido lugar.</li> <li>• Realizar una fotografía del nuevo compuesto en la que aparezcas tú.</li> </ul> </li> </ol>	

Puedes completar la información en esta tabla:	
Elementos que he combinado:	
Estado del compuesto (sólido, líquido o gas)	
Color del compuesto	
Forma del compuesto	
Aspecto del compuesto	
Fórmula del compuesto	
Reacción química que ha tenido lugar	
Otras observaciones	
<i>Tarea 3. Realiza una valoración de la actividad realizada</i>	

Una vez entregadas las tareas, los estudiantes cumplieron el cuestionario online de opiniones y concepciones pedagógicas acerca de la RA (*Elements 4D*) como herramienta didáctica en química en secundaria.

## Resultados

Este apartado presenta los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos tras el análisis de la información extraída, por un lado, de los portafolios de los estudiantes y el diario del profesor/a investigador/a para responder a la primera pregunta de investigación, y por otro lado, del cuestionario online para la segunda pregunta de investigación.

### *Tarea 1. Elementos químicos*

De los portafolios de los estudiantes se puede deducir un avance importante en la observación de las características de los distintos elementos tras el uso de la aplicación de RA. Así, inicialmente los alumnos ofrecieron descripciones muy pobres de los elementos químicos, que incluían únicamente su color y/o estado de agregación. Los estudiantes enriquecieron considerablemente sus descripciones tras observar los elementos con RA, ya que fueron capaces de observar ciertos detalles en los elementos que no podían saber sin haberlos vistos. La tabla 2 muestra la evolución en las descripciones de un elemento sólido, otro líquido y otro gaseoso, indicadas por el mismo estudiante antes y después de realizar la experiencia.

Tabla 2. Descripciones de algunos elementos químicos dadas por los estudiantes

Elemento	Antes de la experiencia	Después de la experiencia
Calcio	<i>“El calcio es un sólido blanco”</i> (Estudiante 22)	<i>“El calcio es un sólido blanquecino grisáceo. Parece un poco poroso”</i> (Estudiante 22)
Mercurio	<i>“El mercurio es un líquido plateado. Es como si fuera agua plateada”</i> (Estudiante 37)	<i>“El mercurio es un líquido plateado y espeso. Su aspecto es similar al de una gota”</i> (Estudiante 37)
Xenón	<i>“El xenón es un gas incoloro”</i>	<i>“El xenón es un gas azul. No es</i>

(Estudiante 05)

*transparente porque se encuentra en un estado excitado*" (Estudiante 05)

---

Asimismo, los estudiantes hicieron referencia a otros materiales conocidos para describir su forma o aspecto, lo que les ayudará a recordarlos en un futuro:

*"El calcio parece nieve o un trozo de queso muy blando"* (Estudiante 27).

*"El cesio parece una columna vertebral o una hoja de un helecho gris muy claro"* (Estudiante 05).

*"El estaño tiene el aspecto de un chicle y es blanco oscuro"* (Estudiante 19).

*"El zinc parece una piedra volcánica de color gris oscuro"* (Estudiante 07).

*"El litio es sólido, de color gris metalizado, tiene forma de concha de mar y parece suave al tacto"* (Estudiante 34).

En este sentido, el material educativo parece haber ayudado a acercar al alumnado elementos que no están disponibles a su alrededor, y de los que podían tener una idea previa de su aspecto, al no haberlos visto nunca:

*"Al ver los elementos químicos en tres dimensiones me he dado cuenta de cómo son en realidad. Es decir, pensaba que eran de otra forma o de otro color"* (Estudiante 40).

*"La experiencia me ha ayudado a saber cómo son realmente los elementos químicos, ya que muchos de ellos no los puedo ver ni tocar en la vida cotidiana"* (Estudiante 21).

*"Lo más importante es que podemos ver cómo son los elementos porque muchos de ellos no sabía cómo eran ni me imaginaba qué podían tener esas formas"* (Estudiante 30).

### **Tarea 2. Compuestos químicos**

En la misma línea se encuentran las descripciones de los compuestos químicos una vez realizada la experiencia, como muestran estos ejemplos extraídos de los portafolios de los estudiantes:

*"La combinación de magnesio con oxígeno da un compuesto sólido de fórmula  $MgO$ , de forma indefinida. Su aspecto parece el de sal gruesa"* (Estudiante 41).

*"Al combinar cobalto y bromo obtuve un compuesto sólido verde de fórmula  $CoBr_2$ . Presentaba muchos círculos juntos que tenían el aspecto de guisantes"* (Estudiante 35).

Incluso algunos estudiantes se atrevieron a predecir algunas propiedades del compuesto formado. Así, el estudiante 18 indicó la peligrosidad del ácido fluorhídrico, un compuesto que desconocía, de esta forma: *"La combinación de flúor con hidrógeno produce un gas grisáceo que parece transparente. Por su aspecto parece un gas perjudicial"*.

Finalmente, ciertas combinaciones impresionaron a algunos alumnos, especialmente aquellas en las que se formaban compuestos químicos en un estado de agregación diferente al de los elementos que se habían combinado:

*"Me llamó la atención que al combinar un sólido (el sodio) con un gas (el cloro) se obtuviera otro sólido en lugar de un líquido"* (Estudiante 30).

Entre estas combinaciones cabe resaltar el agua. A pesar de que todos los estudiantes conocen su fórmula, la mayoría no había recabado en que su formación tiene lugar a partir de dos elementos gaseosos: *"El compuesto que más me impresionó fue el resultado de la combinación del hidrógeno con el oxígeno que salió agua"* (Estudiante 13).

### **Tarea 3. Valoración de la experiencia**

Los estudiantes evaluaron la experiencia de forma satisfactoria. Por un lado, valoraron la introducción del uso del móvil como recurso educativo:

*“La experiencia me ha gustado bastante porque usando el teléfono móvil y una aplicación he podido ver cómo son algunos elementos químicos y algunas combinaciones químicas”* (Estudiante 09).

*“Mi valoración de la experiencia es positiva. He aprendido mucho sobre los elementos y compuestos químicos. Pienso que esta experiencia es muy divertida y didáctica a la vez, porque utilizamos un instrumento como es el móvil, que los jóvenes usamos mucho y se nos hace más entretenido utilizarlo como herramienta en el instituto”* (Estudiante 27).

*“Usar el móvil para la experiencia lo hace más cómodo, incluso entretenido”* (Estudiante 41).

Esta impresión también fue plasmada por uno de los docentes en su diario de esta forma: *“Creo que la motivación que se produce en el aula hacia el aprendizaje de los elementos químicos se encuentra en llevar al aula una herramienta TIC que se utiliza desde una Tablet”* (Diario del profesor investigador 1).

Por otro lado, el alumnado valoró el uso de una metodología por descubrimiento, en la que el estudiante se convierte en el protagonista del aprendizaje:

*“Ha sido muy útil realizar esta experiencia, ya que experimentamos por nuestra cuenta”* (Estudiante 32).

*“Me ha parecido una experiencia entretenida y una manera divertida de dar una clase y aprender los elementos químicos de forma sencilla. Gracias a esta experiencia aumentan las ganas de aprender los elementos químicos”* (Estudiante 11).

Esta forma de trabajo también fue valorada positivamente por uno de los docentes: *“El aprendizaje por descubrimiento ha contribuido a que todos los alumnos participen en la actividad”* (Diario del profesor investigador 2).

Finalmente, los alumnos indicaron como única dificultad el hecho de disponer de una buena conexión an Internet para realizar la experiencia:

*“Lo que no me ha gustado de la experiencia es que la aplicación fallaba mucho”* (Estudiante 14).

#### ***Cuestionario sobre opiniones y percepciones del alumnado acerca de la RA con la herramienta Elements 4D***

Este apartado analiza los resultados obtenidos en el cuestionario de percepciones. En primer lugar, destaca la importancia que otorga el alumnado a la formación del profesorado en el uso de herramientas de RA para mejorar la enseñanza de contenidos en las asignaturas de ciencias. Así, un 39.1% lo consideraba algo importante y otro 39.1% bastante importante (figura 11).

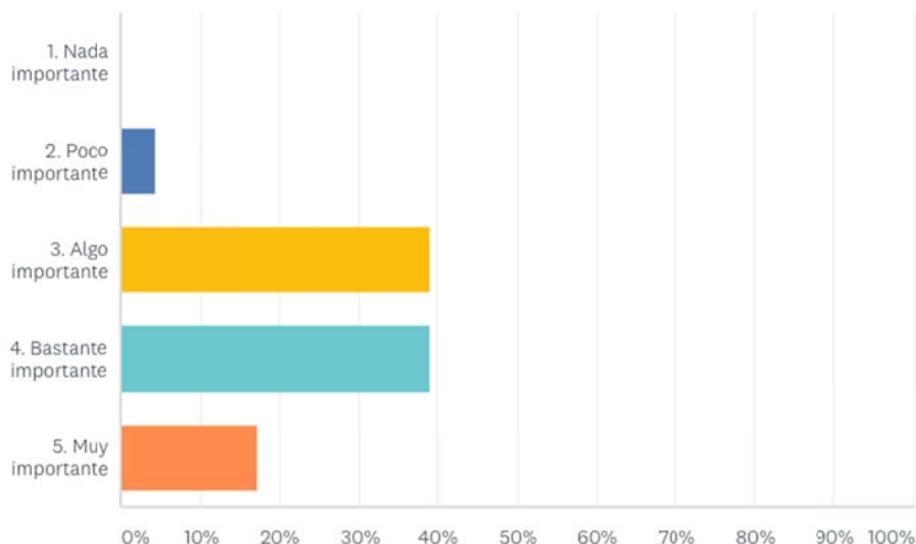


Figura 11. Percepciones de los estudiantes en torno a la formación del profesorado en RA

Otro aspecto importante es que el 68.9% del alumnado encuestado no conocía ninguna herramienta de RA antes de realizar esta experiencia, mientras que el 31.1% restante afirmaba conocer otras aplicaciones basadas en esta tecnología como *Aurasma*, *AR Flashcads Space*, *Arloon Anatomy*, *Sky Map*, *Goggles*, *MSQRD*, *FaceYou* y otras, que se le facilitaban en un listado, y que en algunas ocasiones traían por defecto sus móviles. Asimismo, al preguntarles sobre si conocían otras herramientas de RA, los estudiantes hicieron referencia en mayor medida a la aplicación de RA geolocalizada *Pokemon Go*.

En cuanto al aprendizaje, el alumnado mostraba que le había resultado útil la herramienta *Elements 4D* para aprender los elementos químicos. Como se aprecia en la figura 12, el 47.8% del alumnado manifestó que le había resultado una herramienta bastante útil, seguido de un 28.3% que la consideraba como algo útil y un 19.6% como muy útil.

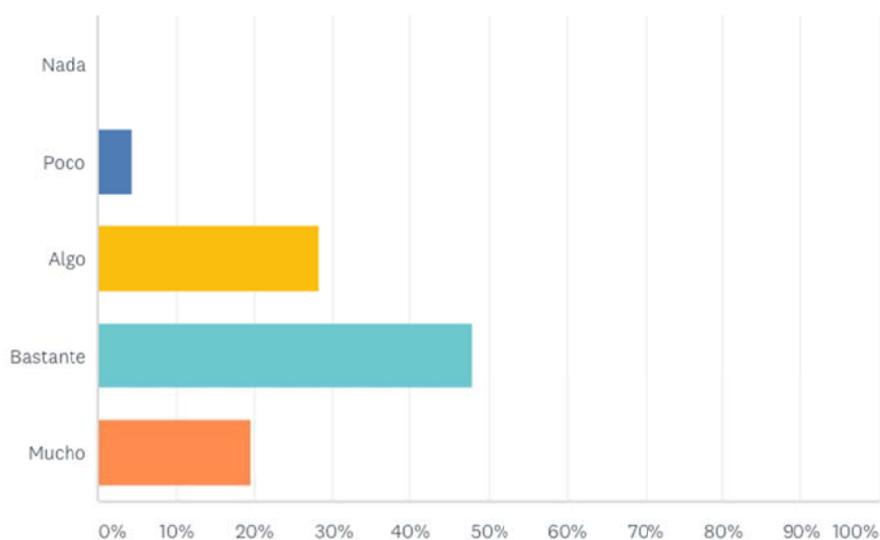


Figura 12. Utilidad otorgada por el alumnado al recurso educativo *Elements 4D*

Al preguntarles qué método de enseñanza les parecía más adecuado para potenciar el aprendizaje de los elementos químicos -el método tradicional a través de libros de texto, exposición oral y clases magistrales del profesor de forma exclusiva; el método innovador con RA empleando *Elements 4D* que implica la exploración, interacción y descubrimiento del alumnado; o ambos métodos- el 63% de los alumnos encuestados consideró adecuado el uso de ambos métodos, aunque el 32.6% se decantaba por un método innovador haciendo uso de la RA y sólo un 4.3% prefería continuar con el método tradicional. Los resultados muestran que el alumnado concibe el uso de un método innovador como complemento y refuerzo del método tradicional:

*“Ayuda mucho el método tecnológico para que puedas ver y entender mejor las cosas y es más entretenido. Pero siempre es necesario la ayuda del libro”* (Estudiante 21).

*“Aprender a través de los libros de textos es eficiente aunque se trate del método tradicional, y con la realidad aumentada, al ser algo original puede causar más interés en el alumno para aprender. El primer método te hace memorizar y el segundo se centra en entenderlo”*(Estudiante 07).

*“La realidad aumentada complementa a la memorización de la propia tabla periódica, pero es necesario tener en mente la clasificación para recordar las valencias y algunas propiedades. Elements 4D sirve para visualizar estos elementos y así dinamizar también el aprendizaje de éstos”* (Estudiante 15).

No obstante, en la medida en que se va familiarizando con el uso del recurso basado en tecnología de RA reconoce que el potencial educativo del mismo supera a los materiales tradicionales del aula, lo cual queda de manifiesto en los comentarios recogidos en sus portafolios y en las respuestas a las preguntas abiertas del cuestionario. Algunas de las respuestas textuales aportadas por el alumnado corroboran la importancia que le otorgan al nuevo recurso de RA para favorecer los aprendizajes:

*“Es un método que te permite interactuar con los elementos y aviva el interés por la química”* (Estudiante 03).

*“Porque la tecnología ya es parte de nuestras vidas y tenemos que adaptarnos y aprovecharnos de ella si nos da la opción de poder aprender con ella y tenemos las herramientas para poder usarla ¿por qué no aprovecharla?”*(Estudiante 13).

*“No es igual aprender algo por tus propios medios, a tu manera, viéndolo, a tener a alguien explicándotelo a su manera. En mi opinión, se aprende más interactuando”* (Estudiante 20).

Respecto a las características que según el alumnado definirían a la herramienta *Elements 4D* como recurso didáctico, ofrecidas en un listado, los mayores porcentajes se atribuyen a las cualidades interactiva (67.4%) e innovadora (65.2%), seguidas de su facilidad de uso (52.2%) y didáctica/pedagógica/educativa con un 47.9% (figura 13 y tabla 3).

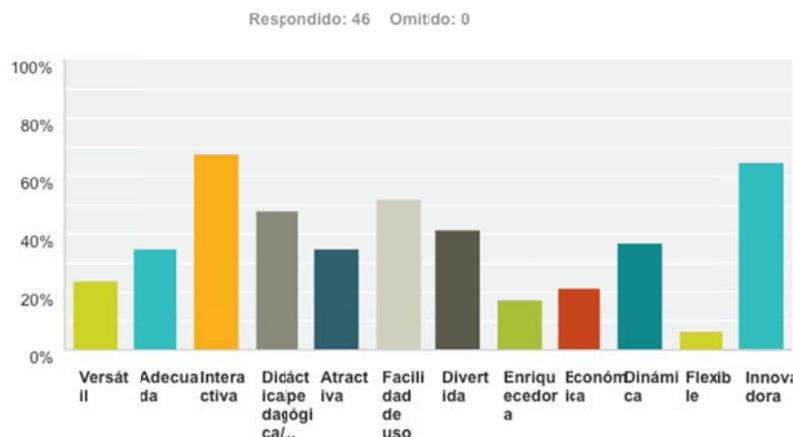


Figura 13. Cualidades otorgadas por los estudiantes a *Elements 4D* como recurso educativo

Tabla 13. Frecuencia de estudiantes y porcentajes de cada una de las cualidades otorgadas a *Elements 4D*

Opciones de respuesta	Frecuencia	Porcentajes (%)
Interactiva	31	67.4
Innovadora	30	65.2
Facilidad de uso	24	52.1
Didáctica / pedagógica / educativa	22	47.8
Divertida	19	41.3
Dinámica	17	37.0
Adecuada	16	34.8
Atractiva	16	34.8
Versátil	11	23.9
Económica	10	21.7
Enriquecedora	8	17.4
Flexible	3	6.5

Asimismo, indicaron otras características tanto positivas como negativas para definir a *Elements 4D* como herramienta educativa. La figura 14 muestra algunas respuestas literales del alumnado extraídas del cuestionario.

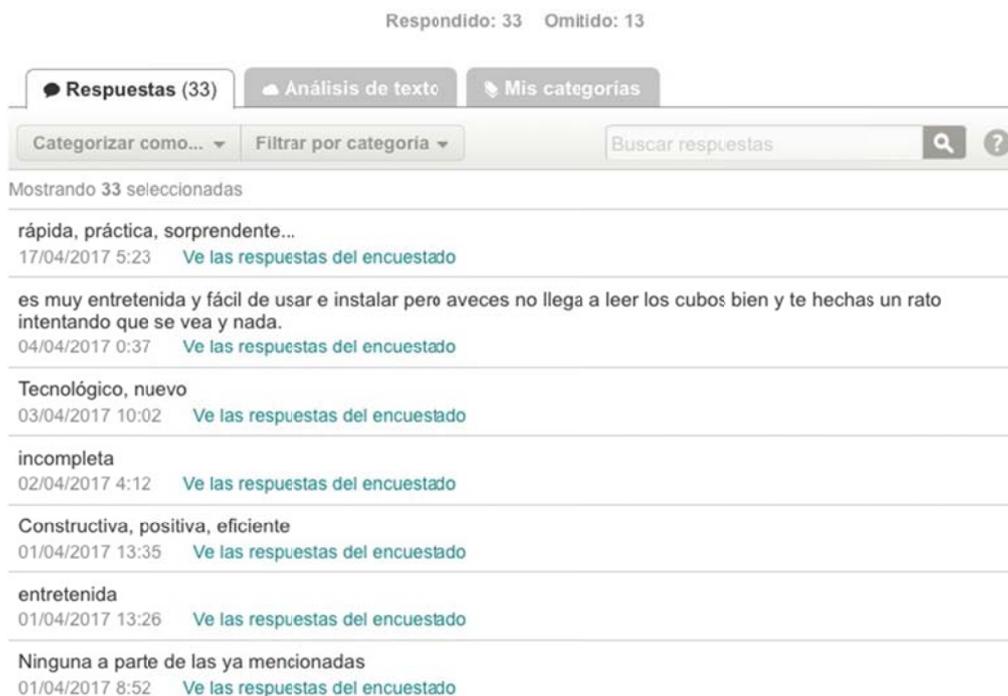


Figura 14. Otras cualidades dadas a la herramienta por el alumnado

Respecto al grado de facilidad para aprender química, el 50% del alumnado opinaba que este recurso favorece bastante el aprendizaje, un 30% pensaba que algo y un 15.2% afirmaba que mucho (figura 15).

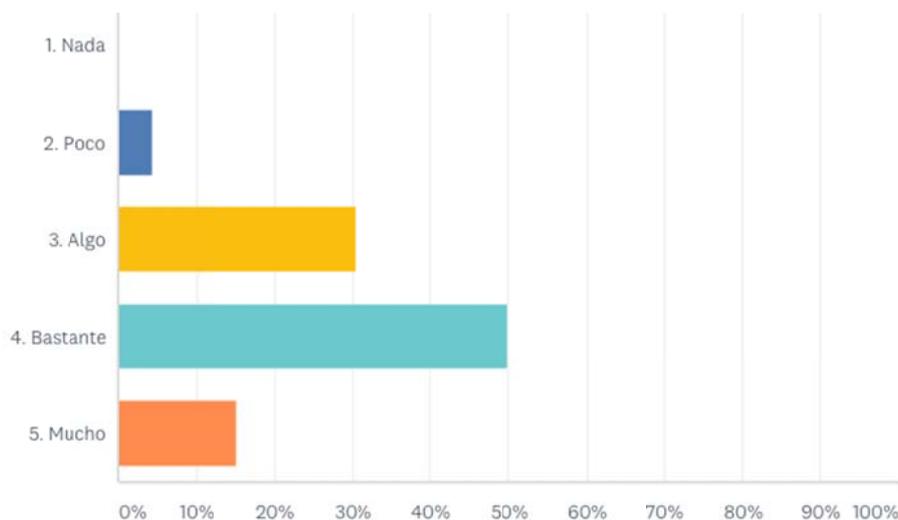


Figura 15. Grado de facilidad del aprendizaje que otorga el recurso *Elements 4D* según los estudiantes encuestados

Por último, respecto al manejo que el alumnado estimaba haber alcanzado en el uso de *Elements 4D*, el 52.2% consideraba que había alcanzado un grado de destreza alto, un 37% estimó que poseía un nivel medio y un 10.9% un nivel muy alto.

## Consideraciones finales

Los resultados obtenidos sugieren que el uso del material educativo *Elements 4D* puede contribuir a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química en educación secundaria en la dimensión adquisición de conocimiento científico (Millar y Osborne, 1998) (cuestión de investigación 1). Por una parte, los estudiantes experimentan progresos considerables en la descripción de las características de los elementos químicos tras el uso de la aplicación de RA, a la vez que la herramienta acerca la química de elementos químicos menos cotidianos.

Por otra parte, el recurso parece ayudar al desarrollo de actitudes favorables hacia la química (cuestión de investigación 2), probablemente centradas en el componente lúdico e interactivo de la tarea y en el uso de dispositivos móviles en el aula desde un enfoque gamificado dentro de la modalidad de mobile learning. En este sentido, son numerosos los estudios que prevén el aumento del uso y la incorporación de dispositivos y aplicaciones móviles en el ámbito educativo, entre ellos cabe destacar el informe Horizon Report (2016) liderado por el New Media Consortium y Educause con la colaboración de especialistas a nivel mundial. Éste forma parte de un proyecto de investigación de una década de duración diseñado para identificar y describir las tecnologías emergentes que puedan tener un impacto en el aprendizaje, la enseñanza y la investigación en el presente, futuro inmediato y lejano de distintos países (Reig, 2013; Reig y Vílchez, 2013; Santos et al., 2016). En su novena edición de la versión internacional se resalta especialmente el *Mobile Learning*, surgiendo a la vez temas asociados a éste, como son los libros electrónicos, el aprendizaje basado en juegos (Serious Game y Gamificación) o la RA. Así pues, tras el análisis de los informes Horizon Report (2015, 2016) y de los correspondientes al Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (2017) se puede constatar que se destaca el empleo de los dispositivos móviles (smartphones y tablets) en las aulas y sus beneficios y posibilidades educativas. De este modo, el horizonte de implantación del llamado aprendizaje con móviles Mobile Learning, se prevé dentro de tres o cuatro años.

Los resultados obtenidos de los cuestionarios de percepciones, no solo muestran que esta tecnología parece aumentar la efectividad del proceso de enseñanza-aprendizaje de los contenidos de la asignatura de química, sino también que ayudan a promover la interacción de los estudiantes con los contenidos y mejoran su desempeño en el proceso educativo, en este caso en el conocimiento de los elementos químicos y sus compuestos. No obstante, para que la implementación de esta tecnología de RA sea eficaz en los centros educativos es absolutamente necesaria la concienciación y formación del profesorado en la correcta utilización de estas herramientas y aplicaciones, no sólo desde una perspectiva técnica e instrumental, sino también a nivel didáctico y pedagógico. Teniendo en cuenta que una correcta incorporación de las tecnologías en el aula no debe ser concebida como la mera dotación de equipamiento tecnológico a los centros educativos, sino como una verdadera innovación pedagógica que ofrezca nuevas posibilidades metodológicas que faciliten la tarea de los agentes que intervienen en el proceso educativo (Cebrián, 2011; Martínez y Sánchez, 2011:123-124). Por lo tanto, desde el ámbito educativo, para dar una respuesta eficaz a las demandas de la sociedad del conocimiento y de la información, es preciso replantearnos la práctica educativa acorde con un nuevo paradigma educativo basado en un modelo constructivista y conectivista de aprendizaje en red (Siemens, 2004; Downes, 2005) donde se dé prioridad al proceso de aprendizaje sobre el de enseñanza cobrando sentido el llamado aprendizaje por competencias. Y ante este nuevo planteamiento pedagógico emergente se precisan tecnologías emergentes (Adell y Castañeda, 2012) las cuales ofrecen unas posibilidades sorprendentes para hacer posible la puesta en marcha de metodologías más flexibles, abiertas e innovadoras gracias a su carácter didáctico, flexible e interactivo enfocado a favorecer los procesos de enseñanza y aprendizaje desde un enfoque colaborativo para la construcción conjunta del conocimiento, como es el caso de la herramienta *Elements 4D* analizada.

En definitiva, en el presente trabajo se ha podido comprobar cómo la incorporación de una metodología a través de RA en el aula de química de educación secundaria ha contribuido al conocimiento de un recurso de RA y al desarrollo de actitudes positivas en el alumnado ante las

potencialidades y beneficios que ofrece esta tecnología para favorecer entornos amplificados de aprendizaje significativos, relevantes y funcionales (Di Serio et al., 2013). De igual manera, este estudio ha permitido reflexionar acerca de la necesidad de realizar verdaderas adaptaciones metodológicas, didácticas, curriculares, organizativas, temporales y espaciales para que esta tecnología sea eficaz en los centros educativos. Para ello, debemos aprovechar las competencias digitales y los dispositivos que trae consigo el alumnado no requiriendo tecnología adicional que pueda entrañar más costes (Wojciechowski y Cellary, 2013). Las valoraciones positivas por parte de los estudiantes acerca de la utilidad de recursos de RA para mejorar sus aprendizajes coinciden, a su vez, con las obtenidas en otros estudios que también han empleado recursos de RA en contextos educativos (Cabero y Barroso, 2016; Garay, Tejada y Maíz, 2017; Garay, Tejada y Castaño, 2017)

En última instancia, y en la misma línea discursiva de Ibáñez, Correa y Asensio (2012) consideramos que para poder apreciar en su totalidad el potencial de las tecnologías móviles para el aprendizaje, debemos ir más allá del uso individual de los aparatos, y tener en cuenta su uso integrado en la práctica o en la experiencia de aprendizaje. De ahí la importancia de sensibilizar y formar al profesorado para que implemente metodologías de carácter innovador con el objetivo de ajustar los contenidos y los recursos para el desarrollo de las competencias requeridas en la era digital en la que el alumnado se convierte en partícipe activo en la construcción del conocimiento al servicio de su desarrollo integral.

### Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto de Innovación Educativa PIE17-062 titulado “*Formación inicial del profesorado para el desarrollo de competencias científicas y profesionales mediante el uso de e-rúbricas, anotaciones sobre vídeos, realidad aumentada y herramientas de gamificación*” financiado por la Universidad de Málaga.

### Referencias

- Adell, J. y Castañeda, L.J. (2012). “Tecnologías emergentes ¿pedagogías emergentes?”, en J. Hernández, M. Pennesi, D. Sobrino y A. Vázquez (coords.), *Tendencias emergentes en Educación con TIC*, Barcelona: Espiral, pp. 13-33.
- Azuma, R. (1997). “A Survey of Augmented Reality”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, núm. 4, pp. 355-385.
- Bacca, J.; Baldiris, S.; Fabregat, R.; Graf, S. y Kinshuk, J. (2014). “Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications”, *Educational Technology & Society*, vol. 17, núm. 4, pp. 133–149.
- Barba, R.; Yasaca S. y Manosalvas, C. (2015). “Impacto de la realidad aumentada móvil en el proceso enseñanza-aprendizaje de estudiantes universitarios del área de medicina”, en AIDIPE (ed.), *Investigar con y para la Sociedad*, Cádiz: Bubok Publishing S.L, pp. 1421-1429.
- Barrows, H.S. (1986). “A Taxonomy of problem-based learning methods”, *Medical Education*, vol. 20, núm. 6, pp. 481-486.
- Basogain, X.; Olabe, M.; Espinosa, K.; Rouèche, C. y Olabe, J.C. (2007). “Realidad Aumentada en la educación: Una tecnología emergente”, *Online Educa Madrid 2007:7a Conferencia Internacional de la Educación y la Formación basada en las Tecnologías*. Madrid.
- Ben-Zvi, N. y Gemut, S. (1998). “Uses and limitations of scientific models: The Periodic Table as an inductive tool”, *International Journal of Science Education*, vol. 20, núm. 3, pp. 351–360.
- Bruner, J.S. (2001). *El proceso mental en el aprendizaje*, Madrid, Spain: Narcea.

- Cabero, J. y Barroso, J. (2016). “Posibilidades educativas de la realidad aumentada”, *New Approaches in Educational Research*, vol. 5, núm. 1, pp.46-52.
- Cabero, J. y García, F. (coords.) (2016). *Realidad aumentada. Tecnología para la formación*, Madrid, Spain: Síntesis.
- Cabero, J., Leiva, J.J.; Moreno, N.M.; Barroso, J. y López, E. (2016). *Realidad aumentada y Educación. Innovación en contextos formativos*. Barcelona (Spain): Octaedro.
- Cabero, J.; Llorente, C. y Gutiérrez, J.J. (2017). “Evaluación por y desde los usuarios: objetos de aprendizaje con realidad aumentada”, *RED Revista de Educación a Distancia*, vol. 51, pp. 1-17.
- Calderón, S.E.; Núñez, P.; Di Laccio, J.L.; Iannelli, L.M. y Gil, S. (2015). “Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC”, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 12, núm. 1, pp. 212-226.
- Cebrián, M. (2011). “Los centros educativos en la sociedad de la información y el conocimiento”, en M. Cebrián de la Serna y M.J. Gallego (coords.), *Procesos educativos con TIC en la sociedad del conocimiento*, Madrid: Pirámide, pp. 23-31.
- Cobo, C y Moravec, J.W. (2011). *Aprendizaje invisible. Hacia una nueva ecología de la educación*, Col.lecció Transmedia XXI Laboratori de Mitjans Interactius, Barcelona: Univesitat de Barcelona.
- Cruz, R. y López, G. (2007). “Una visión general del m-learning y su proceso de adopción en el esquema educativo”, en *2º Coloquio Internacional: Tendencias Actuales de Cómputo e Informática en México*, p.16. Disponible en: <http://cux.uaemex.mx/~renecruz/papers/Paper2-Cruz-Flores.pdf>
- Chang, C.Y.; Sheu, J.P. y Chan, T.W. (2003). “Concept and design of ad hoc and mobile classrooms”. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 19, núm. 3, pp. 336-346.
- DAQRI (2014). *Elements 4D*. Recuperado de: <http://elements4d.daqri.com/#intro>
- De Pedro, J. y Méndez, C.L.M. (2012). “Realidad Aumentada. Una Alternativa Metodológica en la Educación Primaria Nicaragüense”. *IEEE-RITA*, vol. 7, pp. 102-108.
- Demircioğlu, H.; Demircioğlu, G. y Çalikb, M. (2009). “Investigating the effectiveness of storylines embedded within a context-based approach: The case for the Periodic Table”, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 10, pp. 241–249.
- Di Serio, A.; Ibáñez, M.B. y Delgado, C. (2013). “Impact of an augmented reality system on students’ motivation for a visual art course”, *Computers & Education*, vol. 68, pp. 586-596.
- Downes, S. (2005). *An introduction to Connective Knowledge*. Disponible en: <http://www.downes.ca/cgi-bin/page.cgi?post=33034>
- Esteban, S. (2009). *La historia del Sistema Periódico*, Madrid, Spain: Cuadernos de la UNED.
- Fombona, J.; Pascual, M.A. y Madeira, M.F. (2012). “Realidad Aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles”, *Píxel-Bit, Revista de Medios y Educación*, vol. 41, pp. 197-210.
- Fonseca, D.; Redondo, E. y Valls, F. (2016). “Motivación y mejora académica utilizando realidad aumentada para el estudio de modelos tridimensionales arquitectónicos”, *Education in the Knowledge Society, EKS*, vol. 17, núm. 1, pp. 45-64.
- Franco-Mariscal, A.J. (2011). *El juego educativo como recurso didáctico en la enseñanza de la clasificación periódica de los elementos químicos en Educación Secundaria*, PhD Thesis, Cádiz, Spain: University of Cádiz.
- Garay, U.; Tejada, E. y Castaño, C. (2017). “Percepciones del alumnado hacia el aprendizaje mediante objetos educativos enriquecidos con realidad aumentada”, *Edmetic Revista de Educación Mediática y TIC*, vol. 6, núm. 1, pp. 145-164.

- Garay, U.; Tejada, E. y Maíz, I. (2017). “Valoración de objetos educativos enriquecidos con realidad aumentada: una experiencia con alumnado de máster universitario”, *Pixel-Bit, Revista de Medios y Educación*, vol. 50, pp. 19-31.
- Han, J.; Jo, M.; Hyun, E. y So, H. (2015). “Examining young children’s perception toward augmented reality-infused dramatic play”, *Education Technology Research Development*, vol. 63, pp. 455– 474.
- Harwell, S. (1997). *Project-based learning, promising practices for connecting high school to the real world*, Tampa, FL: University of South Florida.
- Horizon Report NMC (2014). *Higher Education Edition*. Disponible en: <http://redarchive.nmc.org/publications/2014-horizon-report-higher-ed>
- Horizon Report NMC (2015). *Higher Education Edition*. Disponible en: <http://www.nmc.org/publication/nmc-horizon-report-2015-higher-education-edition/>
- Horizon Report NMC (2016). *NMC/CoSN Horizon Report 2016 K-12 Edition*. Disponible en: <http://www.nmc.org/publication/nmc-cosn-horizon-report-2016-k-12-edition/>
- Ibáñez, A.; Correa, J. y Asensio, M. (2012). *Mobile learning: aprendiendo historia con mi teléfono, mi GPS y mi PDA*, Madrid, Spain: Universidad Autónoma de Madrid.
- Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (2017). *Radar de Innovación Educativa 2017*. Monterrey, Mexico: Reporte EduTrends, Observatorio de Innovación Educativa. Disponible en: <https://observatorio.itesm.mx/radar-de-innovacin-educativa-2017/>
- Kato, H. (2010). *Return to the origin of Augmented Reality* [Archivo de vídeo]. Presentation at IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2010 (Seoul, Korea). Panel discussion: «The Future of ISMAR: Converging Science, Business, and Art» (organized by Henry Fuchs and Christian Sandor). Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=b33eqcVz7X8>
- Kukulka-Hulme, A.; Sharple, M.; Milrad, M.; Ardenillo-Sánchez, I. y Vavoula, G. (2009). “Innovation in Mobile Learning: a European perspective”, *International Journal of Mobile and Blended Learning*, vol. 1, núm. 1, pp. 13-35.
- Linares, R. y Izquierdo, M. (2007). “La Tabla Periódica en el Journal of Chemical Education a través del siglo XX”, *Tecné, Episteme y Didaxis*, vol. 21, pp. 7–23.
- Martínez, F. y Sánchez, M.M. (2011). “Diseño de procesos y materiales de enseñanza con TIC para infantil y primaria (pizarra digital y objetivos de aprendizaje)”, en M. Cerbrían-de-la-Serna y M.J. Gallego (coords.), *Procesos educativos con TIC en la sociedad del conocimiento*, Madrid, Spain: Pirámide, pp. 121-135.
- Millar, R. y Osborne, J. (Eds.). (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*, London, England: King’s College, School of Education.
- Morales, P. y Landa, V. (2004). “Aprendizaje basado en problemas”, *Theoria*, vol. 13, pp. 145-157.
- Moreno, N.M. y Leiva, J.J. (2017). “Experiencias formativas de uso didáctico de la realidad aumentada con alumnado del grado de educación primaria en la universidad de Málaga”, *Revista Edmetic*, vol. 6, núm. 1, pp. 81-104.
- Muñoz, J.M. (2013). “Realidad Aumentada, realidad disruptiva en las aulas”, *Boletín SCOPEO*, vol. 82, 15 abril. Disponible en: <http://scopeo.usal.es/realidad-aumentada-realidad-disruptiva-en-las-aulas/>.
- Norman, G.R.; Henk, G. y Schmidt, P.D. (1992). “The Psychological basis of problem-based learning: a review of the evidence”, *Academic Medicine*, vol. 67, pp. 557-565.
- Ortiz, A. (2011). “Diseño y elaboración de materiales didácticos”, en M. Cebrián y M.J. Gallego (coords.), *Procesos educativos con TIC en la sociedad del conocimiento*, Madrid, Spain: Pirámide, 153-162.

- Prendes, C. (2015). “Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas”, *Píxel-Bit, Revista de Medios y Educación*, vol. 46, pp. 187-203.
- Quinn, C. (2000). “mLearning: Mobile, Wireless, in your Pocket Learning”, en *LineZine*, Fall 2000. Disponible en: <http://www.linezine.com/2.1/features/cqmmwiyp.htm>
- Reig, D. (2013). “Los significados educativos y sociales de la revolución móvil”, *Mobile World Capital Barcelona*. Disponible en: <http://mobileworldcapital.com/es/articulo/183>
- Reig, D. y Vilchez, L.F. (2013). *Los jóvenes en la era de la hiperconectividad: tendencias, claves y miradas*, Madrid, Spain: Fundación Telefónica.
- Reinoso, R. (2012). “Posibilidades de la realidad aumentada en educación”, en J. Hernández, M. Pennesi, D. Sobrino y A. Vázquez (coords), *Tendencias emergentes en educación con TIC*, Barcelona: Espiral, pp. 357-400.
- Reinoso, R. (2016). “Realidad aumentada posibilidades y usos educativos”, en Baldiris, S. et al. (eds), *Recursos Educativos Aumentados Una oportunidad para la inclusión*, Colombia: Sello Editorial Tecnológico Comfenalco, pp. 8-29.
- Sánchez i Peris, F.J. (2015). “Gamificación”, *Education in the knowledge society (EKS)*, vol. 16, núm. 2, pp.13-15.
- Santos, M.E.C.; Chen, A.; Taketomi, T.; Yamamoto, G.; Miyazaki, J. y Kato, H. (2014). “Augmented reality learning experiences: survey of prototype design and evaluation”. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 7, núm. 1, pp. 38–56.
- Santos, M.E.C.; Lübke, A.W.; Taketomi, T.; Yamamoto, G.; Rodrigo, M.M.T.; Sandor, C. y Kato, H. (2016). “Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning”, *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, vol. 11, núm. 4, pp.1-23.
- Scerri, E. (2007). *The Periodic Table: Its story and its significance*, New York: Oxford University Press.
- Schmidt, H.J.; Baumgärtner, T. y Eybe, H. (2003). “Changing ideas about the Periodic Table of elements and students’ alternative concepts of isotopes and allotropes”, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 40, núm. 3, pp. 257–277.
- Siemens, G. (2004). *Conectivismo: una teoría de aprendizaje para la era digital*. Disponible en: <http://www.fce.ues.edu.sv/uploads/pdf/siemens-2004-conectivistamo.pdf>
- Taber, K.S. y Tan, K.C.D. (2007). “Exploring learners’ conceptual resources: Singapore a level students’ explanations in the topic of ionisation energy”, *International Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 5, núm. 3, pp. 375–392.
- Talanquer, V. (2006). “Commonsense chemistry: A model for understanding student’s alternative conceptions”, *Journal of Chemical Education*, vol. 83, pp. 811–816.
- Vázquez, E. y Sevillano, M.L. (eds.) (2015). *Dispositivos digitales móviles en educación. El aprendizaje ubicuo*. Madrid, Spain: Narcea.
- Wang, C.Y. y Barrow, L.H. (2013). “Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity: A comparison of undergraduate general chemistry students with high and low levels of content knowledge”, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 14, pp. 130-146.
- Wojciechowski, R. y Cellary, W. (2013). “Evaluation of learners’ attitude toward learning in ARIES augmented reality environments”, *Computers & Education*, vol. 68, pp.570-585.

## Anexo

### Anexo: Cuestionario de opiniones y concepciones pedagógicas del alumnado acerca de la realidad aumentada (RA) como herramienta didáctica: Elements 4D en Física y Química (educación secundaria)

1. Género:  Masculino  Femenino
2. Introduce las iniciales de tu nombre y apellidos
3. ¿Qué edad tienes?
4. ¿En qué etapa educativa te encuentras?
5. ¿En qué curso estás?
6. La Realidad Aumentada es una tecnología que nos permite en el ámbito educativo crear escenarios de aprendizaje amplificados combinando elementos virtuales con el contexto real con el objetivo de enriquecer, potenciar y complementar la información y los aprendizajes del alumnado. ¿Consideras importante la formación del profesorado en el uso educativo de la Realidad Aumentada para mejorar la enseñanza de contenidos de las asignaturas?  
 Nada importante  Poco importante  Algo importante  
 Bastante importante  Muy importante
7. Antes de la experiencia de uso de *Elements 4D* ¿Conocías algunas de las siguientes herramientas de Realidad Aumentada (RA)? (puedes marcar más de una).  
 Augment  Aurasma  Layar  Aumentaty Author  
 Quiver  Chromville  Chromville Barcy  AR ARKids  
 AR Flashcards Alphabet – Animal  AR Flashcards Space  
 AR Dino Roar  AR Dino Park  AnimalCAM  Zookazam  
 Arloon Anatomy  Anatomy 4D  Elements 4D  The Brain AR  
 iSkull AR  FaceYou  MSQRD  Taggar  
 Wikitude  Junaio  Goggles  Sky Map o Mapa estelar  
 AR Showcase  Visuar  BuildRA  ARCrowd  
 Bakia  Learn AR  Otra  No conocía
8. ¿Conocías otra/s herramienta/s de Realidad Aumentada? ¿Cuál/es?
9. ¿Te ha resultado útil la herramienta de Realidad Aumentada *Elements 4D* para aprender los elementos químicos de la tabla periódica?  
 Nada  Poco  Algo  Bastante  Mucho
10. Marca en qué medida del 1 al 10 la herramienta *Elements 4D* mejora tu aprendizaje de los elementos químicos de la tabla periódica.

11. Marca en qué medida del 1 al 10 el método tradicional mejora tu aprendizaje de los elementos químicos de la tabla periódica.
12. ¿Qué método de enseñanza te parece más adecuado para potenciar el aprendizaje de los elementos químicos de la tabla periódica?
- El método tradicional a través de libros de texto, exposición oral y clases magistrales del profesor de forma exclusiva.
  - El método innovador con Realidad Aumentada empleando *Elements 4D* que implique la exploración, interacción y descubrimiento del alumnado.
  - Ambos.
13. Justifica la respuesta a la pregunta anterior.
14. ¿Cuáles de las siguientes características definirían la herramienta *Elements 4D* como recurso didáctico? (Puedes marcar más de una).
- Versátil       Adecuada       Interactiva       Didáctica/pedagógica/educativa
  - Atractiva       Facilidad de uso       Divertida       Enriquecedora
  - Económica       Dinámica       Flexible       Innovadora
15. Indica otras características positivas o negativas que definirían a *Elements 4D* como herramienta educativa.
16. ¿Consideras que *Elements 4D* facilita el aprendizaje de la asignatura de Química?
- Nada       Poco       Algo       Bastante       Mucho
17. ¿Qué nivel de manejo estimas que has alcanzado en el uso de *Elements 4D*?
- Nivel bajo       Nivel medio       Nivel alto       Nivel muy alto