

Desarrollo de un entorno de realidad aumentada para la enseñanza del condicionamiento operante en Psicología

José Manuel Sánchez-Sordo (autor de contacto)

Profesor de carrera en Psicología SUAyED de la Universidad Nacional Autónoma de México
jose.sordo@iztacala.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0001-6569-251X>

Sergio Teodoro-Vite

Profesor de asignatura en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México
sergieteovite@comunidad.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0002-7943-8819>

Extracto

Los procesos de enseñanza y aprendizaje se han visto modificados en las últimas décadas con la aparición y el uso de tecnologías que permiten la adquisición y generación de conocimientos de forma interactiva, como son la realidad virtual y la realidad aumentada, que se pueden definir como el conjunto de tecnologías basadas en simulaciones gráficas dinámicas en las que el usuario se siente introducido en un ambiente artificial que percibe como real en función de la estimulación de los órganos sensoriales. Objetivo: desarrollar y utilizar un entorno de realidad aumentada para el fortalecimiento de la enseñanza de los principios básicos del condicionamiento operante de los estudiantes (hombres y mujeres) de nuevo ingreso de la licenciatura en Psicología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México, y evaluar su impacto en el aprendizaje. Método: se diseñó, programó y utilizó un entorno de realidad aumentada que simula una caja de Skinner con un autómatas que emula el comportamiento animal para la enseñanza de cuatro programas de reforzamiento. Para el diseño y programación del entorno se utilizó el lenguaje C#, así como los softwares Blender, Unity y Vuforia. Resultados: se obtuvo como producto final una aplicación de realidad aumentada para dispositivos móviles con sistema operativo Android. En cuanto al impacto en los conocimientos de los estudiantes ($n = 44$) sobre programas de reforzamiento, se encontró, por medio de la prueba de Wilcoxon de rangos con signo, un incremento significativo (sig. 0,000) después de haber utilizado el entorno de realidad aumentada.

Palabras clave: realidad aumentada; conductismo; innovación; psicología; simulación; caja de Skinner; realidad mixta; enseñanza.

Recibido: 03-02-2022 | Aceptado: 02-06-2022 | Publicado: 07-09-2022

Cómo citar: Sánchez-Sordo, J. M. y Teodoro-Vite, S. (2022). Desarrollo de un entorno de realidad aumentada para la enseñanza del condicionamiento operante en Psicología. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 23, 115-136. <https://doi.org/10.51302/tce.2022.862>



Development of an augmented reality environment for teaching operant conditioning in Psychology

José Manuel Sánchez-Sordo (corresponding author)

Profesor de carrera en Psicología SUAyED de la Universidad Nacional Autónoma de México
jose.sordo@iztacala.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0001-6569-251X>

Sergio Teodoro-Vite

Profesor de asignatura en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México
sergioteovit@comunidad.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0002-7943-8819>

Abstract

Teaching and learning processes have been modified in recent decades with the development and use of technologies that allow the acquisition and generation of knowledge such as virtual reality and augmented reality. Those technologies can be defined as based on dynamic graphic simulations in which the user feels introduced into an artificial environment that is perceived as real by the stimulation of sensory organs. Objective: to develop and use an augmented reality environment to support the teaching and learning of basic principles of operant conditioning for new students (men and women) of the degree in Psychology from the Faculty of Higher Studies Iztacala of the National Autonomous University of Mexico. Method: an augmented reality environment that simulates a Skinner box with an automaton that emulates animal behavior was designed, programmed and tested to teach four reinforcement programs. For the design and programming of the environment, C# language was used as well as Blender, Unity and Vuforia. Results: an augmented reality application for mobile devices with Android operating system was developed. Regarding the impact on students' knowledge ($n = 44$) about reinforcement programs, a significant increase (sig. 0.000) was found through the Wilcoxon signed rank test after using the augmented reality environment.

Keywords: augmented reality; behaviorism; innovation; psychology; simulation; Skinner box; mixed reality; teaching.

Received: 03-02-2022 | Accepted: 02-06-2022 | Published: 07-09-2022

Citation: Sánchez-Sordo, J. M. and Teodoro-Vite, S. (2022). Development of an augmented reality environment for teaching operant conditioning in Psychology. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 23, 115-136. <https://doi.org/10.51302/tce.2022.862>



Sumario

1. Introducción
 2. Metodología
 3. Procedimiento
 4. Resultados
 5. Discusión
 6. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

Nota: trabajo realizado con apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE301121. Por otra parte, los autores del artículo declaran que todos los procedimientos llevados a cabo para la elaboración de este estudio de investigación se han realizado de conformidad con las leyes y directrices institucionales pertinentes. Asimismo, los autores del artículo han obtenido el consentimiento informado (libre y voluntario) por parte de todas las personas intervinientes en este estudio de investigación.

1. Introducción

Los procesos de enseñanza y aprendizaje se han visto modificados en las últimas décadas con la aparición y el uso de tecnologías digitales que permiten la adquisición y generación de conocimientos de forma interactiva y que posibilitan, en la mayoría de los casos, el enriquecimiento de la experiencia educativa (Clark, 2011). Las tecnologías digitales y su potencial para facilitar estrategias de aprendizaje son piezas clave para el futuro de la sociedad y de la educación, pues estas, según Redecker *et al.* (2017), impactarán en lo que necesitaremos aprender y en cómo aprenderemos en el periodo 2020-2030.

En este sentido, se torna necesario desarrollar y promover alternativas educativas mediadas y asistidas por tecnologías interactivas simuladas que coloquen tanto al estudiante como al docente en situaciones de aprendizaje y enseñanza innovadoras y acordes a la era digital (Kuzminskyi, 2019). El uso de herramientas tecnológicas educativas de vanguardia implica múltiples procesos cognitivos y el desarrollo de nuevas conductas. No solo la adquisición de conocimientos específicos, sino también el hecho de utilizar nuevas tecnologías son tareas de aprendizaje (Siemens, 2006) que contribuyen a la competencia digital de los estudiantes (Levano-Francia *et al.*, 2019). A nivel histórico, la tecnología educativa ha evolucionado de forma paralela a las teorías del aprendizaje aplicadas a la educación. Como ejemplo de esto podemos mencionar las pioneras máquinas de enseñanza generadas por el psicólogo norteamericano Skinner en los años sesenta (Peñalosa Castro, 2013). Posteriormente, gracias a los avances en la psicología cognitiva, se dio paso al desarrollo de los denominados «sistemas expertos», basándose en la inteligencia artificial (Adarraga Morales y Zaccagnini Sancho, 1988). En años recientes, la aparición de los sistemas gestores de aprendizaje (*learning management system* [LMS]), con fundamento en el constructivismo social, ha marcado un hito en la educación a distancia y presencial. Desde este punto de vista, la enseñanza, las teorías del aprendizaje y la tecnología son elementos que dan forma de manera conjunta al fenómeno educativo y le permiten seguir evolucionando por medio de la innovación en su didáctica e instrumentos.

En este sentido, se plantea la necesidad de abordar el aprendizaje y la enseñanza con tecnologías de gran impacto y aplicabilidad en la actualidad, como son la realidad virtual, la realidad mixta y la realidad aumentada, las cuales, de acuerdo con Vera Ocete *et al.* (2003), son el conjunto de tecnologías basadas en simulaciones gráficas dinámicas en las que el usuario se siente introducido en un ambiente artificial que percibe como real gracias a la estimulación de los órganos sensoriales.

En el caso particular de la realidad aumentada, es una tecnología que permite percibir elementos físicos de la realidad a través de dispositivos de despliegue y *softwares* específicos, de modo que esta tecnología se caracteriza por combinar el mundo real con el virtual, añadiendo a nuestro espacio real contenidos virtuales generados por computadora (Ruiz Torres, 2011). Esto es posible gracias al empleo de gafas de realidad aumentada (*head mounted displays* [HMD]) o de diversos dispositivos, como *personal digital assistants* (PDA), ordenadores portátiles y teléfonos móviles. Esta tecnología aplicada al campo de la enseñanza-aprendizaje permite recrear la realidad y dar vida a los objetos para su estudio. Según Blázquez Sevilla (2017), el alcance de estos avances tecnológicos en el sector educativo y del aprendizaje expande las posibilidades para lograr la comprensión de objetos de estudio de forma innovadora, además de ofrecer una gran ayuda para la enseñanza de conceptos que requieren de una alta capacidad de abstracción por parte del estudiante.

A nivel mundial, la realidad virtual, así como la realidad aumentada son algunas de las tecnologías con mayor proyección de crecimiento, pues, según previsiones de IDC Research (2018), la inversión en realidad virtual y realidad aumentada se multiplicará por 21 en los próximos cuatro años, alcanzando los 15.500 millones de euros en 2022. Ambas tecnologías serán clave dentro de los planes de transformación digital de las escuelas y de los negocios. Por esta razón hay que tener en cuenta que el sector educativo demanda aplicaciones de realidad aumentada que sean asequibles para los estudiantes de los diferentes currículos y niveles educativos; es decir, aplicaciones que vayan más allá del entretenimiento y que contribuyan de manera significativa a las actividades de enseñanza formal, gracias a la posibilidad de introducir al estudiante en entornos en los cuales pueda interactuar con un ambiente artificial que estimule su proceso de aprendizaje (Vera *et al.*, 2003).

En el ámbito educativo, la realidad aumentada ha tenido múltiples contribuciones en la enseñanza (Cabero Almenara y Puentes Puentes, 2020). Por ejemplo, en el caso de Medicina, existen aplicaciones para el estudio de la anatomía humana (Alatorre *et al.*, 2019) o sistemas de entrenamiento para la colocación de inyecciones en articulaciones (Yeo y Lasso, 2011), entre otras. En el ámbito clínico de la psicología, se han desarrollado aplicaciones virtuales relacionadas con técnicas de exposición para el tratamiento de fobias, según menciona Bueno-Sánchez *et al.* (2019). La realidad aumentada avanza cada vez más en el ámbito de la educación y está introduciéndose en la enseñanza de profesiones como la medicina y en la práctica psicológica. También se utiliza con fines didácticos en arquitectura (Peredo Pozos y Redondo Domínguez, 2010), pues las posibilidades de la realidad aumentada en la educación son múltiples y aportan ventajas a los estudiantes y a los docentes, relacionadas especialmente con su portabilidad y disponibilidad. Como menciona Blázquez Sevilla (2017), esta tecnología favorece las prácticas de

Esta tecnología favorece las prácticas de laboratorio, así como el trabajo colaborativo y cooperativo. Por todo esto, el uso de la realidad aumentada supone un enriquecimiento en la construcción metodológica del proceso de enseñanza-aprendizaje y en los contenidos de estudio

laboratorio, así como el trabajo colaborativo y cooperativo. Por todo esto, el uso de la realidad aumentada supone un enriquecimiento en la construcción metodológica del proceso de enseñanza-aprendizaje y en los contenidos de estudio.

En la enseñanza de la Psicología, la inclusión de estas tecnologías se pondera como algo relevante y altamente plausible para el desarrollo de actividades formativas que los estudiantes realizan como parte de una sólida formación de prácticas experimentales con sujetos animales. Esto les permite aprender conocimientos clave de la disciplina, como son los principios del condicionamiento operante y los diferentes programas de reforzamiento que, de acuerdo con Ferster y Skinner (2014), podríamos definir, de manera general, como diversas maneras y reglas en las que se puede aplicar el reforzamiento y los probables resultados de dicha aplicación, como son, por ejemplo, Razón Fija, Razón Variable, Intervalo Fijo e Intervalo Variable. Los efectos de los programas mencionados son muy diferentes y, en general, los programas variables superan a los fijos, ya que dan tasas de respuesta muy altas (Errasti Pérez, 1993).

A nivel tradicional, la enseñanza de dichos principios de psicología conductual se lleva a cabo con el uso de las denominadas «cajas de Skinner» o «cámaras de condicionamiento operante», que son dispositivos que constan de tres elementos básicos:

- *Manipulandum* (palanca).
- Estímulo discriminativo (luz o sonido).
- Registro acumulativo (permite el registro de las respuestas del animal).

La caja de Skinner, para Prada (1998), consiste en una celda aislada a prueba de sonidos y con luz en la que se coloca el animal con el que se va a experimentar. En la caja hay una palanca que el animal debe presionar con el fin de conseguir alimento (reforzador). La caja puede estar programada automáticamente, así como la recolección de datos, según el programa de reforzamiento que se esté ejecutando.

Si bien dichas prácticas se llevan a cabo de manera adecuada dentro de las aulas y de los laboratorios con las ya descritas cajas de Skinner, algunas lecciones son susceptibles de ser apoyadas o llevadas a cabo con aplicaciones de realidad aumentada que simulen el comportamiento animal dentro de escenarios experimentales, contribuyendo así al aprendizaje del estudiante, ya que la detección visual de información de forma rápida por medio de la realidad aumentada supone un acceso directo al conocimiento empírico (De la Torre Cantero *et al.*, 2015). Por lo tanto, el desarrollo de una caja de Skinner virtual con autómatas animales de realidad aumentada se propone como una alternativa innovadora para la enseñanza de algunos conceptos básicos del condicionamiento operante y de los programas de reforzamiento, como pueden ser el de razón o intervalo fijo, entre otros.

En este punto del artículo cabe mencionar que realizar propuestas formativas en entornos tecnológicos similares a la realidad con tecnologías como la realidad aumentada permite, en este caso, la enseñanza de contenidos específicos de condicionamiento operante al mismo tiempo que se incorporan tecnologías de última generación a las aulas y a los planes de estudio de Psicología, lo cual, como mencionan Gisvert Cervera *et al.* (2010), complementa la formación y las habilidades de los estudiantes y docentes al fomentar el desarrollo de competencias digitales para la enseñanza y el aprendizaje.

Realizar propuestas formativas en entornos tecnológicos similares a la realidad con tecnologías como la realidad aumentada permite, en este caso, la enseñanza de contenidos específicos de condicionamiento operante al mismo tiempo que se incorporan tecnologías de última generación a las aulas y a los planes de estudio de Psicología

2. Metodología

A) Objetivo general

Desarrollar y utilizar un entorno de realidad aumentada para el fortalecimiento de la enseñanza de principios básicos del condicionamiento operante en los estudiantes de nuevo ingreso de la licenciatura en Psicología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México, y evaluar su impacto en el aprendizaje.

B) Objetivos específicos

Desarrollar un entorno de realidad aumentada (RatInARBox) que promueva la adquisición de conocimientos relacionados con los programas de reforzamiento del condicionamiento operante y validar el impacto de la realidad aumentada como herramienta para la enseñanza del condicionamiento operante con un grupo de estudiantes del primer semestre de la carrera de Psicología.

C) Hipótesis

H0. El uso del entorno de realidad aumentada (RatInARBox) no incrementará los niveles de conocimiento sobre programas de reforzamiento en los estudiantes.

H1. El uso del entorno de realidad aumentada (RatInARBox) incrementará los niveles de conocimiento sobre programas de reforzamiento en los estudiantes.

D) Tipo de estudio

Se realizó un estudio cuasiexperimental con diseño pretest-postest.

E) Muestra

Para esta primera puesta en marcha del entorno de realidad aumentada, se contó con una muestra no probabilística de 44 estudiantes del primer semestre de la licenciatura en Psicología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México. La edad promedio de los participantes fue de 18,3 años, con una desviación estándar de 1,3 años.

El 100 % de los estudiantes que han participado en este estudio de investigación no han realizado nunca la práctica de programas de reforzamiento de manera presencial ni con sujetos animales

En cuanto a sus habilidades para el uso de aplicaciones digitales, el 44 % de los participantes consideraba tener un nivel regular de habilidad; el 38 %, bueno; y el 9 %, muy bueno; mientras que el 9 % restante consideraba tener malas habilidades. De igual modo, el 65 % indicó que nunca había utilizado la realidad aumentada, al contrario que el 35 % que sí la había usado previamente.

Cabe mencionar que el 100 % de los estudiantes que han participado en este estudio de investigación, al ser alumnos del primer semestre, y como consecuencia de la pandemia provocada por la COVID-19, no han realizado nunca la práctica de programas de reforzamiento de manera presencial ni con sujetos animales.

3. Procedimiento

Se desarrolló un entorno virtual con realidad aumentada denominado «RatInARBox» en el cual se simula una cámara de condicionamiento operante (caja de Skinner) que incluye un sujeto experimental de realidad aumentada (autómata) que emula el comportamiento de un sujeto experimental biológico. La finalidad es mostrar al estudiante de forma interactiva cómo operan algunos de los múltiples programas de reforzamiento en la conducta de los organismos. Para ello, el desarrollo del ambiente virtual y su validación se llevó a cabo en tres fases:

- **Fase I.** Planeación y diseño.
- **Fase II.** Programación y modelado.
- **Fase III.** Uso y evaluación.

Fase I. Planeación y diseño del entorno de realidad aumentada

Durante esta fase se llevó a cabo la definición de los procesos que se iban a ejecutar por el sistema. Particularmente, se trabajó en lo requerido para llevar a cabo el moldeamiento de una conducta nueva, así como en lo propuesto por Ferster y Skinner (2014) en torno a cuatro programas de reforzamiento (Razón Fija, Razón Variable, Intervalo Fijo e Intervalo Variable). Posteriormente, se graficaron los subsecuentes diagramas de flujo para cada uno de ellos y una fase de moldeamiento, dando como resultado un programa de moldeamiento para la conducta de palanquear, un programa de reforzamiento de Razón Fija (RF10), uno de Razón Variable (RV20), uno de Intervalo Fijo (IF4) y uno de Intervalo Variable (IV20), a los cuales fue expuesta la rata (autómata) de realidad aumentada por parte del estudiante que operaba el entorno, como se define a continuación:

- **Moldeamiento.** Durante esta fase, el autómata recibe el reforzador según realice conductas similares o aproximadas a la conducta nueva (palanquear), como son acercarse a la palanca y tocar la palanca. El estudiante deberá reforzar hasta que se realice el palanqueo.
- **Programa de Razón Fija (RF10).** El autómata recibe el reforzador tras palanquear 10 veces dentro de la caja virtual, mostrando así al estudiante cómo la incidencia de la conducta ocurre, basándose en el reforzamiento que se da ante determinado número de respuestas del sujeto.
- **Programa de Razón Variable (RV20).** El autómata recibe el reforzador cada vez que ejecuta la conducta de palanqueo en un promedio de 20 veces (entre 18 y 22 palanqueos), mostrando así al estudiante el incremento en la conducta del sujeto, basándose en el reforzamiento variable de la respuesta esperada.
- **Programa de Intervalo Fijo (IF45).** El autómata recibe el reforzador transcurridos 45 segundos, mostrando así a los estudiantes que la conducta solo deberá ser reforzada después de que pase el intervalo, independientemente del número de veces que la respuesta sea ejecutada.
- **Programa de Intervalo Variable (IV20).** El estudiante refuerza la conducta del autómata experimental en promedio cada 20 segundos (25-35 segundos) para mostrar de este modo cómo la conducta se refuerza de manera variable en un promedio de tiempo más allá del número de respuestas ejecutadas por el sujeto.

Fase II. Programación y modelado del entorno de realidad aumentada

Una vez diagramados los programas de reforzamiento propuestos, se procedió por medio del lenguaje C# en el motor gráfico Unity3D a la programación del funcionamiento del entorno dentro del cual la rata experimental (autómata) se comporta según los cuatro programas de reforzamiento propuestos. Por ejemplo, en el caso de la Razón Fija (RF10), la rata virtual se programó para comportarse en conjunto con la interacción del estudiante de la siguiente manera:

- **Rata.** 10 palanqueos (presiona palanca virtual) = Recibir reforzador.
- **Estudiante.** Cada 10 palanqueos de la rata virtual = Entregar reforzador (presiona botón en pantalla).

De este modo, si el alumno cumple con dicha condición, el autómata experimental simulará aprender la regla precargada en el sistema (10 palanqueos = Reforzador) y el estudiante habrá aplicado con éxito el





programa de reforzamiento. Por el contrario, si el estudiante no sigue la regla y no entrega el reforzador a la rata presionando la pantalla (en este caso cada 10 palanqueos), no habrá aprendizaje por parte del sujeto virtual y el estudiante habrá fracasado en la aplicación del programa.

En cuanto al modelado en 3D se refiere, este fue llevado a cabo con el *software* Blender e incluyó el desarrollo de la caja de Skinner, que cuenta con una palanca virtual para detectar la interacción con el autó-mata, un dispensador de alimento y un indicador luminoso (foco). Se aplicaron efectos de color, material y textura a cada uno de los objetos modelados (véase figura I).

Figura I. Modelo 3D desarrollado de la caja de Skinner

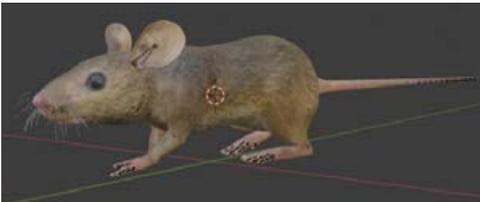


Las denominadas «cajas de Skinner» o «cámaras de condicionamiento operante» son dispositivos que constan de tres elementos básicos: palanca, estímulo discriminativo y registro acumulativo

Fuente: elaboración propia.

De igual modo se modeló la geometría de la rata virtual con medidas y peso estándar, así como las animaciones de su geometría en los diferentes estados o comportamientos que lleva a cabo: espera (el autó-mata no se mueve), exploración (el autó-mata camina por el interior de la caja de Skinner), acicalarse (el autó-mata se rasca), activación de la palanca (el autó-mata presiona la palanca en la caja) y comer alimento (el autó-mata recoge y come el reforzador entregado) (véanse figuras II a VI).

Figura II. Modelado 3D de la rata explorando



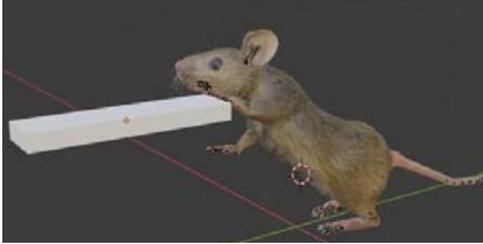
Se diseñaron tres texturas de piel distintas para el autó-mata (rata blanca, rata café y rata gris), entre las que el usuario puede elegir para personalizar su experiencia

Fuente: elaboración propia.





Figura III. Modelado 3D de la rata palanqueando



En el entorno virtual, durante la fase de moldeamiento, la conducta meta es la de palanquear, al igual que se lleva a cabo en los laboratorios presenciales

Fuente: elaboración propia.

Figura IV. Modelado 3D de la rata acicalándose



Se asignaron varios estados a la rata virtual, entre ellos la conducta de acicalamiento, comportamiento habitual en las ratas biológicas

Fuente: elaboración propia.

Figura V. Modelado 3D de la rata comiendo



Como reforzador se entregó alimento al animal (*pellets*). En este caso, se recreó la conducta de comer por parte del autómata. Para ello se modeló un pequeño objeto que simulaba el alimento

Fuente: elaboración propia.

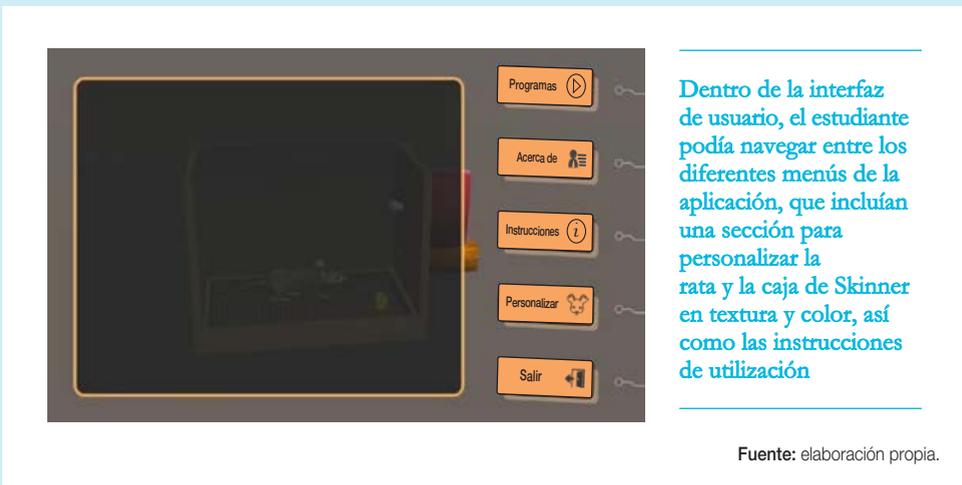


Figura VI. Modelado 3D de la rata palanqueando dentro de la caja de Skinner



Los modelos del escenario, el modelo de la rata y las animaciones de los comportamientos fueron exportados en formatos FBX al motor gráfico Unity, donde se programó la máquina de estados de la rata con la interacción del estudiante. Finalmente, se diseñó y programó una interfaz de usuario para ofrecer instrucciones de uso, así como el desarrollo con Vuforia de la aplicación APK en modalidad móvil para smartphones y para tablets con sistema operativo Android (véase figura VII).

Figura VII. Pantalla de inicio de la interfaz de usuario de la aplicación móvil RatInARBox



Fase III. Uso y evaluación del entorno RatInARBox



Para evaluar y validar el impacto de RatInARBox como tecnología educativa, se convocó a los estudiantes para una sesión de videollamada grupal en la cual se les solicitó que descargasen y utilizaran la aplicación en sus teléfonos móviles.

De igual modo, al inicio y término de dicha videollamada, se les aplicó un cuestionario en línea a modo de pretest-postest, cuya primera sección iba encaminada a conocer los aprendizajes adquiridos sobre «programas de reforzamiento» por parte de los estudiantes antes y después de utilizar el ambiente de realidad aumentada desarrollado.

Las siete preguntas incluidas, que se muestran a continuación, eran de opción múltiple y se referían a cuestiones teóricas y prácticas de los programas de reforzamiento:

1. Programa de reforzamiento en el que se otorga el reforzador inmediatamente después de que el sujeto emite un número específico y fijo de respuestas deseadas:
 - a) Intervalo Fijo.
 - b) Razón Fija.
 - c) Moldeamiento.
2. Si a un sujeto se le refuerza únicamente cada 4 minutos independientemente del número de respuestas otorgadas, estamos ejecutando un programa de:
 - a) Razón Variable.
 - b) Intervalo Fijo.
 - c) Intervalo Variable.
3. En los programas de razón se observa un incremento en la velocidad de la emisión de las respuestas por parte el sujeto:
 - a) Verdadero.
 - b) Falso.
4. Si ejecutamos un programa de razón fija 5 (RF5) sobre un sujeto experimental, esto significa que:
 - a) Entregamos el reforzador cada 5 minutos al sujeto.
 - b) Entregamos el reforzador cada 5 respuestas del sujeto.
 - c) Entregamos únicamente 5 reforzadores al sujeto.
5. Si ejecutamos un programa de intervalo variable 15 (IV15) sobre un sujeto experimental, esto significa que:
 - a) Entregamos el reforzador exactamente cada 15 minutos.
 - b) Entregamos el reforzador en promedio cada 15 minutos al sujeto.
 - c) Entregamos únicamente 15 reforzadores al sujeto.





6. Para moldear una conducta nueva (como puede ser palanquear) en un sujeto experimental se requiere:
- Reforzar de manera sucesiva conductas que se asemejen a la conducta meta hasta que esta sea ejecutada y reforzada.
 - Reforzar únicamente la conducta meta una vez que el sujeto la realice de manera aleatoria.
 - Reforzar todas las conductas emitidas por el sujeto en un periodo establecido de tiempo.
7. Dentro de una caja de Skinner, ¿cuál de los siguientes ejemplos podría actuar como estímulo discriminativo (señala la disponibilidad de reforzador)?:
- Recompensa entregada al sujeto una vez que emite la respuesta (palanquear).
 - Sonido que indica al sujeto que debe emitir la respuesta (palanquear).
 - Foco que se enciende una vez que el sujeto ha dado la respuesta (palanquear).

En el caso de la segunda sección de la evaluación se plantearon, a manera de diferencial semántico y en escala nominal, las siguientes cuestiones sobre el uso de la aplicación:

- Calificarías la aplicación, en cuanto a fines educativos se refiere, de:
 - Muy innovadora.
 - Poco innovadora.
- ¿Cómo calificarías la dificultad de uso de la aplicación?
 - Fácil.
 - Difícil.
- ¿Estudiando a distancia, consideras que la aplicación utilizada es una buena alternativa para llevar a cabo aprendizajes de tipo aplicado?
 - Sí.
 - No.

4. Resultados

En este apartado se muestran algunas capturas de pantalla de la versión final de la aplicación de realidad aumentada desarrollada en este estudio (RatInARBox) al ser ejecutada desde un *smartphone* (véanse figuras 1 a 3).

Posteriormente, se incluyen los análisis estadísticos derivados de su uso por parte de la muestra de 44 estudiantes, lo que ha permitido conocer si hubo o no impacto significativo en sus conocimientos sobre los «programas de reforzamiento», así como su opinión con relación a la usabilidad del entorno.

A) Versión final de RatInARBox ejecutada en un *smartphone*

Figura 1. Fotografía del entorno al ser utilizado desde un teléfono móvil

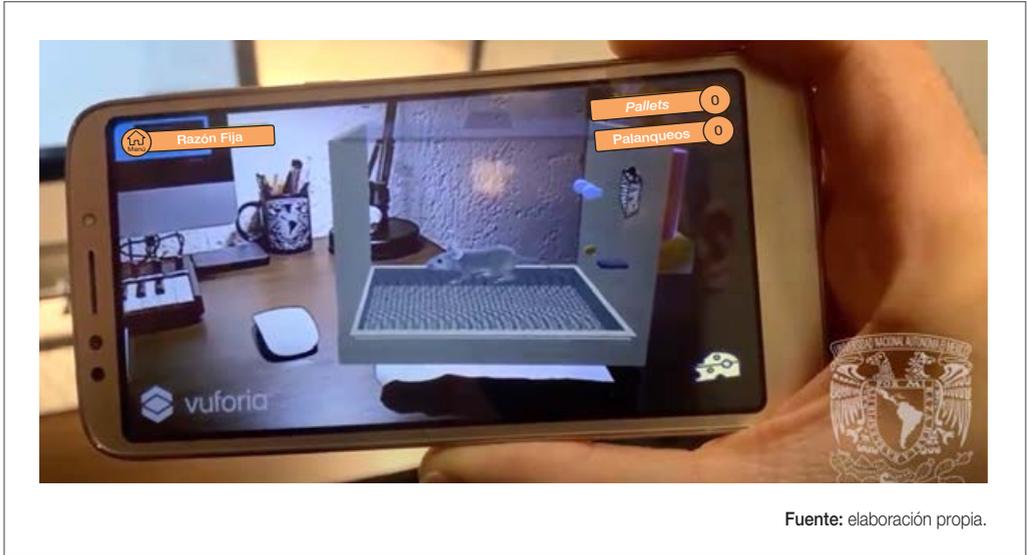


Figura 2. Fotografía del entorno sobre una mesa ejecutando el programa Razón Fija desde un teléfono móvil



Figura 3. Fotografía del entorno sobre una mesa con el autómata palanqueando



Fuente: elaboración propia.

B) Impacto en el aprendizaje derivado del uso del entorno en el grupo de estudiantes

A continuación se muestran los resultados estadísticos descriptivos, así como los obtenidos con la prueba de Wilcoxon de rangos con signo para conocer si hubo incremento significativo en el conocimiento sobre programas de reforzamiento por parte de los 44 estudiantes tras haber utilizado RatInARBox.

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Pretest	44	3,91	1,11	2	6
Posttest	44	6,45	1,30	3	8
	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75		
Pretest	3	4	5	-	
Posttest	6	7	7,75	-	

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en el cuadro 1, la media global de puntuaciones en el pretest fue de 3,91, mientras que en el postest fue de 6,45. De igual modo, la mediana (percentil 50) se encuentra en la puntuación 4 para el cuestionario anterior al uso de RatInARBox, mientras que para después de su uso fue de 7, lo cual indica un aumento significativo en los conocimientos de los participantes sobre «programas de reforzamiento» que utilizaron RatInAR-Box, como se muestra a continuación.

Cuadro 2. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

		N	Rango promedio	Suma de rangos
Postest-Pretest	Rangos negativos	3	5	15
	Rangos positivos	37	21,76	805
	Empates	4	–	–
	Total	44	–	–

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro 2 se muestra cómo solo tres de los 44 estudiantes evaluados disminuyeron en sus conocimientos de «programas de reforzamiento» después del uso de RatInARBox, lo cual indica que en esos casos la aplicación no ayudó a aumentar los conocimientos. Por el contrario, podemos observar que la mayoría (37) de los evaluados sí aumentó sus puntuaciones al terminar de usar el entorno de realidad aumentada (postest) en comparación con la evaluación inicial (pretest). De igual modo, hubo cuatro casos que se mantuvieron iguales (empates) en ambas mediciones.

Cuadro 3. Estadísticos de prueba

	Postest-Pretest
Z	– 5,336
Sig. asintótica (bilateral)	0,000

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro 3 se aprecia claramente que sí hay diferencias significativas en las puntuaciones de conocimientos antes y después de haber utilizado el entorno virtual RatInARBox

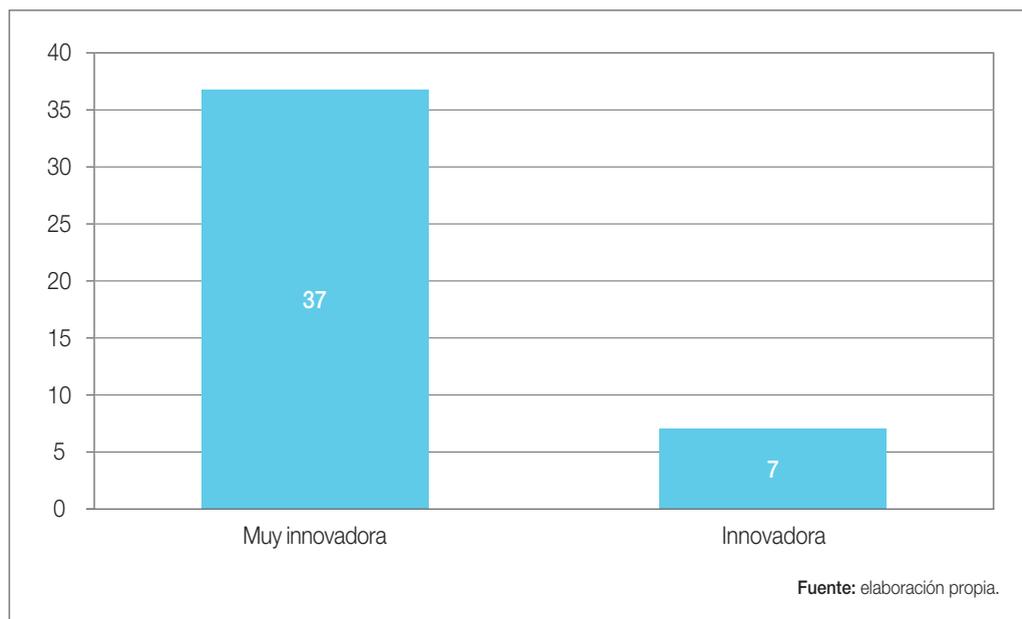
con un intervalo de confianza del 95 %, dado que los valores de Z ($-5,33$) son significativos a $0,000$ para la prueba de Wilcoxon de los rangos con signo. Esto permite rechazar la hipótesis nula y afirmar que el entorno de realidad aumentada incrementó los conocimientos sobre programas de reforzamiento de los estudiantes de psicología que participaron en este estudio.

Podemos afirmar que sí hay diferencias significativas en las puntuaciones de conocimientos antes y después de haber utilizado el entorno virtual RatInARBox

C) Opinión con relación al uso del entorno

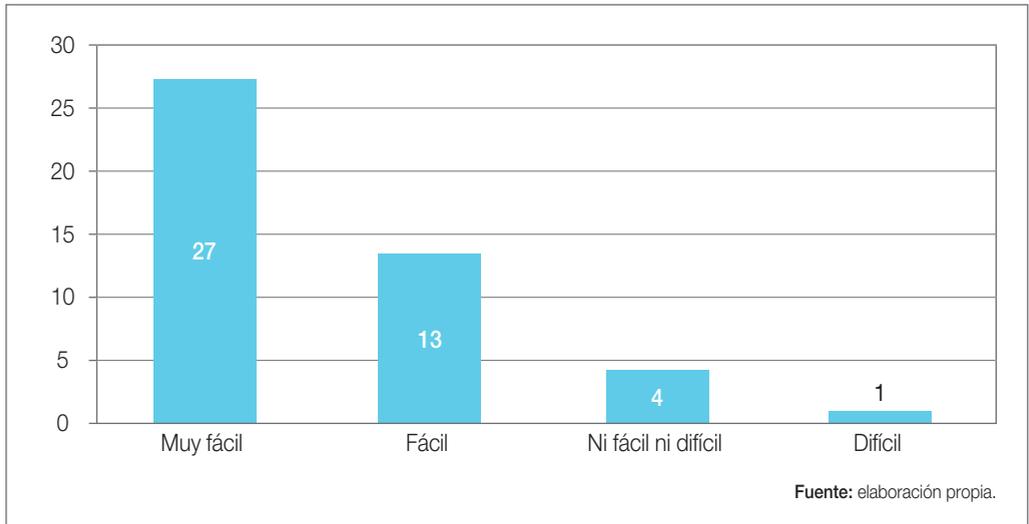
Como se observa en la figura 4, la mayoría de los participantes (37) calificaron la aplicación RatInARBox como muy innovadora.

Figura 4. Respuestas al ítem por parte de los estudiantes sobre la innovación del entorno de realidad aumentada



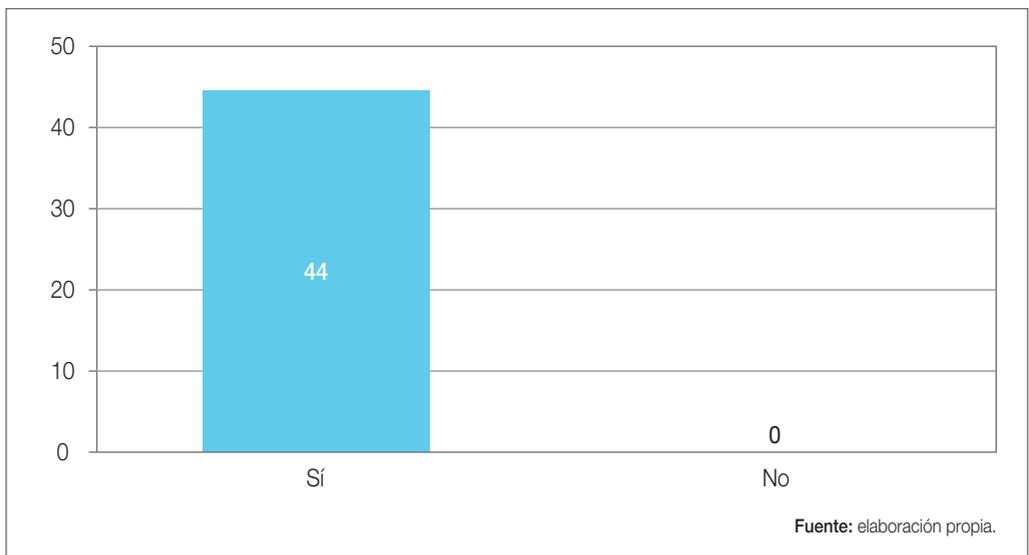
En cuanto a la dificultad de uso de la aplicación RatInARBox, la mayor parte de los participantes (27) la calificaron como muy fácil de usar, seguido por 13 participantes que la valoraron como fácil. Tan solo 1 estudiante consideró que la aplicación era difícil de utilizar (véase figura 5).

Figura 5. Respuestas al ítem sobre la dificultad de uso de la aplicación por parte de los estudiantes



Como se observa en la figura 6, todos los estudiantes que participaron en este estudio consideraron que RatInARBox era una alternativa útil para llevar a cabo aprendizajes de tipo aplicado a distancia.

Figura 6. Respuestas al ítem sobre la innovación del entorno por parte de los estudiantes



5. Discusión

Los procesos de enseñanza y aprendizaje se han visto modificados en los últimos años con la aparición y uso de tecnologías digitales en el contexto educativo (Clark, 2011), siendo la realidad aumentada una de las tecnologías con mayor proyección de crecimiento a nivel mundial (IDC, 2018), por lo cual se requiere del desarrollo de aplicaciones y entornos de realidad aumentada que permitan a los estudiantes de las diversas profesiones aprender de manera interactiva.

En este sentido, el desarrollo de RatInARBox permitió la generación de tecnología educativa de vanguardia para la enseñanza de la psicología científica, modernizando así las prácticas educativas llevadas a cabo de modo tradicional con las clásicas cajas de Skinner en los laboratorios, situación que moderniza las aulas y los planes de estudio de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México, pues ahora se cuenta con una alternativa virtual por medio de realidad aumentada que permite emular las prácticas experimentales tanto del modelo presencial como del modelo a distancia. Este desarrollo a nivel ético posee fuertes implicaciones, pues la misma universidad postula en sus lineamientos para la implementación de comités de ética (Universidad Nacional Autónoma de México, 2019) que, de ser posible las prácticas académicas en las cuales se utilicen sujetos animales, deberán ser reemplazadas con *softwares* o simuladores. Con relación a esto, RatInARBox, al contar con un autómatas que simula el comportamiento de una rata biológica dentro de una situación experimental, permite el desarrollo de ciertas prácticas de laboratorio para la enseñanza del condicionamiento operante sin la necesidad del uso de animales.

6. Conclusiones

Finalmente, cabe mencionar que los resultados estadísticos derivados del uso del entorno de realidad aumentada desarrollado evidencian un impacto positivo y significativo en los conocimientos de los participantes en torno al tema de programas de reforzamiento, lo cual permite afirmar que RatInARBox es una alternativa útil y funcional para la enseñanza de ese tipo de contenidos prácticos, pues, al ser un entorno de realidad aumentada dentro del cual se simula un escenario experimental, el estudiante interactúa de modo directo con el autómatas casi como lo haría de modo tradicional en el aula. Si bien, a nivel de usabilidad e innovación, los participantes de este estudio reportaron, al igual que en otras investigaciones sobre realidad aumentada con fines educativos (Nolasco de Almeida y Cabero Almenara, 2020), un buen grado de aceptación, se propone, para futuras investigaciones, el análisis del impacto en el aprendizaje de los alumnos con esta tecnología en comparación con otras, como puede ser la realidad virtual y las cajas de Skinner tradicionales.

Referencias bibliográficas

- Adarraga Morales, P. y Zaccagnini Sancho, J. L. (1994). *Psicología e inteligencia artificial*. Trotta.
- Alatorre, F., Ramírez, H., Teodoro, V. S., Padilla, C. M. y Pérez, L. J. (2019). ARAnatomyExplorer: una aplicación de realidad aumentada para el estudio de la anatomía humana. *X Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud. Generación de Nuevas Técnicas de Diagnóstico y Tratamiento*. 13, 14 y 15 de junio de 2019. Universidad Iberoamericana, Puebla, México.
- Blázquez Sevilla, A. (2017). *Realidad aumentada en educación*. Gabinete de Tele-Educación de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Bueno-Sánchez, L., Díaz-Africano, N., Restrepo-García, D., Solano Gualdrón, A. y Gantiva, C. (2019). Realidad virtual como tratamiento para la fobia específica a las arañas: una revisión sistemática. *Psicología*, 13(1), 101-109. <https://doi.org/10.21500/19002386.4024>
- Cabero Almenara, J. y Puentes Puente, A. (2020). La realidad aumentada: tecnología emergente para la sociedad del aprendizaje. *AULA. Revista de Humanidades y Ciencias Sociales*, 66(2), 35-51.
- Clark, B. R. (2011). *Cambio sustentable en la universidad*. Universidad de Palermo.
- Errasti Pérez, J. M. (1993). Programas de intervalo fijo y programas de intervalo aleatorio en la inducción de conducta adjuntiva de fumar. *Psicothema*, 5(1), 21-32.
- Ferster, C. y Skinner, B. F. (2014). *Schedules of Reinforcement*. Nueva York.
- Gisvert Cervera, M., Cela-Ranill, J. M. e Isús Barado, S. (2010). Las simulaciones en entornos TIC como herramienta para la formación en competencias transversales de los estudiantes universitarios. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 11(1), 352-370. <https://doi.org/10.14201/eks.6309>
- IDC Research. (2018). *The Digitization of the World From Edge to Core*. David Reinsel.
- Kuzminskyi, A. I., Vida, O. A., Kuchai, O. V., Yeznova, O. V. y Kuchai, T. P. (2019). Information support of educationalists as an important function of a postgraduate education system. *Revista Românească pentru Educație Multidimensională*, 11(3), 263-279.
- Levano-Francia, L., Sanchez Diaz, S., Guillén-Aparicio, P., Tello-Cabello, S., Herrera-Paico, N. y Collantes-Inga, Z. (2019). Competencias digitales y educación. *Propósitos y Representaciones*, 7(2), 569-588. <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2019.v7n2.329>
- Nolasco de Almeida Mello, G. y Cabero Almenara, J. (2020). Realidad aumentada en la enseñanza de hormigón reforzado: percepción de los alumnos. *Alteridad*, 15(1), 12-24. <https://doi.org/10.17163/alt.v15n1.2020.01>
- Peñalosa Castro, E. (2013). *Estrategias docentes con tecnologías: guía práctica*. Pearson.
- Peredo Pozos, A. y Redondo Domínguez, E. (2010). Realidad aumentada para el diseño urbano: un estudio de caso en el proyecto del Centro Cultural Universitario en Guadalajara. México. *International Conference Virtual City and Territory. 6.º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual*. 5, 6 y 7 de octubre 2010. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali.
- Prada, J. (1998). *Escuelas psicológicas & psicoterapéuticas*. Editorial San Pablo.
- Redecker, C., Kamylyis, P., Bacigalupo, M., Punie, Y. (Eds.), Conrads, J., Rasmussen, M., Winters, N., Geniet, A. y Langer, L. (2017). *Digital Education Policies in Europe*

- and Beyond: Design Principles for Effective Policies*. Joint Research Centre (European Commission).
- Ruiz Torres, D. (2011). Realidad aumentada, educación y museos. *Revista ICONO 14. Revista Científica de Comunicación y Tecnologías Emergentes*, 9(2), 212-226. <https://doi.org/10.7195/ri14.v9i2.24>
- Siemens, G. (2006). *Conociendo el conocimiento*. Ediciones Nodos Ele.
- Torre Cantero, J. de la, Martín-Dorta, N., Saorín Pérez, J. L., Carbonell Carrera, C. y Contero González, M. (2015). Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 37, 1-17.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (29 de agosto de 2019). Acuerdo por el que se establecen los lineamientos para la integración, conformación y registro de los comités de ética en la Universidad Nacional Autónoma de México. *Gaceta UNAM*.
- Vera Ocete, G., Ortega Carrillo, J. A. y Burgos González, M.^a Á. (2003). La realidad virtual y sus posibilidades didácticas. *Revista Eticanet*, 2(2), 1-17.
- Yeo, C. T., Ungi, T., U-Thainual, P., Lasso, A., McGraw, R. C. y Fichtinger, G. (2011). The effect of augmented reality training on percutaneous needle placement in spinal facet joint injections. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(7), 2.031-2.037. <https://doi.org/10.1109/TBME.2011.2132131>

José Manuel Sánchez-Sordo. Doctor en Psicología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Sus líneas de investigación son la cognición asistida por tecnología, el uso de inteligencia artificial para el análisis del comportamiento humano y la aplicación de realidad virtual y aumentada para la educación. Actualmente, coordina el proyecto transdisciplinar *Cognociendo*. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores y autor de artículos científicos en revistas indexadas. <https://orcid.org/0000-0001-6569-251X>

Sergio Teodoro-Vite. Doctor en Ciencias e Ingeniería de la Computación por la Universidad Nacional Autónoma de México. Sus intereses en investigación se enfocan en el diseño e implementación de sistemas de interacción humano-computadora empleando tecnologías de realidad virtual, realidad aumentada, simulación basada en física y juegos serios. Es coautor de publicaciones en simulación médica y enseñanza en ciencias de la salud. <https://orcid.org/0000-0002-7943-8819>

Participación de autores. J. M. S.-S. y S. T.-V. han participado a partes iguales en la elaboración de todos los apartados que constituyen este estudio de investigación.