

Incorporación de realidad aumentada en el desarrollo de la visualización. Un estudio con estudiantes de secundaria en torno al modelo atómico

Incorporation of Augmented Reality for the Development of Visualization Capabilities. A Study of High School Students Understanding of the Atomic Model

Cristian Merino¹ y Álvaro García²

¹ Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Resumen

El artículo presenta el itinerario realizado para la construcción e implementación de una secuencia de enseñanza aprendizaje en Química, para estudiantes de educación secundaria de la ciudad de Bogotá, que contiene apoyos tecnológicos soportados en realidad aumentada, y cuyo objetivo fue promover la visualización del fenómeno en estudio. Las actividades propuestas buscaron que los participantes fueran capaces de describir, relacionar, explicar e interpretar espectros de emisión y la naturaleza dual de los electrones. Para el diseño, elaboración y evaluación de la secuencia se recurrió al modelo de investigación de diseño educativo. Los datos recolectados corresponden a las producciones de los estudiantes de secundaria, que forman parte de las actividades de la secuencia y son comparados con una matriz de niveles de representación. Los resultados sugieren que, una vez finalizada la secuencia, las producciones elaboradas por los participantes transitan inicialmente desde representaciones que se corresponden con una descripción icónica del fenómeno, hacia aquellas que contienen una mayor carga semántica y semiótica. Se concluye que el recurso podría favorecer los procesos de visualización y se discuten algunas limitaciones del estudio.

Palabras clave: didáctica de la Química, educación secundaria, modelo atómico, realidad aumentada, representación, visualización.

Correspondencia a:

Cristian Merino Rubilar
Instituto de Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
Av. Universidad 330, Edificio Facultad de Ciencias, 4º Piso, Oficina 26, Curauma, Valparaíso, Chile.
cristian.merino@pucv.cl

Financiamientos asociados: a) Fondo Nacional para el Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondecyt 1150659 y Fondecyt 1180619) de la Comisión Nacional para la Investigación Científica y Tecnológica (Conicyt); b) ACACIA, 561754-EPP-1-2015-1-CO-EPPKA2- CBHE-JP, cofinanciado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea. Los autores agradecen especialmente al profesor Juvenal Molina y a la Institución Educativa Distrital Marsella, por su apoyo y colaboración en la aplicación del recurso.

© 2019 PEL, <http://www.pensamientoeducativo.org> - <http://www.pel.cl>

Abstract

The article presents the activities that embodied a teaching-learning sequence (TLS) that were then implemented in a high school Chemistry class in Bogotá, Colombia. The novel approach to the TLS in the chemistry course was the implementation of augmented reality to support the visualization of the phenomenon under study. The activities were designed to support participants in being able to describe, relate, explain and interpret emission spectra and the dual nature of light. The Educational Design Research model was used to understand the impacts of augmented reality on students' visualization capabilities. The data collected correspond to the productions of high school students visualization capabilities, and are compared with a matrix of levels of representation. The results suggest that, once the TLS is completed, students initial understanding moved from representations that correspond to an iconic description of the phenomenon, towards those that contain a greater semantic and semiotic load. The conclusions indicates that the TLS utilizing AR favors visualization processes for students. Limitations of the study are also discussed.

Keywords: atomic model, augmented reality, Chemistry teaching, secondary education, representation, visualization.

Introducción

Enseñar y aprender ciencias, especialmente Química, con estudiantes de diferentes niveles educativos, es una tarea compleja (Childs, Markic & Ryan, 2015; Childs & Sheehan, 2009). La investigación internacional señala que solicitamos a nuestros estudiantes de forma constante la interpretación de fenómenos mediante entidades como átomos, iones, moléculas, y otras estructuras, que son invisibles ante la simple mirada de cualquier espectador, con un lenguaje que es propio de la disciplina, pero muy ajeno para nuestros estudiantes (Taber, 2018), así como también los animamos a escribir en una hoja de papel ecuaciones químicas, sin considerar a veces la abundante carga teórica y experiencial que hay detrás de ese constructo. Este proceso de acceder y leer el libro de la naturaleza a través de modelos (Talanquer, 2010), se correlaciona con el objetivo de la educación científica: promover la capacidad de usar el conocimiento científico, de identificar problemas y sacar conclusiones basadas en evidencia (y saber comunicarlas), ayudar a tomar decisiones sobre el mundo natural y los cambios producidos en él a causa de la actividad humana (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD, 2018).

Lograr este desafío no es fácil, ya que requerimos que nuestros estudiantes sean capaces de formar en sus mentes una imagen visual de un fenómeno, que puede no ser parte de su contexto, o bien, solo corresponde a un fenómeno de laboratorio, por ejemplo, que se imaginen el movimiento de las partículas, y así poder explicar el comportamiento de un gas, y con ello comprender qué ocurre con los neumáticos de sus bicicletas cuando quedan expuestos al sol. Esta capacidad se conoce como *visualización*, y es una habilidad esencial en la comprensión de las ciencias (Gilbert, 2005; 2008), ya que busca construir explicaciones causales de los fenómenos a través de las experiencias con el mundo y, en ocasiones, algunas de ellas no son necesariamente visibles para el ojo humano (Jones, Gardner, Taylor, Wiebe & Forrester, 2011).

Pese a ello, una cosa es imaginarse un modelo corpuscular para explicar la naturaleza de la materia, y otra muy distinta es poder imaginarse la estructura interna de un átomo y las reglas de juego con las que funciona (Merino & Sanmartí, 2008). Por ejemplo, en el contexto escolar, el modelo atómico de Bohr sigue siendo usado para explicar la naturaleza de la luz y los colores, debido a su simpleza y capacidad de expresión (Taber, 2003). En cambio, actualmente en Química para el estudio del átomo se recurre a las ecuaciones de Schrödinger y Dirac, que responden a un conjunto de resultados posibles y su distribución de probabilidad.

Indudablemente la investigación en el área en torno a este tema es amplia y extensa (Barker, 2000). Los resultados han permitido generar un vasto espectro de recursos, textos, simuladores, aplicaciones y entre otros (por ejemplo, PhET, del acrónimo en inglés Physics Education Technology), para ayudar en su comprensión. Sin embargo, el uso del modelo atómico de Bohr continúa siendo ampliamente utilizado en textos escolares, con información soportada en imágenes, esquemas y dibujos, con lo que se espera que los estudiantes puedan proporcionar respuestas a preguntas que son aparentemente simples: ¿Cuál es la naturaleza de la luz? o ¿cuál es el origen de los colores?, entre muchas otras.

En la actualidad, diferentes recursos tecnológicos como por ejemplo APK (Android Application Package, del acrónimo del inglés Android Application Package; Paquete de Información de Android, en español), para dispositivos móviles representan una estrategia para promover la organización de la información o el uso y prueba del modelo¹. En virtud de las ideas anteriormente presentadas, y situados desde la didáctica de las ciencias como una ciencia del diseño de la actividad científica escolar (Izquierdo, 2007), nuestro interés fue promover la visualización en los estudiantes, para lo cual el presente artículo muestra los resultados de la implementación de una secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) con inclusión tecnológica, documentando posibles progresos de los estudiantes en su capacidad de visualizar fenómenos luminosos.

Visualización y su importancia para la clase de ciencias

La visualización es un campo de investigación en enseñanza de las ciencias que ha ido creciendo rápidamente. Gilbert (2008), en una revisión referida a la interpretación de la visualización, resalta tres usos del término en el campo de la psicología y de la investigación educativa:

- A. Visualización como representación externa, que se refiere a formas de representación con finalidad didáctica (gráficos, diagramas, etc.).
- B. Visualización como representación interna, definida como constructo mental o modelos mentales.
- C. Visualización como habilidad espacial, que contempla la capacidad para representar, analizar y manipular objetos mentalmente.

A lo anterior debemos sumar los aportes de Gilbert, Reiner & Nakhleh (2007), quienes adicionaron dos significados a la visualización. El primero, usado como “verbo” (visualizar un objeto, observar y atribuir significado), donde se destacan las cuestiones relacionadas con una forma de presentación visual (interna o externa), transformándose en un conocimiento. En el segundo significado, la visualización se asume como “nombre”, esto es, como algo que fue colocado para un público, un objeto material o virtual. En este último sentido, se analiza el impacto de las representaciones virtuales o su uso combinado con varias herramientas visuales en el aprendizaje.

1. Podemos encontrar ejemplos de ello en páginas de universidades reconocidas, como la Universidad de Colorado (<https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/hydrogen-atom>), y en el portal de recursos de la Royal Society of Chemistry (<http://www.rsc.org/learn-chemistry>).

Para Gilbert & Justi (2016) la visualización está relacionada con la formación de una representación interna a partir de una representación externa, de modo que se retiene la esencia y las relaciones temporales y espaciales características de la representación externa.

Al revisar las relaciones de la enseñanza de la química y la visualización, Wu y Shah (2004), concluyen que las habilidades viso-espaciales y las habilidades de razonamiento más generales son relevantes para el aprendizaje de esta disciplina, ya que algunos de los errores conceptuales de los estudiantes en esta materia se deben, precisamente, a dichas dificultades, para lo cual ciertas herramientas de visualización han sido eficaces ayudándolos a superar sus errores conceptuales. Como alternativa, los autores plantean cinco principios para diseñar recursos para promover la visualización:

- A. Incluir múltiples representaciones y descripciones, por ejemplo, imágenes, diagramas, esquemas.
- B. Hacer visibles las conexiones referenciales, por ejemplo, cómo se verifican las relaciones espaciales de las moléculas de una sustancia con su estado de agregación.
- C. Presentar la naturaleza dinámica e interactiva de la química, por ejemplo, explicitar la provisionalidad de un modelo (átomo).
- D. Promover la transformación entre 2D y 3D, por ejemplo, por medio de la utilización de software gratuitos que facilitan esta tarea a través de plantillas prediseñadas.
- E. Reducir la carga cognitiva al hacer que la información sea explícita e integrar información para los estudiantes.

No obstante, estas recomendaciones —en rigor— no son necesariamente algo propio para el diseño de una actividad que promueva la visualización. En efecto, los principios del diseño universal para el aprendizaje contienen estos consejos —entre otros— que permiten ampliar el repertorio de criterios en el diseño de recursos (Duque, Merino y Contreras, 2012).

Cada uno de estos elementos se retomó a la hora de diseñar la secuencia descrita en este artículo, como la inclusión de Realidad Aumentada (RA)². Ahora bien, el uso de recursos para promover la visualización no necesariamente garantiza el éxito en una intervención didáctica, ya que esta requiere de un proceso guiado, reflexión y diálogo permanentes entre los estudiantes y el recurso, que posibilite comprender el fenómeno en estudio desde diferentes puntos de vista, con nuevas descripciones y cambios de escala (Moro, Stromberga, Raikos & Stirling, 2017).

Ahora bien, desde la semiótica social de las representaciones, las imágenes con las que se promueve el proceso mental de la visualización forman parte del sistema simbólico del ser humano (como las letras o los números), y sirven para recoger, empaquetar y presentar información en el proceso del aprendizaje, por ejemplo, en las clases de Química correspondería a la lectura de los símbolos químicos, su significado y las propiedades que hay detrás cada uno. Estos símbolos forman parte de la enseñanza de las ciencias en el aula (Química), entendidos como un recurso para que el estudiante aprenda el conocimiento disciplinar y, como tal, influye en las ideas de representación mental y en la retención de información (Kress & Leeuwen, 2006).

Es por esto que las imágenes pueden ser útiles para la discriminación visual y en la entrega de conceptos funcionales, orientando parte de la complejidad de los procesos de aprendizaje hacia la generación de relaciones de referencia entre las ideas de los estudiantes y los objetos o fenómenos reales (Lloréns, 1991). Estos procesos cognitivos de las imágenes van más allá de la percepción visual, por lo que se conocen como *capacidad metavisual*, esto es, una propiedad que explica la multidimensionalidad de aspectos que influyen en la cognición visual y

2. Esta información se encuentra disponible en el siguiente enlace:

<https://specto.pucv.cl/wp-content/uploads/2019/04/ModeloMecanoCuanticoVF.pdf>

sus influencias en el aprendizaje (Padilla, 2009). Podemos apreciar un ejemplo de ello cuando el libro de texto presenta un fenómeno con imágenes que proveen diferente información al lector, las que no se encuentran organizadas según su complejidad y riqueza, por ejemplo, de modo que se puede presentar una fotografía de un día soleado, y apreciar cómo el contraste de luz influye en la percepción de colores de un cerro, así como también podrían figurar los rayos de luz en la lente de la cámara cuando apunta directamente al sol, es decir, una imagen real puede convivir en una página del texto escolar junto con una ilustración de una representación del átomo, para poder explicar, en su conjunto, un determinado fenómeno. Este ejemplo ilustra igualmente las posibles dificultades en el proceso de aprendizaje, ya que los niveles de representación y escala no están presentes. Por ejemplo, los estudiantes pueden considerar que el modelo que perciben en una ilustración es real, y relacionarlo de igual manera como la foto de un paisaje que se encuentra en la misma página del libro, sin contar con una escala de referencia de tamaño (por ejemplo, 1 mm en la foto es proporcional a 1 cm en el objeto real) (Prieto y Velasco, 2008).

Dificultades en el aprendizaje de las ciencias cuando no se ha desarrollado la habilidad de visualización

En el proceso de enseñanza aprendizaje, la interacción entre docente y estudiante se realiza de manera permanente por medio de una comunicación activa, por lo que ambas partes deben compartir el mismo lenguaje (Taber, 2014; 2015). Sin embargo, el lenguaje utilizado en la clase de ciencias —y en especial en la clase de Química— es específico y diferente al utilizado cotidianamente, por lo cual las imágenes como símbolos forman parte de la explicación, la interpretación y el análisis de los casos. Estos modelos de interacción entre docente y estudiantes constituyen un lenguaje simbólico que desempeña un importante rol en el proceso de visualización de entidades no visibles, como los modelos de átomos, los electrones y los vectores de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, entre otras (Nappa y Pandiella, 2013).

Vemos así que estas representaciones forman parte de un recurso para ayudar a construir el conocimiento disciplinar, por lo que el docente a cargo de la enseñanza debe implementar los sistemas simbólicos más apropiados para este fin, de modo que los estudiantes conozcan el lenguaje visual propio y puedan interpretarlo. Desde esta perspectiva, manifestar la importancia en las lecturas de las imágenes para extraer información acerca de los distintos fenómenos es una competencia completamente diferente de la interpretación escrita de textos escolares, ya que desarrolla una estrategia alternativa para la enseñanza o el aprendizaje de fenómenos científicos (Savinainen, Mäkynen, Nieminen & Viiri, 2017).

Ahora bien, para que las imágenes tengan un rol importante en el aprendizaje es necesario que los docentes guíen a los estudiantes para que logren percibir las ilustraciones, las fotografías o las imágenes de modelos mediante la atención, la exploración o la interpretación en el proceso óptico conducido por el estímulo al observar una imagen y, con ello, lograr la visualización y poder procesar y asimilar la información. El enfoque de la observación en los estudiantes abre un universo cognitivo, porque pese a que se pueden adquirir algunas destrezas intuitivas para leer imágenes, las personas con poca experiencia se encuentran con problemas para llegar a comprender la información icónica a cabalidad. Esto indica que el lenguaje de las imágenes no es universal y requiere de una enseñanza explícita, particularmente si se quiere que los estudiantes puedan obtener la mayor cantidad de información en los procesos de visualización (Berney, Bétrancourt, Molinari & Hoyek, 2015). Adicionalmente Evagoru, Erduran & Mäntylä (2015) señalan que en la enseñanza de la ciencia, el énfasis en la visualización debe ir más allá de la comprensión cognitiva (utilizando los productos de la ciencia para comprender el contenido) y, con ello, participar en los procesos de visualización. Además, sugieren que es esencial diseñar materiales curriculares y entornos de aprendizaje que creen un contexto social y epistémico, invitando a los estudiantes a participar en la práctica de

la visualización como evidencia, razonamiento, procedimiento experimental o un medio de comunicación, y reflexionando en torno a estas prácticas. Esto sería un factor clave en el diseño de actividades interdisciplinarias que contemplen, por ejemplo, un enfoque integral entre las ciencias, tecnologías, ingeniería y matemáticas³.

Algunas orientaciones para el diseño de secuencias de aprendizaje con tecnología

Una línea de investigación activa en educación científica es el diseño, implementación y análisis epistemológico de las actividades presentes en una SEA en ciencias (Méheut & Psillos, 2004; Testa & Monroy, 2016). No obstante, el diseño de una secuencia que incluya visualizaciones externas para promover determinadas capacidades requiere considerar ciertos aspectos, entre ontológicos y epistemológicos, que apuntan a la naturaleza del conocimiento científico (Méheut & Psillos, 2004).

El aprendizaje visto desde el paradigma de la cognición situada y desde la multidimensionalidad del proceso de aprendizaje precisa de muchas variables para que los estudiantes desarrollen un aprendizaje efectivo (Méheut & Psillos, 2004), de acuerdo con la visión constructivista de la enseñanza. Sin embargo, una forma de orientar el proceso es a través de un ciclo del aprendizaje explícito, el cual se construye a partir de actividades cuyos contenidos y procedimientos están soportados en procesos metacognitivos y de regulación docente. En este caso, las actividades se orientan desde aquellas ideas y fenómenos conocidos por los estudiantes para luego, de forma gradual, aumentar la complejidad y abstracción de los conceptos que se desean abordar (Merino & Sanmartí, 2008).

Por otra parte, en la última década el aprendizaje apoyado por tecnologías se ha visto reforzado por la aplicación de recursos emergentes como la computación móvil y la RA, la cual permite combinar los objetos del mundo real con objetos virtuales que parecen coexistir en el mismo espacio (Azuma et al., 2001; Azuma, 1997; Azuma, 1993). De este modo, con la RA los estudiantes se pueden beneficiar de la relación que tienen los objetos del espacio que los rodea con los conceptos aprendidos, adquiriendo destrezas en su proceso de aprendizaje para interpretar el conocimiento con experiencias y experimentación en el mundo real (Fabri et al., 2008).

De igual manera, en el proceso de enseñanza se pueden integrar materiales altamente interactivos en situaciones y entornos donde la descripción de los objetos, su funcionamiento y los conceptos relacionados con ellos son complejos de explicar y conllevan un esfuerzo mayor en su aprendizaje. Durante los últimos años ha habido una tendencia de combinar las tecnologías con la RA para lograr la creación de aplicaciones que se benefician de las características de portabilidad, acceso inmediato y brevedad en la información lograda, por ejemplo, con los dispositivos móviles (Papagiannakis, Singh, & Magnenat-Thalmann, 2008). Sin embargo, esta combinación y su aplicación en escenarios educativos sigue siendo un área de investigación abierta. En efecto, si bien abundan recursos, pareciera ser que faltan lineamientos para la descripción de contenidos educativos “basados en o con realidad aumentada” y metodologías para el diseño y creación de estos materiales altamente interactivos, para lograr un aprendizaje personalizado en cualquier lugar y en cualquier momento.

Ahora bien, usualmente en educación en ciencias, la creación de aplicaciones con RA utiliza datos que son generados por computador y superpuestos en el campo de visión de los usuarios para proporcionar información adicional sobre su entorno o ser una guía visual para la realización de una tarea (Yu, Jin, Luo, Lai & Huang, 2010). La integración de este tipo de aplicaciones al diseño de secuencias para promover la visualización es un desafío y una oportunidad que permitiría presentar al estudiante contenidos altamente interactivos que respondan a sus expectativas y necesidades, con el fin de que puedan interpretarlos, relacionarlos con el mundo real y fomentar el desarrollo de competencias para enfrentar los problemas asociados al entorno (Merino, Pino, Meyer, Garrido y Gallardo, 2015).

3. Se puede encontrar mayor bibliografía respecto de esta aproximación bajo el acrónimo en inglés STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics).

Metodología

Dado que nuestro objetivo fue estudiar cómo se promueve la capacidad de visualización en los estudiantes al estudiar fenómenos luminosos a través de la implementación de una SEA con inclusión tecnológica, se recurrió a un enfoque de diseño de investigación educativa (Plomp, 2009), la cual propone tres fases de trabajo: levantamiento de información, elaboración y evaluación.

El proceso de validación del recurso contempló dos etapas: una primera que denominamos *interna*, donde utilizamos una adaptación del modelo de John Elliot (1990) que implica la planificación y diseño de las actividades, y la puesta en práctica de ellas en el aula, la recolección de información, y la toma de decisiones para el cambio (en este caso, de las actividades) y una segunda etapa llamada *externa*, en la cual recurrimos al modelo de evaluación respondiente de Robert Stake (2004), que cuenta con el levantamiento de ideas acerca de la planificación, en contraste con la implementación de las ideas trabajadas en el aula, de modo de conseguir un grado de consecuencia y coherencia en el instrumento implementado.

Levantamiento de información

Para la selección de temas que aborda la SEA de este estudio, se elaboró un cuestionario digital para conocer las apreciaciones de los docentes respecto de aquellos temas del currículo de Química escolar más complejos para enseñar, y en donde el recurso tecnológico (RA) podría ser un apoyo. Para la elaboración del instrumento se listaron todas las unidades de aprendizaje del currículo chileno de Química de 1º y 2º año de educación media a partir del ajuste curricular de 2012 (Ministerio de Educación de Chile, Mineduc, 2009). Así mismo, se solicitó a los docentes que seleccionaran un máximo de seis unidades del listado de contenidos que, según su parecer, tendrían un alto potencial para ser ambientados con RA. El cuestionario incluyó algunos ejemplos representativos para que los participantes tuvieran una mejor referencia del recurso. El primer ejemplo correspondió a una actividad donde solo se recurre a la visualización de un objeto, mientras que en el segundo ejemplo se hacía referencia a una actividad que incluía interacción y animación (ver Anexo 1). Adicionalmente, el instrumento fue sometido a validación de jueces externos con formación en educación en ciencias e investigadores en el área, quienes analizaron cada uno de los elementos del instrumento y los ítems de los contenidos a evaluar, consolidando una versión final.

Adicionalmente, se consideró la revisión de los textos escolares chilenos con la finalidad de construir una perspectiva acerca de cómo se organiza la información escrita e ilustrativa en estos libros educativos. Con este fin, se seleccionaron los dos textos escolares más usados por estudiantes de entre 14 y 15 años⁴. Para la revisión se usó un criterio de función de la imagen en la secuencia propuesta íntegramente por autores Perales y Jiménez (1996), los cuales hemos empleado en otros estudios para establecer una línea de base (Quiroz & Merino, 2015). Los criterios para revisar las imágenes y conocer su función didáctica en la secuencia, fueron los siguientes:

- A. Evocación. Se hace referencia a un hecho de la experiencia cotidiana o concepto que se supone conocido por el alumno.
- B. Definición. Se establece el significado de un término nuevo en su contexto teórico.
- C. Aplicación. Es un ejemplo que extiende o consolida una definición.
- D. Descripción. Se refiere a hechos o sucesos no cotidianos que se suponen desconocidos por el lector y que permiten aportar un contexto necesario.

4. Se trata de Química de la editorial Calicanto (2013) y Química, de la editorial Mc Graw Hill (2015).

E. Interpretación. Son pasajes explicativos en los que se utilizan los conceptos teóricos para describir las relaciones entre acontecimientos experimentales.

F. Problematización. Se plantean interrogantes no retóricas que no pueden resolverse con los conceptos ya definidos.

Los resultados del cuestionario aplicado a los profesores respecto de los temas más complejos de enseñar y la revisión de textos con los criterios anteriormente indicados, se constituyeron en la información de base para el diseño y construcción de una secuencia a partir de los objetivos de aprendizaje escogidos.

Elaboración de la secuencia y APK

A partir de la fase de levantamiento de información, y en especial de la revisión de los libros de textos, se construyó una secuencia cuya intención explícita fue que en cada actividad que los estudiantes realizaran, se obtuviera como producto un dibujo de las ideas desarrolladas en clases, con la finalidad de registrar los datos y posteriormente analizarlos.

En la Tabla 1 se describen los objetivos de aprendizaje de cada una de las actividades presentes en la secuencia. En relación con su temporalidad, en las pruebas de campo hemos visualizado que ello dependerá de las condiciones de trabajo del docente, de la infraestructura del centro y de la capacidad de trabajo de los estudiantes, entre otros factores. Sin embargo, recomendamos ir desarrollando un máximo de dos actividades por sesión de 45 minutos.

Tabla 1. Secuenciación de actividades

Nombre de la actividad	Objetivo de aprendizaje de la actividad
A1. ¿Cómo funcionan los fuegos artificiales?	Identificar las características de las estructuras de fuegos artificiales y proporcionar preguntas iniciales acerca del origen de su coloración.
A2. La naturaleza de la luz.	Incorporar nuevas variables para estudiar los fenómenos a partir de teorías corpusculares y ondulantes de la luz.
A3. La huella dactilar digital de los fuegos artificiales.	Explicar los espectros de absorción y emisión y su relación con el espectro de luz visible.
A4. El átomo de hidrógeno y el modelo de Niels Bohr.	Utilizar el modelo de Bohr para explicar la absorción o emisión de energía cuantizada (fotones) y su relación con el espectro de luz visible.
A5. Ensayos virtuales a la llama con sales.	Prever y explicar el comportamiento de ciertas sales expuestas a una fuente de energía y relacionar el color de la llama con el espectro de luz visible y los fuegos artificiales.

Fuente: Elaboración propia.

La secuencia construida se formalizó en un cuaderno de trabajo para el estudiante, disponible en formato PDF, y en fichas de trabajo en formato Microsoft Word⁵.

Para el funcionamiento de la secuencia con RA se requiere de un complemento que es una aplicación (APK), la cual está disponible para su descarga y uso gratuito en la plataforma GooglePlay⁶. La APK SPECTO© (PUCV, 2017) puede ser cargada en cualquier dispositivo móvil con sistema operativo Android 4.1 o superior. Se optó por este sistema operativo por ser un software que se encuentra presente mayormente en los sistemas educativos escolares.

5. La información se encuentra disponible en la página web: <http://specto.pucv.cl>. Además de esta secuencia se pueden encontrar otras en las áreas de Química, Física, Biología para educación media y universitaria, como también una galería de imágenes de registro de diferentes implementaciones.

6. Acceso directo en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=cl.PUCV.SpectoModeloMecanicoCuantico&hl=es>.

Para desplegar este recurso se utilizó Unity 3D (Unity Technologies, 2019) como ambiente de desarrollo, por sus características de gratuidad y versatilidad para empaquetar el producto para diversas plataformas, cantidad de documentación existente y gran soporte para la búsqueda de soluciones. Unity permite desarrollar el ambiente, diagramación, efectos de luz, programación de sonido, etc., en tanto que para la incorporación de RA se utilizó el software SDK Vuforia en su versión 5.0.6 (PTC Technologies, 2019). Ambos software son gratuitos siempre y cuando el desarrollo no sea con fines comerciales. Inicialmente habíamos seleccionado Metaio como SDK para desarrollar RA, sin embargo, al poco tiempo de trabajo, esta dejó de ser una herramienta de desarrollo gratuita, lo que nos obligó a reevaluar las opciones disponibles y elegir SDK Vuforia. Para el desarrollo de los objetos 2D animados y 3D se utilizó el software Blender versión 2.72 (The Blender Foundation, 2019). El desarrollo de aplicaciones de RA está bastante documentado en términos técnicos, sin embargo, en cuanto a la metodología de desarrollo en donde confluyen los diversos profesionales no necesariamente es posible encontrar documentación suficiente.

Otra de las dificultades con las que nos encontramos en el desarrollo guarda relación con las imágenes que se utilizan como marcas. Puesto que nuestra temática es precisamente la capacidad de visualización, es de vital importancia que cada imagen o icono tenga un valor más allá de la simple decoración dentro de una guía de trabajo (Figura 1). En este sentido las imágenes que se utilizaron como marca para activar recursos visuales se transformaron en una dificultad, toda vez que debían cumplir diversos criterios para ser aceptadas: a) ser representativas y valiosas desde el punto de vista del contenido; b) provenir de fuentes propias o ser distribuidas bajo licencia tipo creative commons para resguardar los derechos de autor; y c) tener una calificación ideal de cinco estrellas en el SDK de Vuforia. Otra de las dificultades que hubo que sortear fueron aquellas marcas cuya carga del objeto 3D era espacialmente de gran tamaño, para dar la idea de proporcionalidad. Esta dificultad se resolvió mediante programación en lenguaje C Sharp (C#).



Figura 1. Recurso conformado por la guía de trabajo y la aplicación.
Fuente: Elaboración propia.

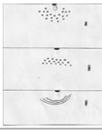
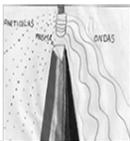
Evaluación de las producciones de los estudiantes a partir del recurso

En la literatura especializada es posible encontrar abundantes estudios en el área de las ciencias de la salud que refieren el uso de RA para robustecer procesos formativos, especialmente en temáticas relacionadas con el conocimiento de la anatomía (Almenara, Barroso, y Obrador, 2017; Küçük, Kapakin & Göktas, 2016; Moro

et al., 2017). Sin embargo, mayoritariamente estos estudios recurren a aproximaciones metodológicas desde un paradigma cuantitativo y a diseños cuasi experimentales, con pruebas de lápiz y papel centradas netamente en la apropiación de conocimiento disciplinar.

En nuestro caso, puesto que nos interesa poder estudiar la relación entre el uso del recurso y evaluar posibles cambios o desarrollos de los estudiantes en su capacidad de visualizar el fenómeno en estudio, en este caso el de la luz, encontramos en la propuesta de Kozma & Russell (2005), una jerarquización basada en niveles de representación y visualización en ciencias (Tabla 2), la cual hemos adaptado para asociarla al fenómeno de estudio. Otros estudios también han recurrido a esta propuesta, elaborando rúbricas y protocolos (Philipp, Johnson & Yeziarski, 2014), y por ello también la consideramos para revisar las producciones estudiantiles.

Tabla 2. Niveles de representación de Kozma y Russell (2005)

Código	Niveles	Descripción	Ejemplo dibujo
N1	Nivel 1. Representación como una descripción.	Cuando se le solicita representar un fenómeno físico, la persona genera representaciones basadas solo en sus características físicas. Es decir, la representación es un isomorfo, una descripción icónica del fenómeno en un punto determinado en el tiempo.	
N2	Nivel 2. Capacidades simbólicas primitivas.	El estudiante puede estar familiarizado con un sistema de representación formal, pero su uso no es más que una lectura literal de las características de la superficie de representación, sin tener en cuenta la sintaxis y la semántica.	
N3	Nivel 3. Uso sintáctico de representaciones formales.	El estudiante es capaz hacer conexiones a través de dos representaciones diferentes de un mismo fenómeno, basadas únicamente en las reglas sintácticas o características superficiales compartidas, en lugar del significado subyacente de las diferentes representaciones y sus características compartidas.	
N4	Nivel 4. Uso semántico de representaciones formales.	El estudiante puede proporcionar un significado común subyacente para varios tipos de representaciones superficialmente diferentes y transformar cualquier representación dada en una representación equivalente en otra forma. El estudiante utiliza de forma espontánea representaciones para explicar un fenómeno, resolver un problema, o hacer una predicción.	
N5	Nivel 5. Uso reflexivo.	El estudiante puede usar las características específicas de la representación para justificar las problemáticas dentro de un contexto social y retórico. Él o ella puede seleccionar o construir la representación más adecuada para una situación particular y explicar porqué la representación es más apropiada que otra.	

Fuente: Kozma y Russell, 2005.

Para la operacionalización de las variables, las producciones de los estudiantes fueron revisadas y clasificadas de acuerdo con los niveles descritos en la Tabla 2. De esta forma, se considera la variable [M] como la cantidad total de estudiantes; en cuanto a los niveles de Kozma-Rusell (citado también en Gilbert, 2005) se representaron con la variable [N] y los valores fluctuaron de 1 a 5, donde el Nivel 1 (N1) era el nivel de representación más simple y el Nivel 5 (N5) el más complejo y robusto.

Para validar la matriz se recurrió al uso del test de índice de kappa (índice de concordancia) entre dos expertos en el contenido (química y en didáctica de la especialidad). Existen varios índices de concordancia propuestos, donde el más fehaciente es la proporción de acuerdos observados, es decir $(a + d) / N$, siendo un índice muy intuitivo y fácilmente interpretable, ya que toma valores entre 0 (*total desacuerdo*) y 1 (*máximo acuerdo*). Sin embargo, como indicador de reproducibilidad tiene el inconveniente de que aun si los dos observadores clasifican con criterios independientes, eventualmente, se podría producir un cierto grado de acuerdo por azar. Es deseable que un índice de concordancia tenga en cuenta este hecho y que, de algún modo, indique el grado de acuerdo que existe por encima del esperado por azar. En este sentido, el índice más usado es el propuesto por Cohen (ecuación 1) denominado índice kappa (k) que se define como:

$$K = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}$$

Siendo P_0 la proporción de acuerdos observados y P_c la proporción de acuerdos esperados en la hipótesis de independencia entre los observadores, es decir, de acuerdos por azar. En nuestro caso, el grado de acuerdo en la clasificación de los dibujos fue 0,8011 para el pretest y 0,6323 para el postest, en tanto que según el valor K , para el caso de la clasificación de los dibujos del pretest habría un 80,0% de acuerdo máximo y un 20,0% del esperado por azar y en el caso del postest habría un 63,2% de acuerdo entre los dos pares de expertos y un 36,8% asociado al azar. Según Cerda y Villaroel (2008) para valores obtenidos en el rango [0,61-0,80], el grado de acuerdo es considerado sustancial.

La muestra

En el espíritu de no influenciar los resultados de los estudiantes, buscamos una muestra lo más externa posible en la cual implementar el recurso. Por ello, invitamos al Grupo de Investigación en Educación en Ciencias Experimentales (GREECE) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia), para que seleccionara un establecimiento escolar donde poder llevar a cabo el proceso masivamente. Así, la muestra original corresponde a un total de 106 estudiantes de entre 14 y 15 años, distribuidos en tres cursos de grado décimo: A (17 mujeres y 19 hombres), B (13 mujeres y 22 hombres) y C (13 mujeres y 22 hombres), pertenecientes a la Institución Educativa Distrital Marsella (Bogotá, Colombia). Antes de la implementación, los estudiantes y apoderados fueron informados de la participación en el estudio, y firmaron una carta de consentimiento informado (Anexo 2), el cual resguarda su identidad e integridad.

Resultados

Respecto del tema seleccionado para el diseño de la secuencia

El cuestionario para la selección de los temas del currículo de Química escolar chileno donde sería más pertinente el recurso tecnológico (RA) se envió en formato electrónico a 5.166 establecimientos educacionales de Chile —a través del directorio de la Secretaría Ministerial—, dirigido a profesores de ciencias del establecimiento. Se obtuvo un número de 268 respuestas, y de estas 132 se respondieron de forma efectiva (2,6%). Si bien la tasa de respuestas no fue suficientemente representativa, los seis temas más seleccionados por los docentes que tendrían un alto potencial para ser ambientados con RA a través de un recurso de aprendizaje fueron: a) modelo mecánico-cuántico (28,7%); b) distribución espacial de las moléculas (28,0%); c) fuerzas intermoleculares (23,4%); d) propiedades coligativas (21,9%); e) propiedades físico-químicas del carbono (18,9%); y, g) estereoquímica e

isomerismo (25,0%). Del ejercicio anterior y para el desarrollo de este trabajo, se escogió el modelo atómico debido a que es un contenido con un alto nivel de abstracción, ya que representa fenómenos microscópicos de la materia y, por lo general, se acompaña el modelo atómico con representaciones visuales como dibujos, gráficos y esquemas (Nappa y Pandiella, 2013).

La revisión de los textos

El cuestionario anterior nos permitió la selección del tema para el diseño de la secuencia, esto es, los espectros de emisión y la naturaleza dual de los electrones según modelo atómico de Bohr. Luego de ello procedimos a revisar su presentación en los textos escolares, para lo cual se seleccionaron los dos textos escolares de mayor distribución ya señalados previamente. A continuación, se escogieron las imágenes presentes en las páginas donde se aborda la temática de la lección. Se obtuvo un total de 23 imágenes que, al revisarlas con los criterios de Perales y Jiménez (1996), manifiestan las siguientes frecuencias porcentuales: a) evocación (21,7%); b) definición (13,0%); c) aplicación (26,0%); d) descripción (21,7%); e) interpretación (17,3%); y f) problematización (0%). Se observa, entonces, una ausencia de la función problematización, y un bajo porcentaje en definición, mientras que existe una alta frecuencia de imágenes donde la función primordial es la de aplicación (26,0%). En virtud de este mapeo, consideramos que las imágenes presentes en el diseño de la secuencia representarían un aporte en los aspectos de evocación, interpretación y problematización.

En cuanto al análisis de las producciones de los estudiantes

Antes de comenzar a trabajar con la secuencia y su aplicación, se les indicó a los estudiantes colombianos que dibujaran la siguiente situación:

Considera que estás en una habitación donde solo hay una ampolleta, como la que se presenta a continuación. Si con un interruptor enciendes la ampolleta de la habitación:

A. Dibuja en la siguiente imagen cómo se repartirían los rayos de luz saliendo de la ampolleta encendida en la habitación.

De la muestra original de participantes ($n = 106$), se seleccionaron solo los dibujos de los estudiantes que completaron los pretest y postest, con lo cual la muestra se redujo a 92 pares de instrumentos revisados. Los dibujos fueron clasificados por dos expertos (profesores de química y de didáctica de las ciencias).

Respecto del pretest

En consonancia con la instrucción proporcionada de explicar cómo emite luz una ampolleta encendida en una habitación, pero en contraste con los niveles de representación (Tabla 2), del total de dibujos de los estudiantes el 9,8% de ellos (9 estudiantes) se clasificaron en el Nivel 1, considerando una representación concreta del fenómeno, es decir, en sus dibujos se encuentran detalles observables, pero sin modelar fenómenos no observables. El 89,1% de los dibujos elaborados por los estudiantes (82 estudiantes) se clasificaron en el Nivel 2, considerando en sus dibujos representaciones del fenómeno tanto observables como no observables, con el detalle de que entre sus dibujos se incluyen símbolos propios para expresar ideas no observables. El 1,1% de los dibujos (1 estudiante) se clasificaron en el Nivel 3, considerando representaciones al fenómeno observables y no observables, aunque a diferencia de los anteriores, estos fueron capaces de representar procesos de temporalidad. Finalmente, no se observaron dibujos que se lograran clasificar bajo un nivel de representación 4 y 5 respectivamente.

En relación con el postest

Una vez realizadas las cinco actividades que contiene la secuencia, donde cada una de ellas está soportada con RA, se volvió a aplicar el mismo instrumento de entrada. Ahora como postest, empleándose dibujos y escritura para dar explicación al fenómeno (cómo emite luz una ampolla encendida en una habitación). En contraste con los niveles de representación, el 6,5% de los dibujos (6 estudiantes) se clasificó en el Nivel 1, considerando una representación del fenómeno como concreta, con detalles observables, pero sin modelar fenómenos no observables; el 52,2% de los dibujos (48 estudiantes) se clasificó en el Nivel 2, considerando que sus dibujos correspondieran a representaciones del fenómeno tanto observables como no observables, además de símbolos propios para expresar la idea no observable; el 38,0% de los dibujos (35 estudiantes) se clasificó en el Nivel 3, cuyas representaciones de los fenómenos son observables y no observables, aunque a diferencia de los anteriores, estos fueron capaces de representar procesos iniciales, durante o finales; el 3,3% de los dibujos clasificados (3 estudiantes) alcanzó un nivel de representación 4, donde se aprecia un proceso para explicar el fenómeno de la ampolla encendida en la representación, implementando modelos de ideas válidas para la disciplina en estudio. No se encontraron dibujos para ser clasificados en Nivel 5 (Figura 2).

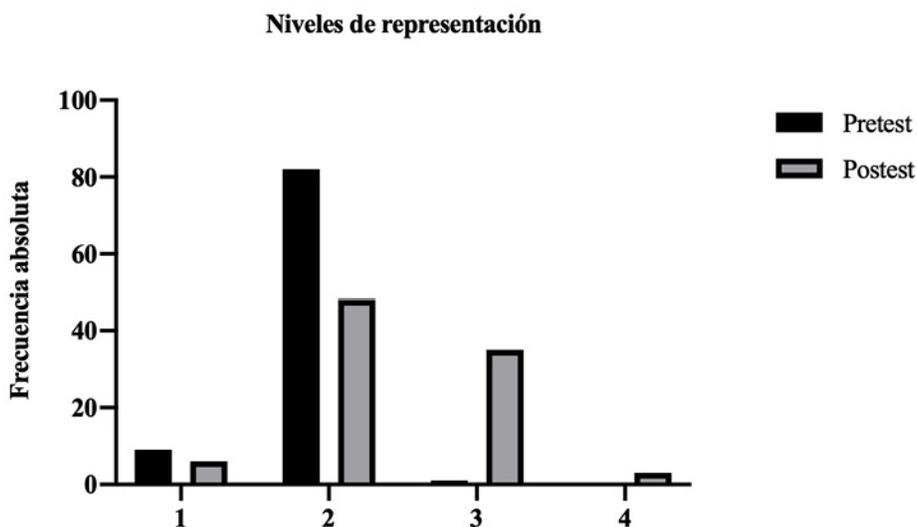


Figura 2. Niveles de representación detectados ($n = 92$).

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los resultados entre la situación inicial y final, logramos apreciar una transición desde niveles iniciales (N_1 y N_2) hacia los más robustos (N_3 y N_4). Esto podría indicar que el recurso, de cierta forma, complementa y favorece la visualización de aspectos no observables. La Figura 3 apoya esta idea, dado que se observa una representación inicial de una descripción icónica del fenómeno (Figura 3-A), hacia aquellas que contienen una mayor carga semántica y semiótica (Figura 3-B).

Dibujo A. Ejemplo de Nivel 1 de representación.

Dibujo B. Ejemplo de Nivel 3 de representación.

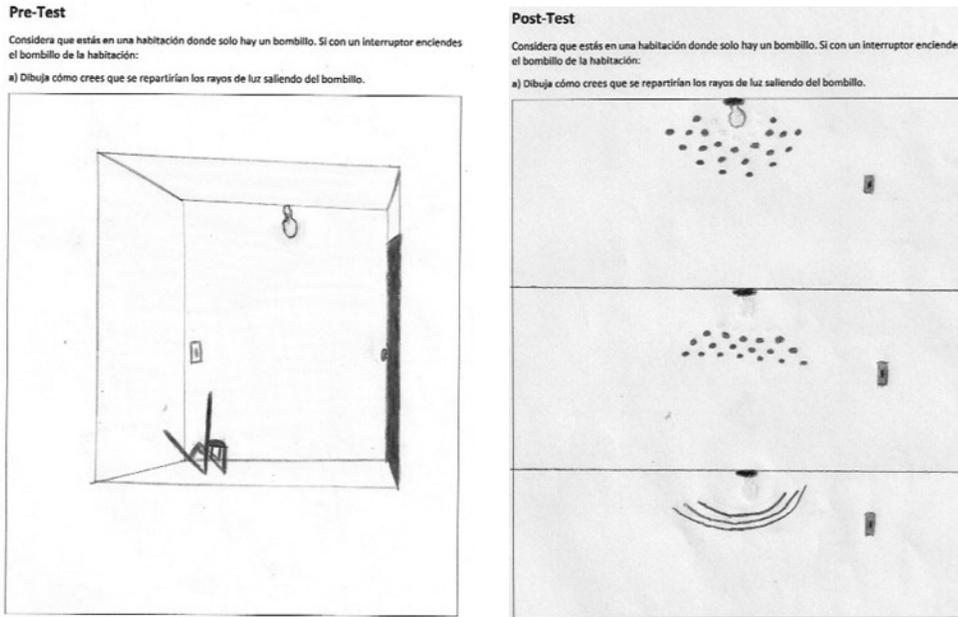


Figura 3. Ejemplos de dibujos generados por un estudiante en pretest y postest.
Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la prueba no paramétrica de Wilcoxon, usada para comparar las diferencias entre dos muestras de datos tomados antes y después de la secuencia con RA, indica que el valor del estadístico T es igual a 4,48. Así, con un valor de tabla de comparación de $Z = 1,64$ y un alfa de 0,05 se observa que el valor obtenido del estadístico estaría fuera del rango aceptación que establecería un valor de las medianas igual a cero. Consiguientemente, existe evidencia estadística para rechazar H_0 , es decir, hay diferencias significativas entre el pretest y el postest. Adicionalmente, al graficar todos los datos se observan mejores desempeños en el postest.

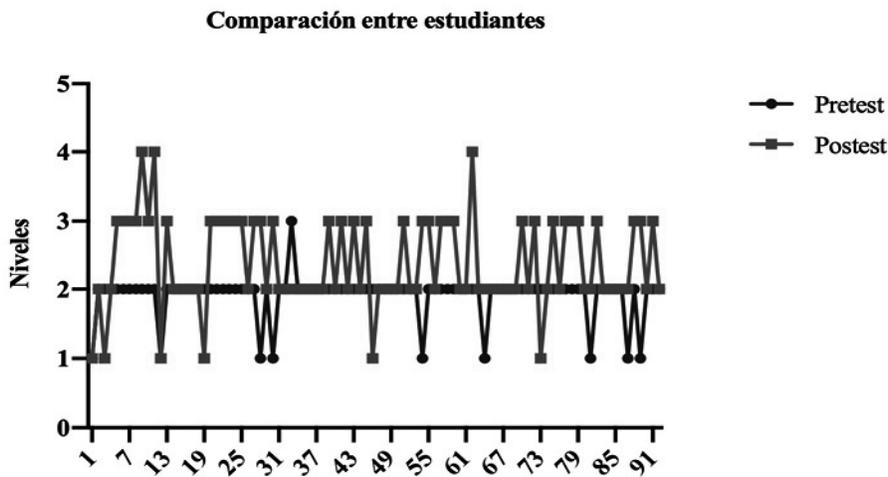


Figura 4. Distribución de los dibujos de los estudiantes ($n = 92$).
Fuente: Elaboración propia.

Discusión y conclusiones

De acuerdo con los resultados preliminares obtenidos, donde se observa una transición entre niveles de representación entre el pretest y postest, creemos que el recurso favoreció la visualización en los participantes, al igual que lo ocurrido en otros estudios donde este fue implementado (Almenara et al., 2017). A su vez, consideramos la coexistencia de representaciones según los niveles de representación altamente organizados propuestos por Kozma y Rusell (2005). Observamos también en la elaboración de los dibujos de los estudiantes, un apoyo en las representaciones visuales correspondiente con los niveles macroscópicos, microscópicos y simbólicos de la disciplina (Órdenes, Arellano, Jara, y Merino, 2014). Destacamos que las dos primeras actividades de la secuencia fueron precursoras en la modelización de procesos, especialmente para explicar el fenómeno de la pirotecnia.

En relación con las ideas de visualización y capacidad metavisual (Gilbert, 2005) que se desarrollaron en las actividades planteadas en la secuencia, según Sanmartí (2002), se destaca que las fases de la secuencia presentaron una organización epistemológica y una función didáctica que establecieron como punto de referencia ideas concretas y contingentes, y que mientras se desarrollaron estas actividades en un orden que fue creciendo en complejidad y abstracción, también se fomentaron los niveles de representación y su progresión.

Lo anterior permitió que los estudiantes interactuaran en cada una de las actividades planteadas, siendo capaces de generar representaciones en todas ellas, las que al ser analizadas posteriormente evidenciaron que los estudiantes habían modificado sus niveles de representación respecto de la primera instancia. En efecto, el análisis del pretest para todos los estudiantes arrojó que las frecuencias de representación para los dibujos detallaron niveles muy concretos en las explicaciones, lo que fue cambiando en la medida que desarrollaron la guía con RA, ya que esos niveles de representación concretos, en comparación con los niveles de representación que se registraron en el postest, disminuyeron considerablemente, al igual que algunos ejemplos presentados en los trabajos de Gilbert y colaboradores (Gilbert, 2008; Gilbert et al., 2007). A partir de esta observación, podríamos señalar que la secuencia con RA logró, en primer lugar, promover la visualización del fenómeno estudiado.

Como mencionamos previamente, la tarea de visualización en ciencias debiera estar constantemente guiada por los docentes al explicar o interpretar distintos fenómenos, puesto que es un recurso alternativo a la redacción y que resulta de mucha utilidad para extraer información de las relaciones que presentan los estudiantes entre los niveles de organización (macro, micro y simbólico). Tan importante como el fomento al seguimiento de los dibujos de los estudiantes o de las ilustraciones ocupadas en los libros de texto, es la implementación de estrategias digitales para trabajar conocimientos científicos, ya que en su mayoría estos son complejos de representar. En especial los procesos, las interacciones y la composición de diversos fenómenos, como la emisión de luz en los fuegos artificiales. En este sentido, es de gran ayuda la modelación con RA y otras actividades relacionadas con recursos audiovisuales, porque se constituyen en plataformas que los estudiantes pueden manejar, y les permite interactuar con otros medios de información, promoviendo distintas formas de aprendizaje para un mismo fenómeno.

Limitaciones del estudio

Se planificaron cinco sesiones para las actividades, cada una de 45 minutos de duración, que se implementaron en los tiempos requeridos utilizando el material propuesto y ocupando los instrumentos de registro, sin realizar ninguna modificación en la planificación. Con ello, pudimos determinar que el tiempo de trabajo asignado para la ejecución de las actividades fue muy corto y muchos estudiantes dejaron respuestas en blanco, específicamente las preguntas de la guía donde debían explicar los fenómenos desde las palabras, ya que en las instrucciones se especificó que lo importante de cada actividad era que dibujaran. Esta es la razón de que en este artículo demos a conocer solo lo que observamos en los pretest y postest.

Por último, consideramos que para dar mayor sustento a nuestras observaciones se requieren nuevos estudios con muestras más numerosas, y nuevas propuestas de análisis de los dibujos que nos permitan obtener y comunicar métricas para extrapolar los datos a diferentes poblaciones.

El artículo original fue recibido 31 de marzo de 2019

El artículo revisado fue recibido el 16 de septiembre de 2019

El artículo fue aceptado el 24 de septiembre de 2019

*“Esta publicación es responsabilidad exclusiva de su autor.
La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida”.*

Referencias

- Almenara, J., Barroso, J., y Obrador, M. (2017). Realidad aumentada aplicada a la enseñanza de la medicina. *Educación Médica*, 18(3), 203-208. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2016.06.015>
- Azuma, R. (1993). Tracking requirements for augmented reality. *Communications of the ACM*, 36(7), 50-51. <https://doi.org/10.1145/159544.159581>
- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 6(4), 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34-47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- Barker, V. (2000). Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas. Durham: Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Berney, S., Bétrancourt, M., Molinari, G., & Hoyek, N. (2015). How spatial abilities and dynamic visualizations interplay when learning functional anatomy with 3D anatomical models. *Anatomical Sciences Education*, 8(5), 452-462. <https://doi.org/10.1002/ase.1524>
- Cerda, J. & Villarroel, L. (2008). Evaluation of the interobserver concordance in pediatric research: The kappa coefficient. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54-58. <https://doi.org/10.4067/s0370-41062008000100008>
- Childs, P., Markic, S., & Ryan, M. (2015). The role of language in the teaching and learning of chemistry. En J. García-Martínez & E. Serrano-Torregrosa (Eds.), *Chemistry education: Best practices, opportunities and trends* (pp. 421-446). Wiley on line library. <https://doi.org/10.1002/9783527679300.ch17>
- Childs, P. & Sheehan, M. (2009). What's difficult about chemistry? An Irish perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(3), 204-218. <https://doi.org/10.1039/B914499B>
- Duque, C., Merino, C., y Contreras, D. (2012). Orientaciones para el diseño de SEA para sordos mediante el uso de tecnología: dilemas y desafíos. En J. Sánchez (Ed.), *Memorias del XVII Congreso Internacional de Informática Educativa* (pp. 80-86). Recuperado de: <http://www.tise.cl/volumen8/TISE2012/12.pdf>
- Elliott, J. (1990). *La investigación-acción en educación*. Recuperado de <https://www.edmorata.es/libros/la-investigacion-accion-en-educacion>
- Evagoru, M., Erduran, S., & Mäntylä, T. (2015). The role of visual representations in scientific practices: From conceptual understanding and knowledge generation to 'seeing' how science works. *International Journal of STEM Education*, 2(11), <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0024-x>

- Fabri, D., Falsetti, C., Lezzi, A., Ramazzotti, S., Viola, S., & Leo, T. (2008). Reality virtual and augmented. En A. Adelsberger, J. Kinshuk, J. Pawlowski, & D. Sampson (Eds.), *Handbook on information technologies for education and training* (pp. 113-132). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Gilbert, J. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. *Visualization in science education*. London: Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_2
- Gilbert, J. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. En J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 3-24). London: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_1
- Gilbert, J., Reiner, M., & Nakhleh, M. (2007). *Visualization: Theory and practice in science education*. London: Springer, Dordrecht.
- Gilbert, J. & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in science education*. London: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las ciencias sociales: Revista de Investigación*, 6, 125-138. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=324127626010>
- Jones, M., Gardner, G., Taylor, A., Wiebe, E., & Forrester, J. (2011). Conceptualizing magnification and scale: The roles of spatial visualization and logical thinking. *Research in Science Education*, 41(3), 357-368. <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9169-2>
- Kress, G. & Leeuwen, T. (2006). *Reading images* (2nd edition). London: Routledge.
- Kozma, R. & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. En J. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 121-146). Netherlands: Springer.
- Küçük, S., Kapakin, S., & Göktaş. (2016). Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anatomical Sciences Education*, 9(5), 411-421. <https://doi.org/10.1002/ase.1603>
- Lloréns, J. (1991). Comenzando a aprender química: ideas para el diseño curricular. Madrid: Visor. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=172741>
- Méheut, M. & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Merino, C. & Sanmartí, N. (2008). How young children model chemical change. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(3), 196-207. <https://doi.org/10.1039/b812408f>
- Merino, C., Pino, S., Meyer, E., Garrido, J., y Gallardo, F. (2015). Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26(2), 94-99. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.04.004>
- Ministerio de Educación de Chile, Mineduc. (2009). *Objetivos fundamentales y contenidos mínimos obligatorios de la Educación Básica y Media*. Santiago de Chile: Unidad de Currículo y Evaluación.
- Moro, C., Stromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 10(6), 549-559. <https://doi.org/10.1002/ase.1696>
- Nappa, N. y Pandiella, S. (2013). Construcción de modelos atómicos a través de simulaciones. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 43(233), 1-18. <https://doi.org/10.21556/edutec.2013.43.339>
- Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD. (2018). *PISA for Development assessment and analytical framework: Reading, mathematics and Science*. París: Publicación de la OCDE, Recuperado de <https://doi.org/10.1787/9789264305274-en>
- Órdenes, R., Arellano, M., Jara, R., y Merino, C. (2014). Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia. *Educación Química*, 25(1), 46-5. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70523-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70523-3)
- Padilla, K. (2009). Visualization: Theory and practice in science education. *International Journal of Science Education*, 31(10), 1417-1420. <https://doi.org/10.1080/09500690802673768>
- Papagiannakis, G., Singh, G., & Magnenat-Thalmann, N. (2008). A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 19(1), 3-22. <https://doi.org/10.1002/cav.221>
- Perales, F. y Jiménez, J. (1996). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Análisis de libros de texto. Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/13268068.pdf>

- Philipp, S., Johnson, D., & Yezierski, E. (2014). Development of a protocol to evaluate the use of representations in secondary chemistry instruction. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 777-786. <https://doi.org/10.1039/c4rp00098f>
- Plomp, T. (2009). Educational design research: An introduction. En N. Plomp & T. Nieveen (Ed.), *An introduction to educational design research* (pp. 9-35). Netherlands: Institute for Curriculum Development.
- Prieto, G. y Velasco, A. (2008). Entrenamiento de la visualización espacial mediante ejercicios informatizados de dibujo técnico. *Psicología Escolar e Educacional*, 12(2), 309-317. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=282321825002>
- PTC Technologies. (2019). Vuforia Engine (8.5) [Software]. Recuperado de <https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>
- PUCV. (2017). SPECTO (Mecano-Cuántico 1.7) [Software]. Recuperado de <https://specto.pucv.cl/>
- Quiroz, W. & Merino, C. (2015). Natural laws and ontological reflections: The textual and didactic implications of the presentation of Boyle's law in general chemistry. *Chemistry Education Research Practice*, 16(3), 447-459. <https://doi.org/10.1039/C4RP00251B>
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la ESO*. Madrid: Síntesis.
- Savinainen, A., Mäkynen, A., Nieminen, P., & Viiri, J. (2017). The effect of using a visual representation tool in a teaching-learning sequence for teaching Newton's third law. *Research in Science Education*, 47(1), 119-135. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9492-8>
- Stake, R. (2004). *Standards-based & responsive evaluation*. Thousand Oaks: SAGE Publishing.
- Taber, K. (2003). Understanding ionisation energy: Physical, chemical and alternative conceptions. *Chemistry Education Research and Practice*, 4(2), 149-169. <https://doi.org/10.1039/B3RP90010J>
- Taber, K. (2014). Constructing and communicating knowledge about chemistry and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 5-9. <https://doi.org/10.1039/C3RP90012F>
- Taber, K. (2015). Exploring the language(s) of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 193-197. <https://doi.org/10.1039/C5RP90003D>
- Taber, K. (2018). Representations and visualisation in teaching and learning chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(2), 405-409. <https://doi.org/10.1039/C8RP90003E>
- Talanquer, V. (2010). Exploring dominant types of explanations built by general chemistry students. *International Journal of Science Education*, 32(18), 2393-2412. <https://doi.org/10.1080/09500690903369662>
- Testa, I. & Monroy, G. (2016). The iterative design of a teaching-learning sequence on optical properties of materials to integrate science and technology. En D. Psillos & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative design of teaching-learning sequences: Introducing the science of materials in European schools* (pp. 233-286). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_10
- The Blender Foundation. (2019). Blender (2.72) [Software]. Recuperado de <https://www.blender.org/download/releases/2-72/>
- Unity Technologies. (2019). Unity 3D (2019.1) [Software]. Recuperado de <https://unity.com/es>
- Wu, H.-K. & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492. <https://doi.org/10.1002/sce.10126>
- Yu, D., Jin, J., Luo, S., Lai, W., & Huang, Q. (2010). A useful visualization technique: A literature review for augmented reality and its application, limitation & future direction. En M. L. Huang, Q. V. Nguyen, & K. Zhang (Eds.), *Visual Information Communication* (pp. 311-337). Boston, MA: Springer US.

Anexo 1

Listado de preferencias docentes sobre contenidos disciplinares en Química para ser ambientados con realidad aumentada

Estimado(a) profesor(a),

En primer lugar, agradecer su disposición a colaborar en esta investigación Fondecyt 2015 (1150659), respondiendo a este instrumento. A través de este, queremos recoger su impresión sobre qué contenidos de 1º y 2º año medio en la asignatura de Química son potencialmente sugerentes para diseñar actividades de aprendizaje que contengan aplicaciones con realidad aumentada. La realidad aumentada consiste en un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a información física ya existente, es decir, implica agregar una parte sintética virtual a lo real. Se conjuga la visión de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta en tiempo real. Creemos firmemente que una de las dificultades en el aprendizaje de la química es la articulación entre sus tres modos de representación (macro, micro y simbólica). Si disponemos de recursos que nos permitan establecer puentes entre estos niveles, estaremos avanzando en lograr aprendizajes más sustentables en el tiempo. La información que aquí se recogerá será muy importante para elaborar futuras propuestas de secuencias enseñanza-aprendizaje en Química, de las cuales de antemano invitamos también a ser parte del proceso de implementación y validación en su centro escolar. Queremos dejar en claro que nuestro propósito NO trata de juzgar su inteligencia y/o personalidad y, que toda la información aquí recogida es confidencial. Por último, indicar que nos hemos comprometido en entregar a usted un informe individual, que en ningún caso es una evaluación.

Instrucciones:

- Lea atentamente el listado de contenidos de 1º y 2º año medio.
- Seleccione seis (6) de ellos que a su parecer tendrían un alto potencial para ser ambientados con realidad aumentada.
- En el caso de que usted considere que en el listado no aparezca un contenido que usted considere relevante, o bien, con una alta necesidad educativa de disponer de materiales ambientados con realidad aumentada, por favor explícelo.
- Con el fin de entregar los informes, es de vital importancia que complete la siguiente información:

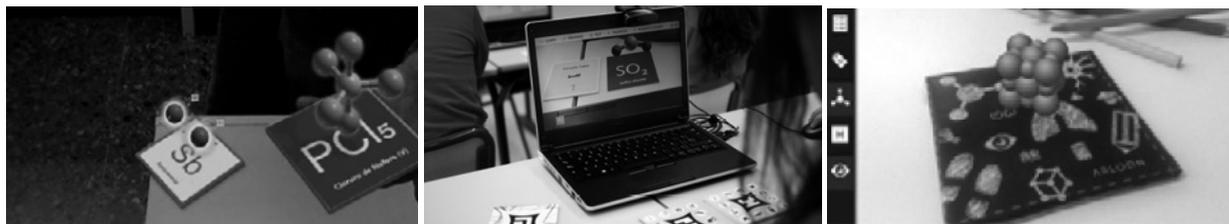
Nombre: _____

Establecimiento: _____

Email: _____

Profesor(a), a continuación se presentan algunos ejemplos de actividades de aprendizaje ambientadas con realidad aumentada para que usted pueda tener una idea de la definición proporcionada en este instrumento. Se presentan dos ejemplos: el primero corresponde a actividades donde solo se recurre a la visualización de un objeto, mientras que en el segundo (YouTube) se puede observar una actividad que incluye interacción y animación.

Ejemplo 1:



Fuente: Digital AV Magazine ©

Fuente: Zientia ©

Fuente: Pinterest ©

Ejemplo 2:



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=IpNrwwkQFq6Q>

Profesor (a) a continuación se presentan los contenidos del Programa de Estudio de 1º y 2º año medio. Seleccione seis (6) temas que según su parecer, son complejos de enseñar, y usted piensa que la realidad aumentada colaboraría en el proceso de enseñanza.

Contenidos de 1º año medio		Sí	No
1	El comportamiento de los electrones en el átomo en base a principios (nociones) del modelo mecánico cuántico.		
2	Investigaciones científicas clásicas o contemporáneas relacionadas con el modelo mecano-cuántico.		
3	Organización de los electrones en cada uno de los niveles de energía de diversos átomos.		
4	Investigaciones científicas clásicas o contemporáneas relacionadas con la constitución de la tabla periódica.		
5	Estructura electrónica de los átomos con su ordenamiento en la tabla periódica y sus propiedades físicas y químicas.		
6	Propiedades periódicas de los elementos.		
7	Interacción y estructura electrónica entre átomos.		
8	Distribución espacial de las moléculas a partir de las propiedades electrónicas de los átomos constituyentes.		
9	Fuerzas intermoleculares que permiten mantener unidas diversas moléculas entre sí y con otras especies (iones).		
10	Leyes de la combinación química en reacciones químicas que dan origen a compuestos comunes.		
11	Relaciones cuantitativas en diversas reacciones químicas.		
12	Leyes ponderales y conceptos de estequiometría en resolución de problemas, que reflejen el dominio de los contenidos y de los procesos involucrados.		
13	Otros:		

Contenidos de 2º año medio		Sí	No
1	Características de las soluciones según sus propiedades generales: estado físico, solubilidad, concentración, conductividad eléctrica.		
2	Concentración de las soluciones, unidades de concentración de las soluciones.		
3	Preparación de soluciones a concentraciones definidas.		
4	Estequiometría de reacciones químicas en solución.		
5	Aplicaciones tecnológicas de las soluciones químicas.		
6	Propiedades coligativas de las soluciones: presión de vapor, punto de ebullición, punto de congelación y presión osmótica.		
7	Relación entre la presión de vapor y la concentración de las soluciones: presión de vapor y ley de Raoult.		
8	Relación entre la temperatura y la concentración de las soluciones: ascenso ebulloscópico (solute no volátil), descenso crioscópico y presión osmótica.		
9	Conductividad eléctrica de las soluciones.		
10	Origen del petróleo, teorías acerca del origen del petróleo y sus derivados.		
11	Propiedades fisicoquímicas del carbono: tetravalencia, hibridación, ángulos de enlace, distancias y energía de enlace.		
12	Nomenclatura de compuestos orgánicos, reglas para nombrar los compuestos orgánicos.		
13	Representación de moléculas orgánicas en variadas formas: fórmula molecular, fórmula estructural expandida, fórmula estructural condensada, modelo de esferas y varillas, fórmula lineal o topológica.		
14	Grupos funcionales presentes en compuestos orgánicos: nombre de compuestos orgánicos, propiedades fisicoquímicas que caracterizan a compuestos con un grupo funcional determinado, usos industriales y aplicaciones tecnológicas.		
15	Estructura tridimensional de moléculas orgánicas: fórmulas en perspectiva, proyecciones de Newman, proyecciones de caballete, conformaciones de compuestos cíclicos.		
16	Estereoquímica e isomería en compuestos orgánicos: isómeros constitucionales y estereoisómeros, configuraciones R y S.		
17	Otros:		

Profesor (a) a continuación se presentan las habilidades de pensamiento científico (HPC). Seleccione tres (3) habilidades, que podrían facilitar su desarrollo mediante la inclusión de la realidad aumentada.

HPC		Sí	No
1	Organizar e interpretar datos y formular explicaciones.		
2	Describir investigaciones científicas clásicas.		
3	Identificar relaciones entre contexto sociohistórico y la investigación científica.		
4	Describir el origen y el desarrollo histórico de conceptos y teorías.		
5	Importancia de las teorías y modelos para comprender la realidad.		
6	Comprender la importancia de las leyes, teorías e hipótesis de la investigación científica y distinguir unas de otras.		
7	Identificar las limitaciones que presentan los modelos y teorías científicas.		

Anexo 2

Firma de consentimiento informado

Investigador principal: Cristian Merino Rubilar

Título de la investigación: Diseño, validación y evaluación de secuencias de enseñanza aprendizaje en ciencias para promover capacidad metavisual mediante realidad aumentada.

He leído la descripción de la investigación y entiendo que:

- Mi participación es voluntaria. Puedo negarme a participar o renunciar a participar, en cualquier momento sin consecuencias de ninguna naturaleza para mi persona.
- El investigador puede retirarme de la investigación bajo discreción profesional.
- Mi participación en este proyecto es anónima, y mi identificación u otros datos personales no serán dados a conocer en las publicaciones o informes del proyecto.
- De tener preguntas sobre mi participación en este estudio, puedo contactarme con el investigador principal, Cristian Merino Rubilar, quien responderá mis inquietudes. Su correo electrónico cristian.merino@pucv.cl
- Si en algún momento tengo comentarios o preocupaciones relacionadas con mis derechos como sujeto participante de investigación, podré contactarme con el Comité de Ética de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, al Dr. Joel Saavedra A., Vicerrector de Investigación y Estudios Avanzados de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Entiendo que una copia de este documento de consentimiento me será entregada, y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando este haya concluido.

Al hacer clic en el botón “aceptar”, significa que estoy de acuerdo con participar en este estudio.