

Entorno de Realidad Virtual para la Enseñanza del Análisis Experimental de la Conducta¹

(Virtual Reality Environment for the Teaching of Experimental Behavior Analysis)

Laurent Avila Chauvet^{*,2}, Diana Mejía Cruz*, Edgar López Ramírez**,***
y Sandra Liliana Olvera Hernández****

*Instituto Tecnológico de Sonora

**Universidad UniverMilenium

***Luria Vigotsky, A. C.

****Universidad Nacional Autónoma de México

(México)

Resumen

Uno de los obstáculos que enfrentan investigadores, docentes y estudiantes interesados en el análisis experimental de la conducta es el elevado costo del equipo experimental y la escasez de infraestructura, como bioríos y laboratorios de comportamiento animal. La realidad virtual permite a los usuarios experimentar entornos tridimensionales generados por computadora, que pueden (o no) asemejarse al mundo externo y ofrecer nuevas oportunidades para la enseñanza del análisis de la conducta. En este contexto, el Centro RV de Aprendizaje de Análisis de la Conducta ofrece un recorrido virtual gamificado por el biorío, la historia de la cámara de condicionamiento operante y los programas de reforzamiento simples, desde la perspectiva de una rata. Se evaluó la usabilidad de la plataforma y su efectividad para la enseñanza del análisis experimental de la conducta. Participaron 54 estudiantes de licenciatura en Psicología del Estado de México y Sonora, quienes realizaron una prueba pre y posttest sobre el contenido de la plataforma, así como cuestionarios sobre su nivel de contacto previo con el análisis de la conducta y la experiencia de usuario. Los resultados mostraron un incremento en las puntuaciones del posttest, independientemente del grado de contacto previo, y una tendencia general de aceptación en cuanto a la usabilidad y la experiencia de usuario. Se considera que la plataforma desarrollada puede fungir como una herramienta valiosa para la enseñanza del análisis experimental de la conducta y

¹ Agradecemos al Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) y a la Society for the Advancement of Behavior Analysis (SABA) por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto.

² Dirección para correspondencia: Laurent Avila Chauvet, 5 de Febrero núm. 818, C. P. 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. Correo electrónico: laurent.ac.ag.s@gmail.com

contribuir a reducir la brecha en la experiencia práctica con los laboratorios de comportamiento animal y el equipo experimental.

Palabras clave: realidad virtual, análisis experimental de la conducta, plataformas educativas, laboratorio de comportamiento animal, rata

Abstract

One of the main challenges faced by researchers, educators, and students interested in the experimental analysis of behavior is the high cost of experimental equipment and the limited availability of infrastructure, such as vivariums and animal behavior laboratories. Virtual reality allows users to experience three-dimensional environments generated by computers, which may or may not resemble the external world, offering new opportunities for the teaching of experimental behavior analysis. In this context, the Behavior Analysis VR Learning Hub was developed. This platform offers a gamified virtual journey through the vivarium, the historical development of the operant conditioning chamber, and simple reinforcement schedules, all from the perspective of a rat. Its design was based on technical datasheets of commercial equipment, historical photographs of devices across different periods, and the diagrams described by Skinner (1956) in "*A Case History in Scientific Method*". The 3D models were created using Rhinoceros 3D software, and the environment was programmed in Unity with the support of the Spatial Creator Toolkit. The platform is compatible with web browsers, mobile devices, and virtual reality headsets. The usability of the platform and its effectiveness in teaching concepts related to experimental behavior analysis were evaluated. A total of 54 undergraduate psychology students from Estado de Mexico and Sonora participated in the study. Participants completed a pretest and posttest focused on the platform's content, as well as questionnaires assessing their prior contact with behavior analysis and their user experience. The results showed a statistically significant increase in posttest scores, regardless of participants' prior familiarity with behavior analysis. Additionally, there was a general trend of positive acceptance regarding the platform's usability and user experience. However, lower levels of acceptance were observed among participants from Estado de México regarding the pleasantness, ease of use, and clarity of navigation. The possibility of implementing improvements in a second version is discussed, such as including a training phase for navigation and ensuring the permanence of informational points. Nevertheless, despite these limitations, it is considered that this platform may serve as a valuable educational tool for introducing students to the history and management of experimental equipment used in animal behavior laboratories, thereby helping to bridge the gap in practical experience that currently exists in this field of training.

Keywords: virtual reality, experimental analysis of behavior, educational platforms, animal behavior laboratory, rat

Uno de los obstáculos que enfrentan investigadores, docentes y estudiantes interesados en el análisis experimental de la conducta es el elevado costo del

equipo experimental utilizado para el estudio del comportamiento en modelos animales (Escobar & Lattal, 2010). En respuesta, distintos investigadores han desarrollado equipos experimentales de bajo costo mediante el uso de tecnologías como la impresión 3D y microcontroladores. Por ejemplo, interfaces para operar los equipos (Escobar & Pérez-Herrera, 2015; Pérez-Herrera et al., 2018), cámaras de condicionamiento operante (Escobar et al., 2022) y distintos componentes, como palancas, dispensadores y pantallas táctiles, entre otros (Avila-Chauvet et al., 2024; Avila-Chauvet & Pedroza-Cabrera, 2013; Gurley, 2019; Kuroda, 2017). No obstante, a pesar de los avances en el desarrollo de estos equipos, aún persisten obstáculos asociados a la adquisición de animales de laboratorio, el costo de mantenimiento de un bioterio y la falta de espacios destinados a la investigación con modelos animales.

En México, se ha reportado que, de una muestra de 49 campus pertenecientes a 38 instituciones de educación superior, únicamente siete contaban con laboratorios de comportamiento animal (Espinosa et al., 2022). A pesar de que no se dispone de una estimación precisa sobre el uso efectivo y la proporción de laboratorios de comportamiento animal en relación con el total de instituciones que imparten la licenciatura en Psicología en México, el estudio denota las limitadas oportunidades que tienen los estudiantes para interactuar con el equipo experimental, así como la poca disponibilidad de instancias formativas asociadas al trabajo con modelos animales.

La Realidad Virtual (RV) y la Realidad Virtual Inmersiva (RVI) permiten a los usuarios experimentar entornos tridimensionales generados por computadora, que pueden asemejarse al mundo externo y/o crear entornos completamente ficticios (Makransky & Petersen, 2021; Vasser & Aru, 2020). Mientras que la RV puede experimentarse a través de pantallas de ordenadores o dispositivos móviles, la RVI utiliza visores montados en la cabeza (HMD, por sus siglas en inglés) que aíslan visualmente a los usuarios de su entorno físico y rastrean los movimientos de la cabeza, aumentando así la percepción de presencia en los entornos virtuales (Loomis et al., 1999; Sriworapong et al., 2022). El interés por la RV y los metaversos, en los cuales los usuarios interactúan en tiempo real dentro de entornos virtuales a través de una conexión a internet (Martí-Testón et al., 2023), ha crecido sustancialmente en los últimos años. Una búsqueda en la base de datos Scopus de publicaciones que incluyen los términos “Virtual Reality” o “Metaverse” en el resumen, revela que el número de publicaciones aumentó de 1,662 en el año 2010 a 14,624 en 2024. Este creciente interés puede estar impulsado por la disminución en el costo de los HMD en comparación con sus primeros años, los avances en el rendimiento del hardware, la expansión de la industria de los videojuegos y la creciente oferta de aplicaciones (Segawa et al., 2020).

En el caso particular de la psicología aplicada, esta tecnología se ha empleado para la evaluación y el tratamiento de la ansiedad, el trastorno de estrés postraumático, las fobias, los trastornos por consumo de sustancias, la esquizofrenia e incluso el racismo implícito, entre otros (Banakou et al., 2016; Geraets et al., 2021; Rus-Calafell et al., 2018; Segawa et al., 2020). Mientras que, en el ámbito educativo, esta tecnología ha sido utilizada para el entrenamiento de procedimientos clínicos en estudiantes de medicina (Wrzus et al., 2024), la

enseñanza de conceptos de química (Makransky & Petersen, 2021), el desarrollo de competencias lingüísticas en cursos de inglés para turismo (Pujasari et al., 2024), entre otros. Sin embargo, hasta donde se tiene conocimiento, como herramientas orientadas al aprendizaje del análisis de la conducta, únicamente se conocen el Museo Virtual de Análisis de la Conducta (MuV-AC, <https://artspaces.kunstmatrix.com/node/12304486>), una plataforma que ofrece una sala de exhibición con material audiovisual, y el Centro RV de Aprendizaje de Análisis de la Conducta, el cual ofrece una experiencia gamificada que incluye una excursión por la historia de la cámara de condicionamiento operante y los programas de reforzamiento simples.

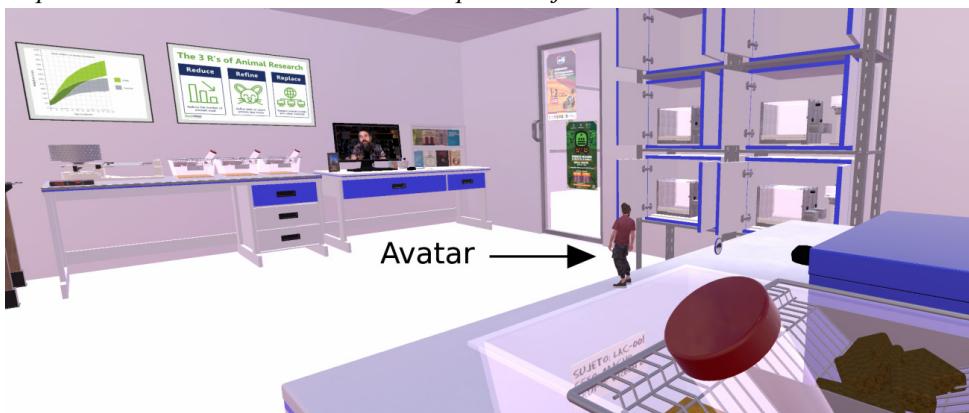
Finalmente, con el propósito de contribuir a reducir la brecha asociada a la experiencia con el equipo experimental utilizado en los laboratorios de comportamiento animal, el presente manuscrito describe el *Centro RV de Aprendizaje de Análisis de la Conducta*, así como los resultados de un estudio preliminar sobre su impacto en el aprendizaje y su usabilidad en estudiantes de la licenciatura en Psicología.

Centro RV de Aprendizaje de Análisis de la Conducta

El Centro RV de Aprendizaje de Análisis de la Conducta fue diseñado como una herramienta educativa de realidad virtual para la enseñanza del análisis experimental de la conducta. Esta plataforma es compatible con dispositivos móviles y navegadores web en su modalidad de RV, así como con HMD en su modalidad de RVi. En ella, los participantes pueden desplazarse libremente por un mundo abierto e interactuar con diversos dispositivos como quimógrafos, laberintos y cámaras de condicionamiento operante, desde la perspectiva de una rata (Figura 1).

Figura 1

Captura de Pantalla del Centro RV de Aprendizaje de Análisis de la Conducta



Nota. Captura de pantalla de vista panorámica del Centro RV de Aprendizaje de Análisis de la Conducta, con el avatar de un participante representado en una escala proporcional al tamaño de una rata.

Al ingresar al entorno de realidad virtual, los participantes pueden acceder a un video que los invita a realizar un recorrido virtual en el que deben recolectar 28 monedas para avanzar por las secciones temáticas y obtener una medalla. Si bien el entorno de realidad virtual no cuenta con un mapa del recorrido o un tutorial sobre cómo desplazarse en él, la adquisición secuencial de las monedas mediante el contacto guía el recorrido. Es necesario tomar la primera moneda para poder acceder a la segunda, y así sucesivamente. Asimismo, cada moneda activa un audio que proporciona información sobre los dispositivos y su funcionamiento.

Con el propósito de modelar representaciones tridimensionales similares a los equipos y dispositivos utilizados en el contexto de laboratorio, se empleó el software comercial Rhinoceros 3D (Ávila-Chauvet & Pedroza-Cabrera, 2013) y se recurrió a tres fuentes de información: (a) fichas técnicas de los equipos comerciales; (b) fotografías históricas de los dispositivos en distintas épocas, y (c) los diagramas descritos por Skinner (1956) en “*A Case History in Scientific Method*”, donde se describe el origen de la cámara de condicionamiento operante, así como algunos de los principios informales de la práctica científica que impulsaron su desarrollo.

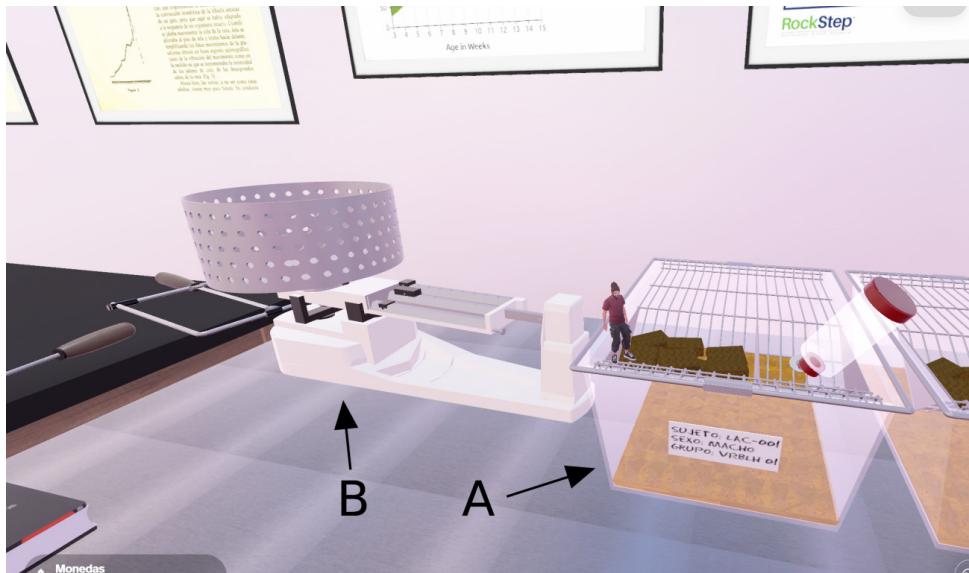
El entorno de laboratorio virtual se cargó en Spatial.io (<https://www.spatial.io/>), una plataforma que permite crear espacios de realidad virtual compatibles con múltiples dispositivos, como ordenadores, dispositivos móviles y HMD, incluyendo el Oculus Rift (Martí-Testón et al., 2023). Para desarrollar el entorno y programar el comportamiento de los objetos, se empleó el motor de desarrollo de videojuegos Unity (versión 2021.3.21f), que permite la colocación de objetos y admite la programación en C# y JavaScript, en conjunto con Spatial Creator Toolkit (<https://toolkit.spatial.io/>), un paquete de desarrollo basado en Unity que facilita el diseño y la publicación de entornos virtuales personalizados directamente en Spatial.io, además de ofrecer funciones básicas como el desplazamiento de avatares, el movimiento de cámara y la generación de objetos interactivos.

Finalmente, con el propósito de mostrar el funcionamiento de algunos de los dispositivos comúnmente utilizados en el laboratorio, así como su historia y características, se desarrolló un recorrido virtual dividido en tres secciones temáticas:

a) Herramientas del Bioterio

En esta sección se presentan las cajas-habitación estándar ($27 \times 37 \times 15$ cm) utilizadas comúnmente para el alojamiento individual de ratas de laboratorio (Figura 2a), junto con la disposición de la rejilla, el alimento (pellets NutriCubo), el dispensador de agua y los datos de identificación. Los usuarios pueden ingresar dentro de las cajas-habitación y simular el consumo de pellets o agua. Asimismo, se incorpora una báscula de precisión o granataria (Figura 2b), utilizada habitualmente para el monitoreo del peso. Los usuarios pueden acceder a este dispositivo mientras se les proporciona información sobre el peso promedio de las ratas. Esta información puede ser utilizada para introducir a los estudiantes en el manejo y cuidado de los animales, previo a una práctica de laboratorio, o para describir los instrumentos que pueden encontrar en un laboratorio de comportamiento animal.

Figura 2
Mesa Herramientas del Bioterio

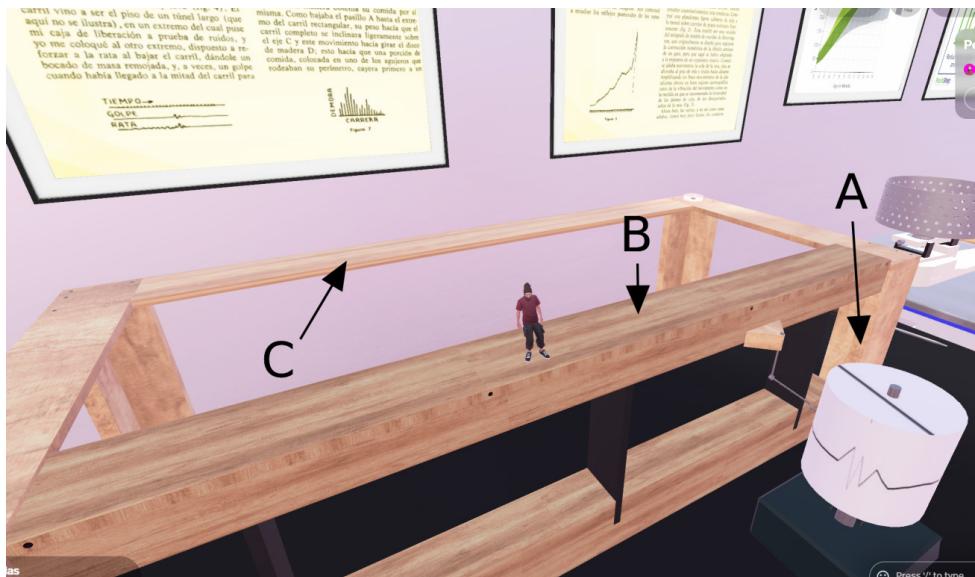


Nota. Captura de pantalla Mesa Herramientas del Bioterio. a) Caja-habitación y b) Balanza de precisión.

b) Historia de la Cámara de Condicionamiento Operante

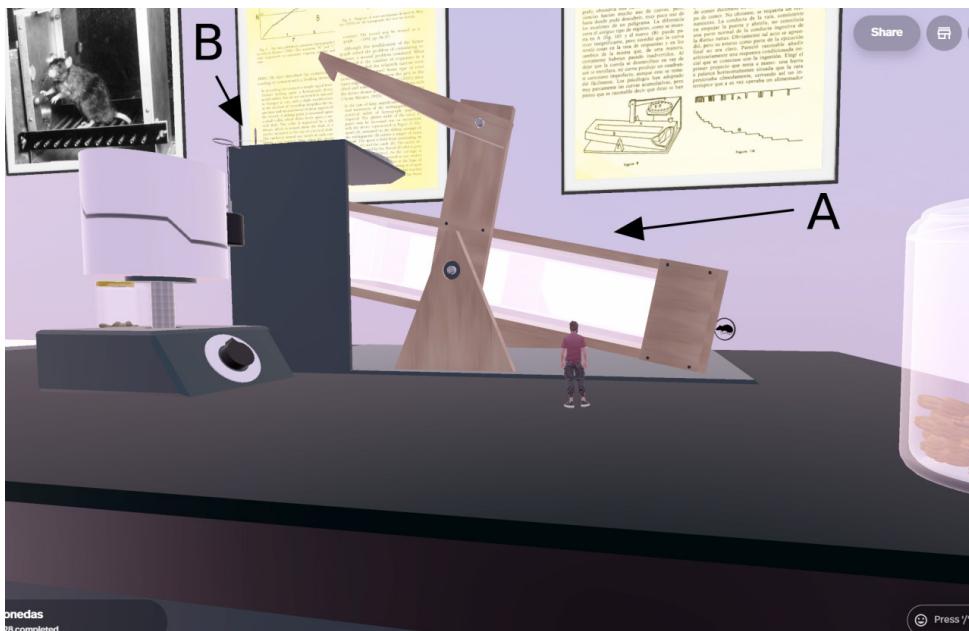
Esta es la sección más amplia de la plataforma. El recorrido inicia con la presentación de los instrumentos que Skinner (1956) desarrolló durante su etapa como estudiante, los cuales antecedieron a la cámara de condicionamiento operante moderna, y culmina con la incorporación de tecnologías de impresión 3D para la creación de equipo experimental.

En la mesa 1 de esta sección se describe: a) la incorporación del quimógrafo (Figura 3a) para registrar la respuesta de empuje de ratas adultas en un laberinto recto (Figura 3b), y b) la adaptación de una plataforma en forma de “U” (Figura 3c) para evitar la manipulación directa de las ratas al finalizar cada ensayo. Este último aspecto resulta particularmente interesante, ya que marcó el inicio de la medición del comportamiento en un continuo, en lugar de ensayos discretos. Finalmente, es importante destacar que, para avanzar a la siguiente mesa, el usuario debe recorrer los laberintos y consumir las masillas de alimento.

Figura 3*Mesa 1 Historia Cámara de Condicionamiento Operante*

Nota. Captura de pantalla Mesa 1 Historia Cámara de Condicionamiento Operante. a) Quinógrafo, b) Laberinto recto y c) Plataforma "U".

En la mesa 2 se presenta un circuito o prototipo de cámara de condicionamiento operante, en el cual el usuario debe desplazarse en su interior para activar automáticamente un dispensador de granos de cebada mediante un movimiento pendular mecánico (Figura 4a). Este dispositivo dio origen al registro acumulativo. El dispensador contaba con una pequeña protuberancia conectada a una pesa, la cual modificaba la posición vertical de la aguja del quinógrafo cada vez que la rata completaba una vuelta (Figura 4b).

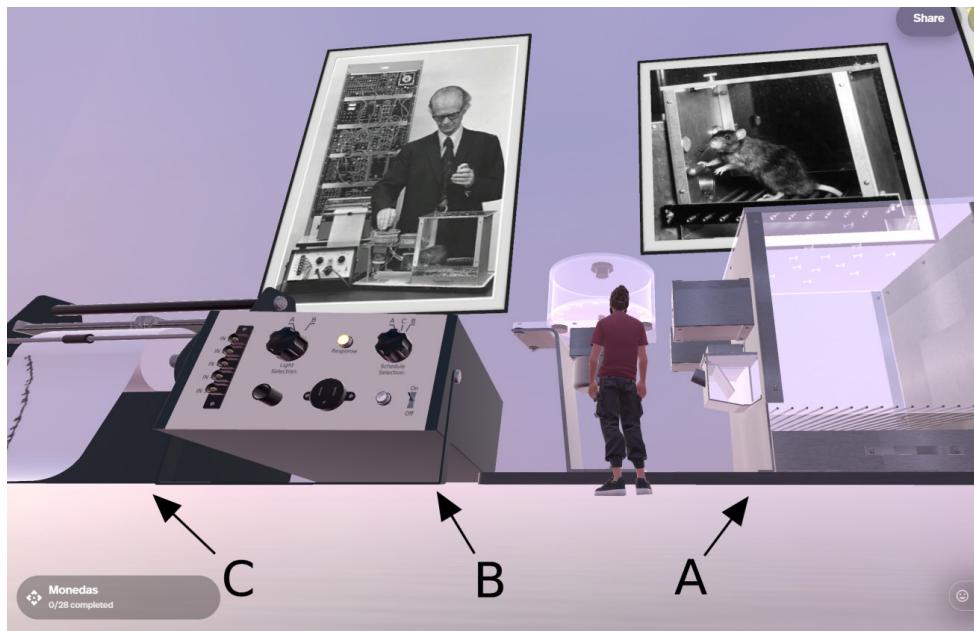
Figura 4*Mesa 2 Historia Cámara de Condicionamiento Operante*

Nota. Captura de pantalla Mesa 2 Historia Cámara de Condicionamiento Operante. a) Prototipo de Cámara de Condicionamiento y b) Quimógrafo con Pesa.

En la mesa 3 se presenta una cámara de condicionamiento operante de alrededor de la década de 1950 (Figura 5a), junto con la interfaz (Figura 5b) utilizada para conectarla al tablero de circuitos. Para avanzar a la siguiente sección, los usuarios deben ingresar a la cámara de condicionamiento, que opera bajo un programa de razón fija 5 (RF5), y presionar la palanca cinco veces, ya sea saltando sobre ella en modalidad de RV o presionándola con las manos en modalidad de RVi, para obtener un pellet y tener la posibilidad de salir de la cámara. Al final de esta mesa, se muestra un registro acumulativo (Figura 5c) que, a diferencia del quimógrafo, utilizaba el papel en orientación horizontal, lo que permitía registrar la tasa de respuesta de manera más precisa durante períodos de tiempo prolongados.

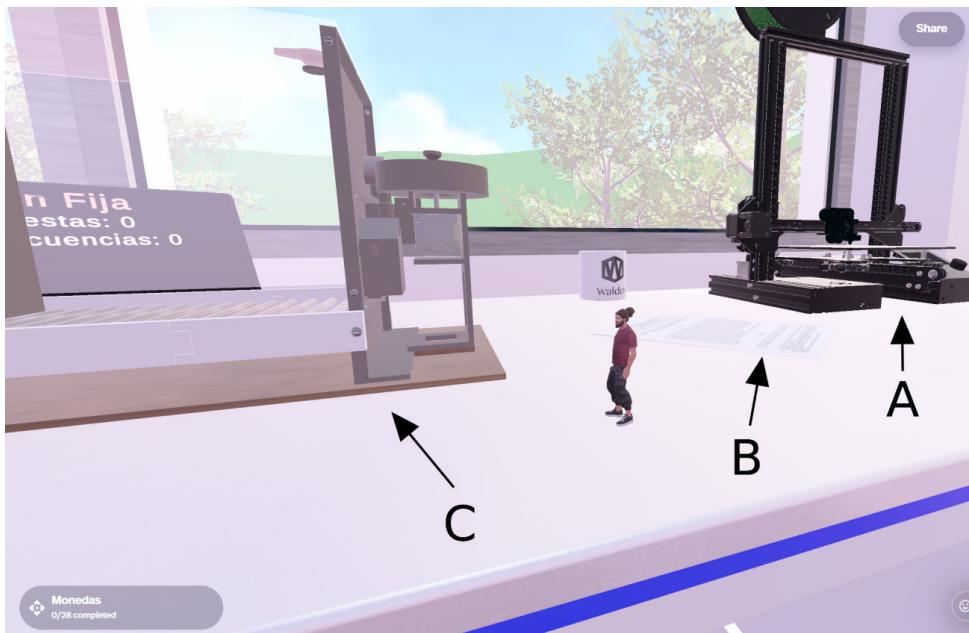
Figura 5

Mesa 3 Historia Cámara de Condicionamiento Operante



Nota. Captura de pantalla Mesa 3 Historia Cámara de Condicionamiento Operante. a) cámara de condicionamiento, b) Interfaz y c) Registro acumulativo.

Finalmente, en la mesa 4 se presenta: (a) el funcionamiento de una impresora 3D de bajo costo (modelo Ender 3), que puede ser utilizada para la fabricación de equipo experimental (Figura 6a); (b) el primer artículo que propone el uso de la impresión 3D para la creación de equipo experimental (Figura 6b) (Ávila-Chauvet & Pedroza-Cabrera, 2013); y (c) la primera cámara de condicionamiento operante impresa casi en su totalidad mediante esta tecnología (Figura 6c) (Escobar et al., 2022). Es importante destacar que este modelo fue construido a partir de los archivos originales e instrucciones disponibles en <http://analisisdelaconducta.net/> y <https://www.thingiverse.com/rogeresc/designs>. Asimismo, estos modelos constituyen un recurso valioso para democratizar el acceso al equipo experimental.

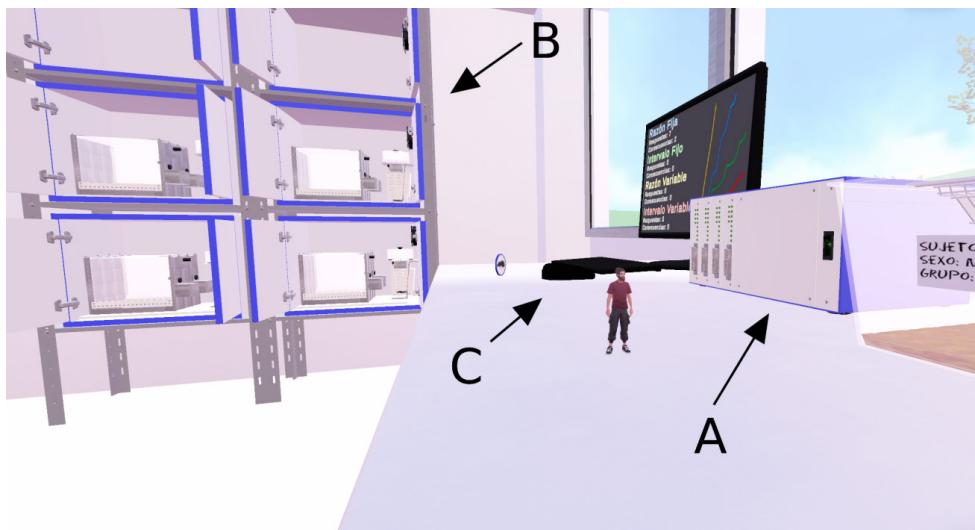
Figura 6*Mesa 4 Historia Cámara de Condicionamiento Operante*

Nota. Captura de pantalla Mesa 4 Historia Cámara de Condicionamiento Operante. a) Impresora 3D, b) Artículo y c) Cámara de condicionamiento 3D.

c) Programas de Reforzamiento Simples

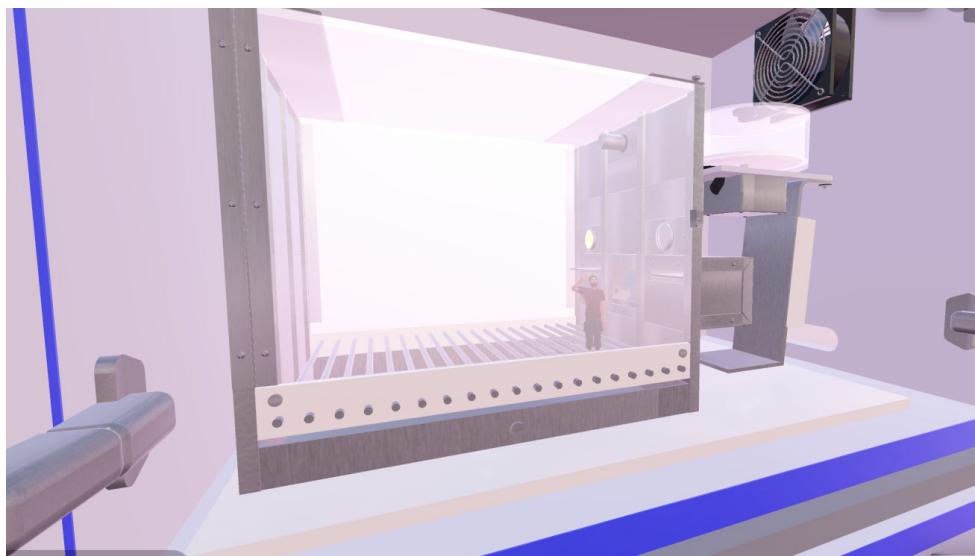
En esta última sección se muestra una interfaz de control comercial moderna (SG-7308 + DIG-716) utilizada para el control de cámaras de condicionamiento operante (Figura 7a), así como un estante (Figura 7b) con cuatro cámaras de condicionamiento operante comerciales (MED-008-D1). Cada cámara cuenta con dos palancas retráctiles, dos estímulos visuales, una luz general, un dispensador de alimento y su respectiva caja de insonorización (Figura 8). Cada una de las cámaras opera bajo cuatro programas de reforzamiento simple: razón fija y variable 10 (RF10 y RV10), e intervalo fijo y variable 7 (IF7s e IV7s). Para finalizar el recorrido, el usuario debe ingresar a cada una de las cajas y experimentar el programa de reforzamiento en operación. Además, el número de respuestas y consecuencias se registra en la pantalla del ordenador situado junto a la interfaz de control (Figura 7c).

Figura 7
Mesa Programas de Reforzamiento



Nota. Captura de pantalla Mesa Programas de Reforzamiento. a) Interfaz control, b) Estante y c) Ordenador.

Figura 8
Cámara de Condicionamiento Operante Comercial



A continuación, se presentan los resultados de un estudio preliminar que evalúa la usabilidad y el impacto del Centro RV de Realidad Virtual para el Aprendizaje de Análisis de la Conducta en el aprendizaje de estudiantes de la licenciatura en Psicología.

Método

Participantes

Participaron 54 estudiantes de licenciatura provenientes del Estado de Sonora ($n = 33$) y del Estado de México ($n = 21$). La muestra estuvo compuesta por 11 hombres, 41 mujeres y 1 persona de identidad no binaria, con una edad promedio de 19.98 años y un rango de edad que osciló entre los 18 y los 27 años. Una prueba U de Mann-Whitney no reveló diferencias estadísticamente significativas entre los participantes del Estado de Sonora y del Estado de México respecto a la edad ($U = 352.00$, $p = .927$, $r = 0.016$), el nivel de contacto previo con el análisis de la conducta ($U = 371.50$, $p = .660$, $r = 0.072$) o sus puntuaciones en la prueba pretest ($U = 397.00$, $p = .371$, $r = 0.146$).

Instrumentos

Los participantes del Estado de Sonora accedieron a la plataforma a través del navegador web Google Chrome, utilizando ordenadores de escritorio con sistema operativo Windows 11. Los equipos contaban con un procesador Intel Core i7 y 8 GB de memoria RAM. De manera equivalente, los participantes del Estado de México también accedieron a la plataforma a través del navegador Google Chrome, empleando ordenadores con sistema operativo Windows 10 Pro, procesador Intel Core i5-10210U CPU a 2.1 GHz y 16 GB de memoria RAM. En ambos casos, los ordenadores contaban con conexión a internet mediante cable Ethernet.

Se elaboraron tres instrumentos *ad hoc* con el propósito de identificar a los participantes con mayor contacto previo con el análisis de la conducta, así como de evaluar la experiencia del usuario y el efecto de la interacción con la plataforma en el aprendizaje:

- a. Formulario sobre contacto previo con el análisis de la conducta (FCAC):**
Consistió en un conjunto de ocho preguntas de respuesta dicotómica (sí/no). Las preguntas abordaron aspectos relacionados con la formación académica en áreas afines, experiencia práctica con animales de laboratorio, uso de equipo experimental, participación en proyectos de investigación, entre otras.
- b. Cuestionario sobre usabilidad y experiencia del usuario (CUEU):**
Consistió en 12 reactivos tipo Likert con cinco niveles de respuesta (1 = Totalmente en desacuerdo, 2 = En desacuerdo, 3 = Neutral, 4 = De acuerdo, 5 = Totalmente de acuerdo). Cada reactivo presentó una afirmación orientada a evaluar el grado de acuerdo de los participantes en relación con la innovación

tecnológica, la utilidad para el aprendizaje, la facilidad de uso y la vinculación entre teoría y práctica.

c. Cuestionario sobre análisis experimental de la conducta y equipo experimental (CAEC-EX):

Consistió en 29 reactivos de opción múltiple, cada uno con cinco alternativas de respuesta. Los reactivos evaluaron conocimientos básicos sobre el análisis experimental de la conducta, equipo de laboratorio, historia y el funcionamiento de cámaras de condicionamiento operante y el uso de tecnologías emergentes para la construcción de equipo experimental.

Procedimiento

Antes de ingresar a la plataforma, los participantes otorgaron su consentimiento informado, en el cual se especificaba la duración aproximada del estudio y se indicaba que su participación era completamente voluntaria, con la posibilidad de abandonar el estudio en cualquier momento, conforme a las pautas establecidas por la Declaración de Helsinki.

En el caso de los participantes del Estado de Sonora, se les convocó a un aula de cómputo dentro de la institución, donde cada estudiante tuvo acceso individual a un ordenador, con una separación aproximada de 1.5 metros entre estaciones. Una vez ubicados en sus lugares, se les indicó ingresar al sitio web <https://lcsia.com.mx/BAHub.html> y acceder a la sección “Test de aprendizaje” para completar el FCAC y la prueba pretest del CAEC-EX. Una vez concluido, se les indicó presionar el botón ‘Enter’ en la sección ‘Recorrido completo’ del Centro RV de Aprendizaje de Análisis de la Conducta y desplazarse con su avatar utilizando las teclas direccionales y la barra espaciadora hasta colocarse frente al librero ubicado a su derecha. Esta acción se realizó con el propósito de que los participantes se familiarizaran con los controles de navegación. Asimismo, se les indicó que esperaran a que todos los participantes ingresaran al entorno antes de iniciar el recorrido.

Una vez ubicados todos los participantes frente al librero, se les indicó que el objetivo de la actividad consistía en capturar las 28 monedas distribuidas en el entorno de realidad virtual y prestar atención a la información asociada a cada una de ellas. También se les informó que podían solicitar apoyo de uno de los tres experimentadores en caso de presentar dudas relacionadas con la navegación dentro del entorno virtual. Al finalizar la actividad, se les solicitó ingresar nuevamente a la sección ‘Test de aprendizaje’ para completar la prueba postest del CAEC-EX, así como el CUEU.

En el caso de los participantes del Estado de México, se compartió, con una semana de anticipación, a través del apartado “Avisos y Novedades” de la plataforma educativa Moodle, la traducción al español del artículo “*A Case History in Scientific Method*” (Catania, 1974; Skinner, 1956). Posteriormente, se convocó a los estudiantes a una sala de cómputo con estaciones de trabajo separadas entre 50 y 150 cm. A través del apartado “Avisos y Novedades” de la plataforma Moodle, se les proporcionó el

enlace para acceder a la plataforma y se les indicó que ingresaran a la sección “Test de aprendizaje” para completar el FCAC y la prueba pretest del CAEC-EX.

Una vez finalizado el pretest, se procedió a una fase de familiarización con los controles de navegación, considerando que, en una consulta previa, aproximadamente 10 participantes habían reportado no tener experiencia en el manejo de videojuegos. Durante esta fase, se explicó a los participantes que el objetivo de la actividad consistía en capturar las 28 monedas distribuidas en el entorno de realidad virtual, mostrando un ejemplo práctico con la primera moneda para asegurar la comprensión de la tarea. También se les informó que podían solicitar apoyo del experimentador (docente a cargo) en caso de presentar dudas relacionadas con la navegación. Una vez finalizada la fase de familiarización, se indicó a los participantes que completaran el recorrido y, posteriormente, contestaran la prueba postest del CAEC-EX, así como el CUEU.

Análisis de Datos

Para el análisis de los resultados pre y post del Cuestionario sobre Análisis Experimental de la Conducta y Equipo Experimental (CAEC-EX), las puntuaciones fueron transformadas a puntajes Z, a partir de la media (M) y la desviación estándar (σ) del pretest, así como del número de respuestas correctas (X) de cada participante ($z = X - M / \sigma$). Esta transformación permitió estimar incrementos o decrementos en el desempeño del postest en relación con el pretest. Valores cercanos a cero reflejan un rendimiento próximo a la media grupal del pretest, mientras que los valores positivos o negativos representan el número de desviaciones estándar por encima o por debajo de la media. Los resultados de los participantes de Sonora y del Estado de México fueron agrupados, dado que no se presentaban diferencias estadísticamente significativas ($F(1, 52) = 0.857, p = .43, \omega^2 < 0.001$) y analizados conforme a dos criterios: a) Desempeño por encima o por debajo de la media en el pretest (Grupos: Alto pretest y Bajo pretest), y b) Nivel de contacto previo con el análisis de la conducta, determinado a partir del número de respuestas afirmativas por encima o por debajo de la media en el Formulario sobre contacto previo con el análisis de la conducta (Grupos: Mayor contacto y Menor contacto). Posteriormente, se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) de dos factores, considerando las condiciones pre y post, así como los grupos previamente definidos.

Finalmente, para el análisis del Cuestionario sobre Usabilidad y Experiencia del Usuario (CUEU), se optó por comparar a los participantes del Estado de Sonora y del Estado de México, debido a las diferencias observadas en las medias del grado de acuerdo con las afirmaciones. Asimismo, se utilizó una prueba U de Mann-Whitney para comparar cada uno de los reactivos y se construyeron histogramas que muestran la proporción de distribución de las puntuaciones para cada afirmación.

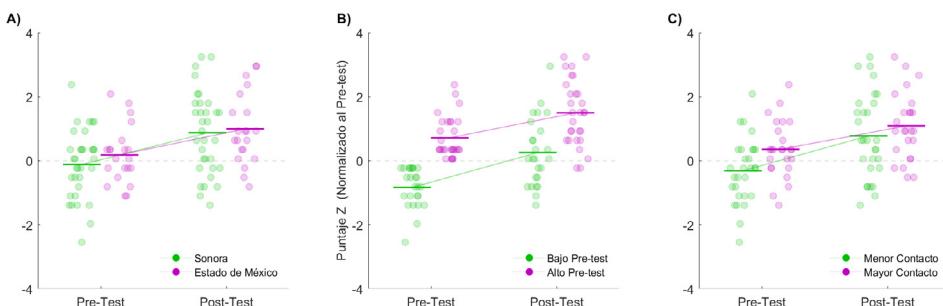
La base de datos y el código utilizado para generar las gráficas, junto con los instrumentos ad hoc desarrollados para este estudio, son de acceso abierto y están disponibles para su descarga en <https://lcsia.com.mx/Data/DataHub.zip>.

Resultados

En la Figura 9A se muestra la media y las puntuaciones individuales de cada participante del Estado de Sonora y del Estado de México en el CAEC-EX. El puntaje Z de los participantes del Estado de Sonora fue menor en las condiciones pretest ($M = -0.11$, $DE = 1.06$) y postest ($M = 0.87$, $DE = 1.27$), en comparación con las puntuaciones pretest ($M = 0.18$, $DE = 0.89$) y postest ($M = 0.99$, $DE = 1.10$) de los participantes del Estado de México. Sin embargo, un análisis de varianza ANOVA no reveló un efecto de interacción ($F(1, 52) = 0.330$, $p = .568$, $\omega^2 < 0.001$) ni diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($F(1, 52) = 0.617$, $p = .436$, $\omega^2 < 0.001$). No obstante, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones pre y post ($F(1, 52) = 33.974$, $p < .001$, $\omega^2 = 0.135$).

Figura 9

Comparación del Puntaje Z Normalizado al Número de Respuestas Correctas en el Pretest



Nota. Los puntos representan el puntaje Z de cada participante, mientras que las líneas indican la media grupal. La figura A muestra los resultados en función del estado: Estado de México (morado) y Sonora (verde). La figura B muestra los resultados en función de la puntuación en el pretest: Alto (morado) y Bajo (verde). La figura C muestra los resultados en función de la experiencia previa con el análisis de la conducta: mayor (morado) y menor (verde).

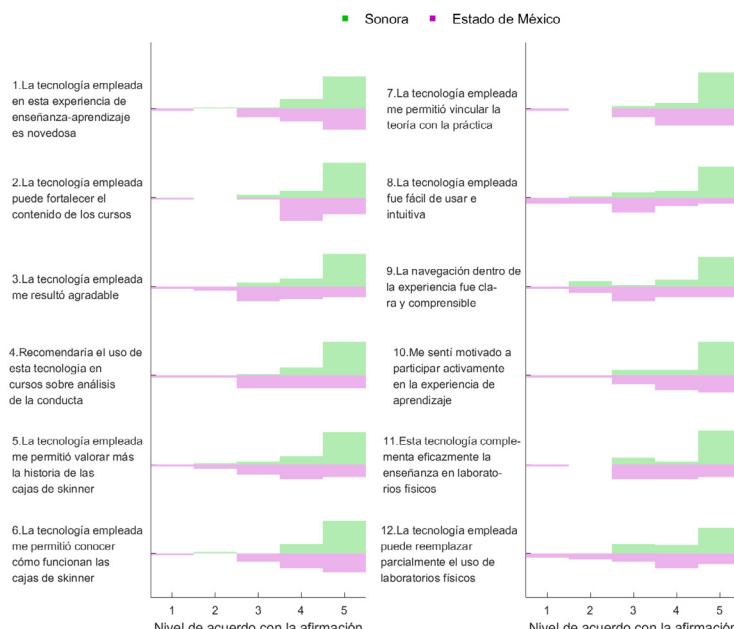
En la Figura 9C se muestra el promedio y las puntuaciones individuales de cada participante, para los grupos menor y mayor contacto. El puntaje Z del grupo menor contacto incrementó en el postest ($M = 0.78$, $DE = 1.32$) en comparación con el pretest ($M = -0.31$, $DE = 1.00$). De manera similar, el grupo mayor contacto también mostró un incremento en el postest ($M = 1.09$, $DE = 1.05$) en comparación con el pretest ($M = 0.36$, $DE = 0.88$). Un análisis de varianza ANOVA no reveló un efecto de interacción entre el momento de evaluación y el nivel de contacto ($F(1, 52) = 1.433$, $p = .237$, $\omega^2 = 0.002$). No obstante, se observaron diferencias

estadísticamente significativas únicamente entre las condiciones pre y post ($F(1, 52) = 36.816, p < .001, \omega^2 = 0.148$). Finalmente, se observó una correlación positiva y estadísticamente significativa entre el nivel de contacto previo con el análisis de la conducta y las puntuaciones Z del pretest ($r = 0.449, p < .001$).

En la Figura 10 se muestran los histogramas referentes a la distribución de las puntuaciones asignadas por los participantes del Estado de Sonora y del Estado de México en el cuestionario sobre usabilidad y experiencia del usuario (CUEU). Una prueba U de Mann-Whitney realizada sobre el promedio del grado de acuerdo de todas las afirmaciones entre los participantes del Estado de Sonora ($M = 4.56, DE = 0.57$) y del Estado de México ($M = 3.74, DE = 0.83$), reveló diferencias estadísticamente significativas ($U = 123.00, p < .001, r = -0.645$). Asimismo, se observaron diferencias estadísticamente significativas sobre el grado de acuerdo para cada una de las afirmaciones ($p < .05$). El menor grado de desacuerdo, o menor tamaño del efecto ($r = -0.281$), se observó en la afirmación 1, asociada con la novedad de la tecnología empleada. La mayor parte de los participantes tanto del Estado de Sonora como del Estado de México, refirió estar totalmente de acuerdo con esta afirmación. Mientras que el mayor grado de desacuerdo, o mayor tamaño del efecto ($r = -0.662$), se observó en la afirmación 12, asociada a la posibilidad de que esta tecnología pueda reemplazar parcialmente el uso de laboratorios físicos.

Figura 10

Distribución de las Puntuaciones Sobre la Experiencia y el Aprendizaje Mediado por la Plataforma



Nota. Las barras muestran la distribución relativa de las puntuaciones de los participantes del Estado de Sonora (verde) y del Estado de México (morado) en el cuestionario sobre usabilidad y experiencia del usuario.

A pesar de las diferencias observadas en las medias, las modas en la distribución de las puntuaciones para ambos grupos tendieron a concentrarse en los niveles de respuesta “De acuerdo” y “Totalmente de acuerdo”. No obstante, en el caso de los participantes del Estado de México se identificaron tres excepciones, correspondientes a las afirmaciones relacionadas con el uso agradable de la tecnología (Afirmación 3), su facilidad de manejo (Afirmación 8) y la claridad en la navegación (Afirmación 9).

Discusión

El presente manuscrito describió el *Centro RV de Realidad Virtual de Aprendizaje de Análisis de la Conducta*, una herramienta educativa orientada a la enseñanza del análisis experimental de la conducta mediante un recorrido virtual gamificado a través de los instrumentos de un bioterio, la historia de la cámara de condicionamiento operante y los programas de reforzamiento simples (Association for Behavior Analysis International, 2025). Asimismo, se evaluó el impacto de su uso en el aprendizaje de contenidos asociados al análisis experimental de la conducta, así como la usabilidad y experiencia de usuario en estudiantes universitarios. Dados los obstáculos asociados al elevado costo del equipo experimental, el mantenimiento de bioterios y la limitada disponibilidad de infraestructura especializada (Escobar & Lattal, 2010; Espinosa et al., 2022), se considera relevante el desarrollo de herramientas educativas que permitan a los estudiantes interactuar con el equipo y los dispositivos utilizados en los laboratorios de comportamiento animal.

En relación con las diferencias entre los estudiantes del Estado de México y Sonora asociadas a la edad de los participantes, el nivel de contacto previo con el análisis de la conducta y los conocimientos vinculados al análisis experimental de la conducta y al equipo experimental, los resultados mostraron ausencia de diferencias estadísticamente significativas, por lo cual se procedió a agrupar los datos. Sin embargo, es importante señalar que se presentaron ligeras diferencias en el procedimiento, particularmente en la instrucción de leer con anticipación la traducción del artículo “*A Case History in Scientific Method*” (Catania, 1974 Skinner, 1956) y en el tiempo de familiarización con la plataforma. A pesar de ello, es importante notar que no se tiene evidencia de que la instrucción de leer la lectura con anticipación haya sido atendida por los participantes del Estado de México.

Una vez agrupadas las puntuaciones, se conformaron dos grupos en función de su desempeño en el pretest y dos grupos en función de su nivel de contacto previo con el análisis de la conducta. Los resultados mostraron una correlación positiva entre el nivel de contacto previo con el análisis de la conducta y las puntuaciones obtenidas en el pretest. Sin embargo, las puntuaciones de los grupos de mayor y menor contacto previo con el análisis de la conducta fueron similares tanto en el pretest como en el posttest, mostrando en ambos casos un aumento estadísticamente

significativo en las puntuaciones del postest. Los resultados sugieren que el contacto previo con cursos y lecturas tiene un efecto en el aprendizaje de la historia y el manejo del equipo experimental empleado en los laboratorios de comportamiento animal. Sin embargo, el aumento en las puntuaciones y la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en el postest indica que la interacción con representaciones digitales de los equipos puede contribuir al aprendizaje de estos contenidos, independientemente del nivel de contacto previo. Al respecto, es importante destacar que en México son pocas las instituciones que cuentan con laboratorios de comportamiento animal (Espinosa et al., 2022), por lo que esta herramienta podría fungir como un primer acercamiento en los cursos de psicología experimental. Asimismo, se ha sugerido que el uso de tecnologías que presentan estímulos como objetos tridimensionales manipulables puede aumentar la motivación, mejorar la atención e incrementar la retención del contenido (Ozdemir, 2023; Pujasari et al., 2024; Wrzus et al., 2024). En relación con las diferencias entre los grupos de mayor y menor desempeño en el pretest, en ambos casos se observó un aumento estadísticamente significativo en las puntuaciones del postest. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las puntuaciones del pretest del grupo de alto desempeño y las del postest del grupo de bajo desempeño, lo que sugiere que esta herramienta puede ser utilizada para equilibrar el nivel de conocimiento.

En relación con los resultados referentes a la experiencia de usuario y la usabilidad de la plataforma, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los participantes del Estado de Sonora y del Estado de México. De manera general, los estudiantes de Sonora manifestaron un mayor grado de acuerdo en las afirmaciones del cuestionario, lo que sugiere una percepción más favorable hacia la tecnología empleada. Sin embargo, la distribución de las respuestas en ambos grupos se concentró en los niveles de “De acuerdo” y “Totalmente de acuerdo”, lo que indica una aceptación generalizada de la plataforma como herramienta educativa. Estos resultados son consistentes con referencias previas que han señalado que las tecnologías de realidad virtual y metaverso tienden a ser percibidas como innovadoras y motivadoras, así como a aumentar el interés por los contenidos y la participación estudiantil (Pujasari et al., 2024; Vate-U-Lan & Cahill, 2024). Las afirmaciones en las cuales los participantes del Estado de México mostraron un menor grado de acuerdo estuvieron asociadas a la agradabilidad, la usabilidad y la claridad del recorrido virtual. Estas diferencias sugieren que, si bien la plataforma resulta en general atractiva, aspectos como la usabilidad intuitiva y la experiencia de navegación deberían ser optimizados para asegurar una adopción homogénea entre estudiantes con distintos niveles de experiencia tecnológica (Sriworapong, 2022). Asimismo, esta diferencia podría atribuirse a factores como la familiaridad previa con estas tecnologías o la infraestructura disponible durante la interacción. Finalmente, la última de las afirmaciones evaluaba si esta tecnología podría reemplazar parcialmente el uso de laboratorios físicos. La distribución de las puntuaciones se concentró entre los niveles “Neutral” y “Totalmente de acuerdo”; sin embargo, se observó una mayor variabilidad en las respuestas. A pesar de que este tipo de experiencias destaca por su valor ecológico al permitir la representación

de entornos más realistas (Loomis et al., 1999), no sustituye los laboratorios físicos. No obstante, puede fungir como una primera aproximación económica para los estudiantes, considerando la limitada disponibilidad de laboratorios de comportamiento animal en México (Espinosa et al., 2022).

Finalmente, el manuscrito presenta distintas limitaciones. En primer lugar, aunque la plataforma desarrollada es compatible con dispositivos móviles, navegadores web y visores de realidad virtual, en el estudio preliminar únicamente se evaluó la modalidad de realidad virtual a través de ordenadores, lo cual no permitió explorar algunas de sus capacidades que se encuentran directamente vinculadas con la modalidad de realidad virtual inmersiva, como las presiones de palanca o el consumo de pellets con las manos. En segundo lugar, el uso del Spatial Toolkit presenta limitaciones en cuanto a la comunicación con interfaces de programación de aplicaciones (API) de terceros (Spatial Systems, Inc., 2025), lo que impidió contar con un registro informático del desplazamiento y recorrido de los usuarios dentro del entorno virtual. No obstante, a partir de comunicaciones personales con los participantes, se han identificado áreas de mejora que se planean incorporar en futuras actualizaciones, tales como: (a) la inclusión de una fase de entrenamiento para el manejo de los controles y una guía que oriente el recorrido; (b) la permanencia de los puntos de información para evitar dependencia de la comunicación auditiva; y (c) la revisión de ciertos segmentos del entorno donde los avatares tienden a bloquearse. En tercer lugar, algunas de las principales limitaciones del estudio fueron las diferencias procedimentales y la ausencia de un grupo control, por lo que los resultados deben valorarse con cautela. A pesar de que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el pretest y en el nivel de contacto previo con el análisis de la conducta, es posible que la revisión anticipada de la lectura o las diferencias en los equipos de cómputo hayan afectado el desempeño individual de algunos participantes. Asimismo, es importante destacar que los instrumentos fueron elaborados ad hoc para los fines específicos del presente estudio. Por ello, se recomienda su revisión y posible validación en investigaciones futuras.

A pesar de estas limitaciones, se considera que el estudio muestra las bondades de este tipo de tecnologías para la enseñanza del análisis experimental de la conducta y motiva su evaluación en entornos de realidad virtual inmersiva. Asimismo, se plantea, en un futuro, desarrollar módulos de aprendizaje desde la perspectiva del experimentador, en los cuales los usuarios podrán realizar acciones como: (a) cuidado y manejo de las ratas, como la administración de alimento y agua, el cambio de aserrín y el monitoreo de su peso; y (b) acciones de preparación y ejecución de experimentos, como la selección de programas de reforzamiento, el ingreso de las ratas a la cámara de condicionamiento operante, la observación de su comportamiento y el análisis de los patrones de respuesta a la palanca.

Referencias

- Association for Behavior Analysis International. (2025). *Laurent Avila Chauvet*. ABAI SABA. Retrieved May 5, 2025, from <https://saba.abainternational.org/grants/international-development-grant/laurent-avila-chauvet/>
- Avila-Chauvet, L., Elenes-Rivera, J., Cruz, D. M., & Ojeda Aguilar, Y. L. (2025). Effect of resource-associated signals on producer responses: Insights from golden fish (*Carassius auratus*) and an agent-based model. *Journal of Comparative Psychology*, 139(3), 230–238. <https://doi.org/10.1037/com0000400>
- Ávila-Chauvet, L., & Pedroza-Cabrera, F. J. (2013). Reprap y Rhinoceros® en el diseño y construcción de equipo experimental. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 39(3), 65–72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=59335809005>
- Banakou, D., Hanumanthu, P. D., & Slater, M. (2016). Virtual embodiment of White people in a Black virtual body leads to a sustained reduction in their implicit racial bias. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, Article 601. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00601>
- Catania, A.C. (1974). *Investigación contemporánea en conducta operante*. Trillas.
- Escobar, R., Gutiérrez, B., & Benavides, R. (2022). 3D-printed operant chambers for rats: Design, assembly, and innovations. *Behavioural Processes*, 199, Article 104647. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2022.104647>
- Escobar, R., & Lattal, K. A. (2010). Interfaz de bajo costo usando un puerto paralelo y Visual Basic. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 36(3), 7–21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=59315690001>
- Escobar, R., & Pérez-Herrera, C. A. (2015). Low-cost USB interface for operant research using Arduino and Visual Basic. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 103(2), 427–435. <https://doi.org/10.1002/jeab.135>
- Geraets, C. N. W., van der Stouwe, E. C. D., Pot-Kolder, R., & Veling, W. (2021). Advances in immersive virtual reality interventions for mental disorders: A new reality? *Current Opinion in Psychology*, 41, 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2021.02.004>
- Gurley, K. (2019). Two open source designs for a low-cost operant chamber using Raspberry Pi™. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 111(3), 508–518. <https://doi.org/10.1002/jeab.520>
- Kuroda, T. (2017). A combination of Raspberry Pi and SoftEther VPN for controlling research devices via the internet. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 108(3), 468–484. <https://doi.org/10.1002/jeab.289>
- Loomis, J. M., Blascovich, J. J., & Beall, A. C. (1999). Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(4), 557–564. <https://doi.org/10.3758/bf03200735>

- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33(3), 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- Martí-Testón, A., Muñoz, A., Gracia, L., & Solanes, J. E. (2023). Using WebXR metaverse platforms to create touristic services and cultural promotion. *Applied Sciences*, 13(14), Article 8544. <https://doi.org/10.3390/app13148544>
- Ozdemir, O., & Kalinkara, Y. (2023). Rethinking seamless learning through metaverse: Metaseamless learning. *International Online Journal of Educational Sciences*, 15(2), 261-274. <https://doi.org/10.15345/ijoes.2023.01.005>
- Espinosa, F. d. J. P., González, M. O., Hernández, E. V., & Briceño, V. E. S. (2022). Laboratorios de investigación experimental en IES públicas de psicología en México [Experimental research laboratories in public HEIs of psychology in Mexico]. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 48(2), 93–111. <https://doi.org/10.5514/rmac.v48.i2.84464>
- Pérez-Herrera, C. A., Escobar, R., & Guitérrez, B. (2018). A mobile interface using Android® devices for operant laboratory courses. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 44(1), 71–85. <https://doi.org/10.5514/rmac.v44.i1.65352>
- Pujasari, R. S., Fatimah, A. S., Sri, M., & Sulastri, F. (2024). Potential benefits of metaverse concept implementation in English for tourism course: A case study in Indonesian higher education contexts. *International Journal of Language Education*, 8(3), 520–532. <https://doi.org/10.26858/ijole.v8i3.66494>
- Rus-Calafell, M., Garety, P., Sason, E., Craig, T. J., & Valmaggia, L. R. (2018). Virtual reality in the assessment and treatment of psychosis: A systematic review of its utility, acceptability and effectiveness. *Psychological Medicine*, 48(3), 362–391. <https://doi.org/10.1017/s0033291717001945>
- Segawa T, Baudry T, Bourla A, Blanc J-V, Peretti C-S, Mouchabac S and Ferreri F (2020) Virtual Reality (VR) in Assessment and Treatment of Addictive Disorders: A Systematic Review. *Frontiers in Neuroscience*, 13(1409). <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01409>
- Skinner, B. F. (1956). A case history in scientific method. *American Psychologist*, 11(5), 221–233. <https://doi.org/10.1037/h0047662>
- Spatial Systems, Inc. (2025). *Spatial creator toolkit*. Spatial. Retrieved May 5, 2025, from <https://toolkit.spatial.io/>
- Sriworapong, S., Pyae, A., Thirasawasd, A., & Keereewan, W. (2022). Investigating students' engagement, enjoyment, and sociability in virtual reality-based systems: A comparative usability study of Spatial.io, Gather. town, and Zoom. In *International Conference on Well-Being in the Information Society* (pp. 140-157). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14832-3_10
- Vasser, M., & Aru, J. (2020). Guidelines for immersive virtual reality in psychological research. *Current Opinion in Psychology*, 36, 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2020.04.010>

- Vate-U-Lan, P., & Cahill, D. (2024). Advancing academic achievement: Integrating society 5.0 and game-based learning in metaverse space for undergraduates in Bangkok, Thailand. *Cogent Education*, 11(1). 2385239. <https://doi.org/10.1080/2331186x.2024.2385239>
- Wrzus, C., Frenkel, M. O., & Schöne, B. (2024). Current opportunities and challenges of immersive virtual reality for psychological research and application. *Acta Psychologica*, 249, Article 104485. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2024.104485>

(Received: June 20, 2025; Accepted: September 5, 2025)