

Entorno educativo inmersivo para el aprendizaje del perceptrón Immersive educational environment for learning the perceptron

E. G. Ramos-Pérez ^{a,*}, E. A. López-López ^a, J. E. Vázquez-Ramos ^b, K. V. Bailón-Hernández ^b

^a Instituto de Computación, Universidad Tecnológica de la Mixteca, 69000, Huajuapán, Oaxaca, México.

^b División de Estudios de Posgrado, Universidad Tecnológica de la Mixteca, 69000, Huajuapán, Oaxaca, México.

Resumen

La Inteligencia Artificial ha tenido un notable auge en la última década, impactando áreas como la educación, medicina, mercadotecnia e industria. En este contexto, el perceptrón simple representa un componente esencial de las redes neuronales por su capacidad de aprendizaje y clasificación. No obstante, su comprensión puede resultar compleja, especialmente en representaciones tridimensionales. Para facilitar su aprendizaje, se desarrolló una herramienta educativa inmersiva basada en realidad aumentada, utilizando la metodología Design-Based Research (DBR) y tecnologías como Blender, Unity y las gafas Meta Quest 3. La aplicación permite una interacción natural mediante gestos, visualización del algoritmo en tiempo real y uso de recursos multimedia como videos y diapositivas. Se realizaron pruebas de usabilidad y se aplicó una guía instruccional con estudiantes y docentes. Los resultados mostraron alta usabilidad, comprensión mejorada del modelo y una experiencia inmersiva efectiva. Estos hallazgos coinciden con estudios previos sobre tecnologías inmersivas en educación, como los de Kosch *et al.* (2022), Caballero *et al.* (2023), Zulfiqar *et al.* (2023) y Pérez *et al.* (2023) reforzando el valor pedagógico de esta propuesta. En conclusión, la herramienta desarrollada representa una innovación didáctica efectiva para la enseñanza de conceptos complejos de inteligencia artificial, con potencial para extenderse a modelos más avanzados.

Palabras Clave: Inteligencia Artificial, Perceptrón, Realidad Aumentada, Realidad Virtual, Realidad Mixta.

Abstract

Artificial Intelligence has experienced remarkable growth in the last decade, significantly impacting areas such as education, healthcare, marketing, and industry. Within this context, the simple perceptron stands out as a fundamental component of neural networks due to its learning and classification capabilities. However, its understanding can be challenging, especially in three-dimensional representations. To address this issue, an immersive educational tool based on augmented reality was developed, following the Design-Based Research (DBR) methodology and using technologies such as Blender, Unity, and Meta Quest 3 headsets. The application features natural hand-gesture interaction, real-time algorithm visualization, and multimedia resources such as videos and slides. Usability tests and an instructional guide were applied to students and teachers. Results indicated high usability, improved conceptual understanding, and an effective immersive experience. These findings are consistent with previous studies on immersive educational technologies, such as those by Kosch *et al.* (2022), Caballero *et al.* (2023), Zulfiqar *et al.* (2023) and Pérez *et al.* (2023), highlighting the pedagogical value of this approach. In conclusion, the developed tool represents an effective didactic innovation for teaching complex Artificial Intelligence concepts, with potential for expansion to more advanced models.

Keywords: Artificial Intelligence, Perceptron, Augmented Reality, Virtual Reality, Mixed Reality.

1. Introducción

La inteligencia artificial (IA) ha tenido un crecimiento notable en los últimos años, convirtiéndose en una de las áreas más relevantes de la tecnología. Entre sus principales impulsores se encuentran las Redes Neuronales Artificiales

(RNA). Para facilitar el aprendizaje de estas arquitecturas, es fundamental comenzar por el modelo más básico: el perceptrón simple. Este modelo permite comprender con mayor claridad redes neuronales más complejas. El perceptrón bidimensional opera con datos que poseen dos características o entradas. Visualmente, busca una línea recta que separe dos

*Autor para la correspondencia: erik@mixteco.utm.mx

Correo electrónico: erik@mixteco.utm.mx (Erik Germán Ramos-Pérez), alopez@mixteco.utm.mx (Enrique Alejandro López-López), eduardo.utm99@gs.utm.mx (José Eduardo Vázquez-Ramos), vkaroln1@gs.utm.mx (Karoln Viridiana Bailón-Hernández).

clases en un plano cartesiano. Sin embargo, cuando se aborda el perceptrón en tres dimensiones (3D), se añade una capa de complejidad conceptual y visual, lo cual dificulta su comprensión. Por ello, resulta esencial contar con herramientas que permitan visualizar este modelo en un entorno tridimensional.

2. Planteamiento del problema

La IA se ha consolidado como un tema clave en el ámbito tecnológico, atrayendo tanto a quienes desean especializarse en esta área como a usuarios que emplean herramientas basadas en IA. En ambos casos, es deseable comprender los conceptos fundamentales, ya sea para profundizar en el desarrollo o para ajustar parámetros en librerías como TensorFlow, PyTorch o Keras. El perceptrón es el punto de partida ideal para introducirse en las redes neuronales. Su versión más simple clasifica datos en dos categorías. Sin embargo, al aumentar sus dimensiones, su complejidad incrementa, haciendo más difícil su comprensión. En particular, el reto en 3D es imaginar un plano que separe las clases, lo cual es complicado de visualizar mentalmente. Para enfrentar este desafío, se desarrolló una herramienta que permite al usuario manipular e interactuar con datos en un entorno 3D utilizando gafas de realidad aumentada.

3. Marco teórico

En esta sección se definen los conceptos teóricos más importantes de este trabajo.

3.1. Perceptrón

El perceptrón simple (Rosenblatt, 1958) es una neurona artificial que toma como entrada un conjunto de características (por ejemplo, dos), las cuales se pueden representar en un plano 2D, como se muestra en la Figura 1. Cada entrada se multiplica por un peso sináptico (w_n), se suma un sesgo o bias (b), y el resultado se procesa con una función de activación para determinar la clase predicha. Este modelo se describe con la ecuación lineal 1:

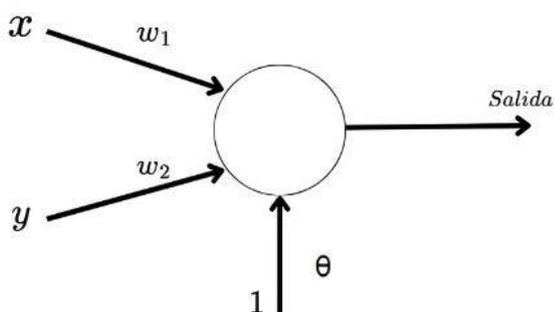


Figura 1: Perceptrón con 2 entradas.

$$w_1x_1 + w_2x_2 + b = 0 \quad (1)$$

La salida \hat{y} se calcula con una función escalón, que clasifica el resultado según su signo, esto se puede notar en la Formula 2:

$$f(\hat{y}) = \begin{cases} 1 & \text{si } \hat{y} \geq 0 \\ 0 & \text{si } \hat{y} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

El objetivo del entrenamiento es encontrar una línea que separe correctamente las clases, como se muestra en la Figura 2.

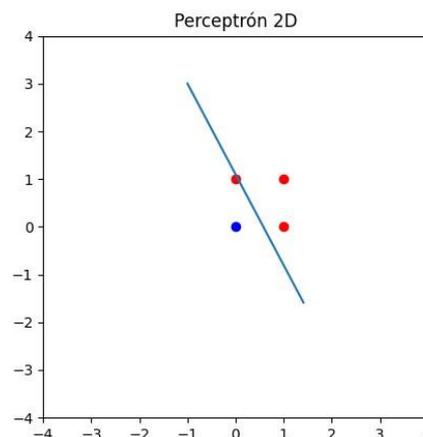


Figura 2: Línea separadora.

A continuación, se presenta el algoritmo para entrenar un perceptrón binario con dos clases:

Require:

Conjunto de entrenamiento $\{(x_i, y_i)\}^n$,

tasa de aprendizaje η ,

número máximo de épocas E

Inicializar pesos $w \leftarrow 0$,

Inicializar sesgo $b \leftarrow 0$

for época = 1 **hasta** E **do**

for cada ejemplo (x_i, y_i) **do**

$z \leftarrow w \cdot x_i + b$

$\hat{y} \leftarrow \text{step}(z)$

$e \leftarrow y_i - \hat{y}$

if $e \neq 0$ **then**

$w \leftarrow w + \eta \cdot e \cdot x_i$

$b \leftarrow b + \eta \cdot e$

 errores \leftarrow errores + 1

end if

end for

if errores = 0 **then**

break ▷ Convergencia del algoritmo

end if

end for

return w, b

En donde:

- Conjunto de entrenamiento, es una colección de ejemplos donde: $x_i \in \mathbb{R}^d$ es un vector de características del ejemplo i . $y_i \in \{0, 1\}$ es la etiqueta o clase del ejemplo: 0 o 1 para clasificación binaria.
- Tasa de aprendizaje, es un número real positivo, controla qué tan grandes son los pasos del algoritmo al ajustar los pesos. Mientras más pequeño, el aprendizaje es más lento pero estable, si se utilizan valores grandes, el algoritmo pueden no converger.
- Número de épocas, una época es una pasada completa por todo el conjunto de entrenamiento. El algoritmo puede detenerse antes si encuentra una solución

(convergencia), pero E limita cuántas veces puede intentar mejorar.

- w , vector de pesos, inicialmente se pone en cero: $w = 0$, aunque pueden ser iniciados con valores aleatorios entre 0 y 1, representa los coeficientes que multiplican cada entrada de x_i . Se ajustan en cada iteración según el error cometido al predecir.
- b , sesgo (bias), se inicializan en cero: $b = 0$, permite que la frontera de decisión no tenga que pasar por el origen. Se ajusta en cada iteración, aunque no depende de ninguna entrada.
- $z = w \cdot x_i + b$, activación lineal, es la combinación lineal de entradas y pesos más el sesgo. Es el valor que se pasa a la función de activación.
- $\hat{y} = \text{step}(z)$, salida del modelo, función escalón. Devuelve 1 si $z \geq 0$, y 0 si $z < 0$. Es la predicción del modelo para la entrada x_i .
- $e = y_i - \hat{y}$, error de predicción. Mide qué tan lejos está la predicción del valor real. Si $e = 0$, el modelo predijo correctamente; de lo contrario, los pesos se ajustan.
- errores, contador de errores por época, lleva el número de errores cometidos en una época. Si al final de una época errores = 0, el algoritmo determina que ha convergido, es decir, todos los datos se clasifican correctamente.

En esencia, el algoritmo ajusta los pesos y el sesgo hasta encontrar una frontera que separe las clases. Al aumentar el número de entradas, se añaden dimensiones al espacio. Por ejemplo, con tres características se requiere un plano en 3D, como se muestra en la Figura 3, cuya ecuación es:

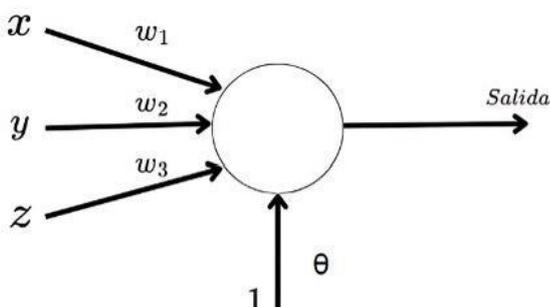


Figura 3: Perceptrón con 3 entradas.

La ecuación lineal se modifica porque se agrega una multiplicación de la nueva característica y otro peso sináptico como se puede observar en la ecuación 3.

$$w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + b = 0 \quad (3)$$

En este caso, la separación entre clases requiere un plano, como ilustra la Figura 4. En espacios de mayor dimensión, el perceptrón genera hiperplanos para clasificar los datos.

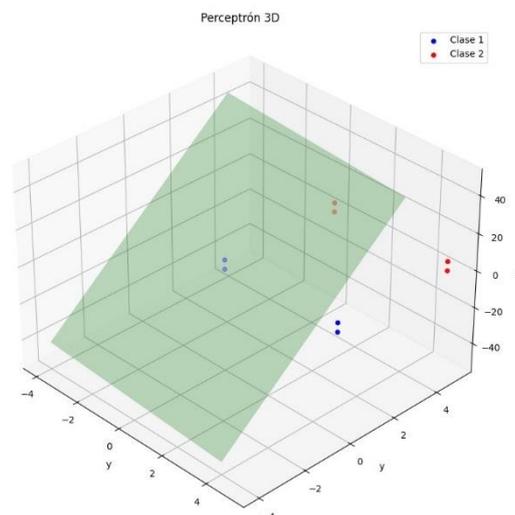


Figura 4: Plano separador.

3.2. Realidad Aumentada

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que superpone elementos digitales -como objetos tridimensionales, sonidos o información- sobre el entorno físico del usuario. A diferencia de la realidad virtual, que crea entornos completamente simulados, la RA enriquece el mundo real mediante capas virtuales que coexisten con la percepción física del usuario. Esta tecnología ya se utiliza ampliamente en dispositivos móviles, gafas inteligentes, aplicaciones educativas, programas de entrenamiento y estrategias de marketing. Según Azuma (1997), la RA se caracteriza por combinar, en tiempo real, el entorno físico con componentes virtuales, permitiendo la interacción simultánea con ambos.

3.3. Realidad Mixta

La realidad mixta (RM) combina elementos del mundo real y del entorno virtual, permitiendo su interacción en tiempo real. Milgram y Kishino (1994) la definen como un entorno híbrido en el que coexisten y se integran objetos físicos y digitales. Esta tecnología se considera una evolución de la RA, ya que permite experiencias más inmersivas, interactivas y dinámicas.

En conjunto, tecnologías como la RA y la RM están transformando la manera en que las personas interactúan con el entorno físico y digital, abriendo nuevas posibilidades en campos como la educación, el entretenimiento y otras áreas de aplicación emergente.

4. Estado del arte

En los últimos años, la IA ha tenido un impacto significativo en diversos ámbitos de la sociedad, tales como la educación (Calderón *et al.*, 2024), la cultura (García, 2023), el entretenimiento (Monsalve *et al.*, 2024) y la salud (Galdo *et al.*, 2024), entre otros.

Por su parte, la RA es una tecnología que ofrece una experiencia enriquecida e interactiva del entorno. En una revisión sistemática de la literatura, Mendoza *et al.* (2023) presentan un análisis integral sobre la RA, sus limitaciones y los principales desafíos para su implementación en diversas

áreas de aplicación, especialmente en el ámbito de la ingeniería.

Caballero *et al.* (2023), tras analizar el uso de la RV en la educación universitaria, concluyen que existen diversas brechas en su aplicación. En particular, señalan que muchas de las implementaciones actuales no consideran adecuadamente las teorías del aprendizaje, ya que se han enfocado principalmente en la simulación y el entrenamiento, sin atender plenamente a los resultados educativos esperados.

Asimismo, Zulfiqar *et al.* (2023) abordan el concepto de RA y sus distintas tipologías, destacando la necesidad de desarrollar aplicaciones educativas basadas en esta tecnología. Su análisis considera múltiples factores como la plataforma, el contenido virtual aumentado, las interacciones, la usabilidad, la utilidad, el rendimiento, la efectividad y la facilidad de uso, todo ello bajo una taxonomía unificada. Aunque la RA ha demostrado ser eficaz en contextos de enseñanza, aprendizaje y simulación mediante experiencias interactivas, también enfrenta limitaciones relacionadas con la complejidad tecnológica, la disponibilidad de hardware, las plataformas, la conectividad a Internet, la portabilidad y la capacidad computacional y de renderizado.

5. Metodología

Para el desarrollo de esta herramienta educativa inmersiva se adoptó un enfoque iterativo basado en la metodología Design-Based Research (DBR), la cual es adecuada para diseñar, implementar y refinar soluciones educativas en contextos reales. Este enfoque permitió combinar el desarrollo técnico con la evaluación continua por parte de los usuarios, asegurando una mejora progresiva de la experiencia de aprendizaje.

5.1. Diseño del prototipo

El proceso inició con el modelado tridimensional del perceptrón simple utilizando el software Blender, donde se crearon representaciones visuales de los nodos de entrada, pesos, salidas y plano separador. Además, se diseñaron avatares y elementos multimedia (videos, diapositivas) como recursos de apoyo al aprendizaje como se puede ver en la Figura 5.

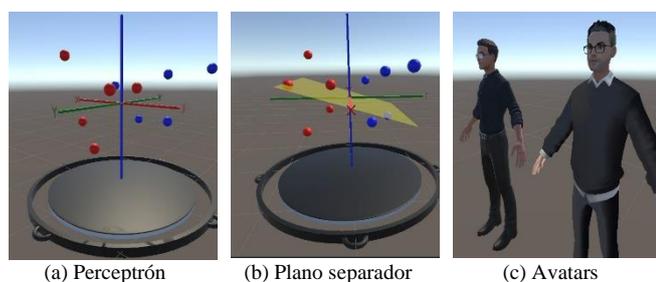


Figura 5: Modelado 3D.

Posteriormente, se integraron todos los elementos en una aplicación de realidad mixta desarrollada con el motor Unity, seleccionada por su compatibilidad con las gafas Meta Quest 3, su soporte para interacción mediante gestos, y su capacidad de renderizado en tiempo real. En esta parte se definió el área en donde se colocaría la información adicional: perceptrón, plano separador, avatar y contenido multimedia, de tal forma

que fuera fija para no causar distracción de los usuarios finales y logrando una mejor concentración para el entendimiento del algoritmo del perceptrón. El material multimedia que se agregó a la aplicación puede cambiarse por otros materiales creados por los profesores titulares de la asignatura, para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y sea de mayor utilidad para los estudiantes, ver la Figura 6. En la Figura 6a, se muestra una imagen del espacio real y en la Figura 6b, es una imagen de la realidad aumentada mostrando el funcionamiento del perceptrón.



Figura 6: Interfaz de realidad aumentada del proyecto.

5.2. Interacción y control

La aplicación incluyó una interfaz natural de usuario mediante reconocimiento de gestos de las manos, lo cual permitió:

- Avanzar en las iteraciones del algoritmo del perceptrón (gesto de unión de dedos).
- Mover esferas representando ejemplos de datos.
- Activar contenido multimedia mediante apuntadores visuales y gestos táctiles simulados.

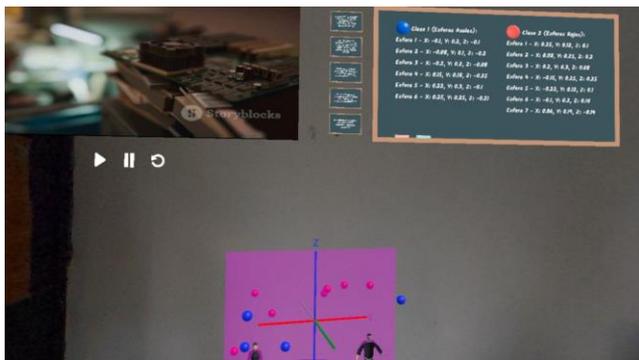
Este tipo de interacción se eligió para incrementar la sensación de inmersión y fomentar la participación activa del estudiante en el proceso de aprendizaje.

La interfaz natural de usuario reconoce gestos de las manos, para poder avanzar de iteración en el algoritmo del perceptrón tratando de separar las clases, se debe juntar los dedos pulgar e índice, como se puede observar en la Figura 7a. También, se pueden tomar las esferas (clases) y moverlas de lugar, como se observa en la Figura 7b. Si se realiza esta última acción, puede que el algoritmo no converja y el plano no separe adecuadamente las clases, por lo tanto, será necesario reiniciar el algoritmo.



Figura 7: Detección de manos.

En la Figura 8 se aprecian los cambios de coordenada y se visualizan en la pizarra que en todo momento el usuario puede ver.

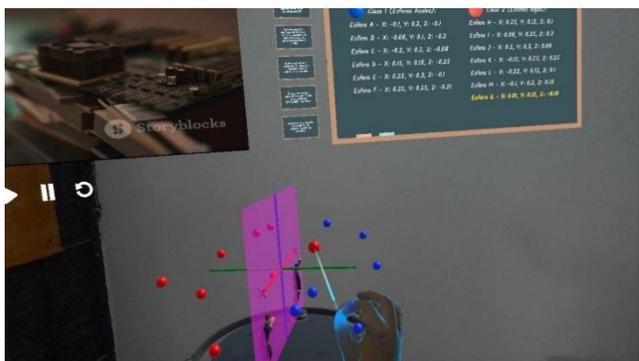


(a) Antes de mover

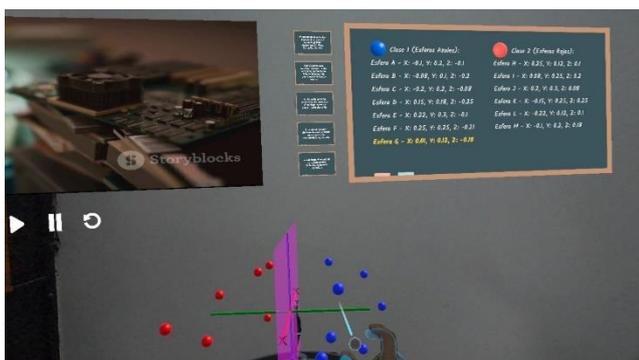


(b) Después de mover
Figura 8: Cambio de coordenada.

Es posible cambiar la clase de un ejemplo, en la Figura 9a, podemos ver como la esfera G, es perteneciente a la clase 1 (Esferas azules), se puede seleccionar, se da clic en ella y se puede ver el cambio de color como se muestra en la Figura 9b a rojo, además, en la pizarra se puede ver como cambió de clase a clase 2.

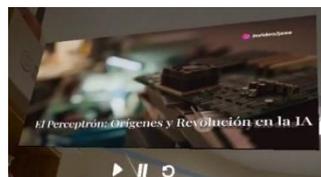


(c) Antes de cambiar la clase

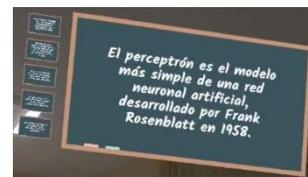


(d) Después de cambiar la clase
Figura 9: Cambio de clase.

Los elementos multimedia complementan los conceptos del perceptrón y pueden ser controlados por gestos. Con el dedo índice se puede dar clic para visualizar el video como se puede ver en la Figura 10a, o clic sobre las diapositivas como se observa en la Figura 10b para ir avanzado.



(a) Video y controles



(b) Diapositivas y controles

Figura 10: Controles multimedia.

5.3. Evaluación del prototipo

- **Participantes:** se seleccionaron 5 usuarios mediante muestreo por conveniencia: estudiantes de entre 16 y 22 años y profesores de nivel medio superior, con conocimientos básicos de matemáticas, pero sin experiencia previa en realidad mixta. Todos participaron de forma voluntaria y fueron informados sobre el uso del sistema.
- **Pruebas de usabilidad:** Se aplicó una prueba basada en la System Usability Scale (SUS) complementada con observación directa, entrevistas semiestructuradas y encuestas abiertas. Los resultados obtenidos se utilizaron para refinar la interfaz, el posicionamiento de los elementos virtuales, y mejorar la experiencia general.
- **Guía instruccional:** Se diseñó una guía instruccional estructurada en módulos (introducción, modo manual, entrenamiento, evaluación).
- **Ciclo de mejora:** Los comentarios y observaciones recolectados se analizaron en sesiones de retroalimentación, y aquellos técnicamente viables se implementaron en nuevas versiones de la aplicación. Este proceso formó parte del ciclo iterativo propuesto por DBR, centrado en la mejora continua con base en la experiencia del usuario final como se puede ver en la Figura 11.

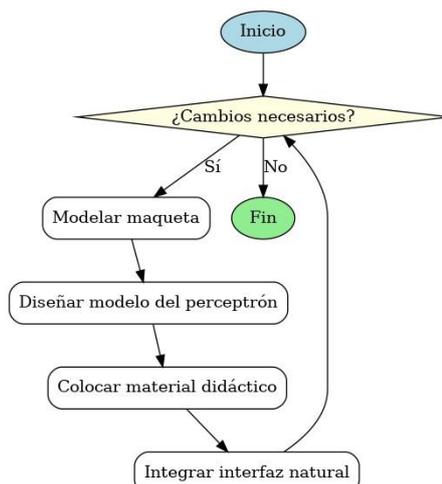


Figura 11: Pasos seguidos en el desarrollo del proyecto.

6. Pruebas y resultados

En esta etapa se llevaron a cabo pruebas de usabilidad y se siguió una guía instruccional

6.1. Pruebas de usabilidad

El objetivo de esta prueba fue evaluar la facilidad de uso, comprensión y experiencia del usuario al interactuar con el entorno inmersivo que enseña el funcionamiento del perceptrón simple.

En la Tabla 1 se pueden ver las pruebas de usabilidad que se realizaron, inicialmente con 5 personas de diferentes edades, estudiantes y profesores, con la finalidad de mejorar la funcionalidad e interfaz y conocer el grado de satisfacción de los usuarios y de ser necesario, ir mejorando la interfaz.

Tabla 1: Fases de la prueba

Usuario	Comentarios principales
Objetivo	Evaluar la facilidad de uso y la interacción con la interfaz en un entorno de realidad mixta.
Perfil de los participantes	Usuarios de 16 años en adelante con conocimientos básicos de matemáticas y tecnología.
Escenario	Sin experiencia previa en realidad mixta. Sala equipada con Meta Quest 3 y un entorno seguro para moverse. Un prototipo funcional del entorno de realidad mixta.
Métricas a evaluar	Usabilidad: Experiencia del usuario: Nivel de satisfacción con la interacción. Grado de inmersión percibido en la realidad mixta. Recolección de datos: Monitorear cómo los participantes interactúan con las gafas y la interfaz. Retroalimentación: Encuestas abiertas sobre qué funcionó bien y qué causó frustración. Entrevistas breves para explorar problemas o ideas adicionales

En la Tabla 2, se resumen los resultados más relevantes de las pruebas de usabilidad, después de analizarlos y determinar la factibilidad de implementar los cambios, para mejorar la aplicación.

Tabla 2: Primeras pruebas de usabilidad

Usuario	Comentarios principales
1	Mejorar la colocación del contenido multimedia, que se coloque arriba y que se pueda controlar tanto por gestos como por los controles.
2	Los avatares no deben estar simplemente estáticos, deberán mostrar algún efecto que haga más divertida su presencia.
3	Llevar a cabo la manipulación de las esferas con las manos y no simplemente con los controles
4	Poner el plano separador de las clases de un color que pueda contrastar con el escenario.

- Después de mover alguna esfera de posición, se deberá designar algún evento para reiniciar el entrenamiento.

6.2. Guía instruccional

El propósito de esta guía fue comprender el funcionamiento del perceptrón simple mediante la exploración interactiva y visual en realidad mixta como se puede ver en la Tabla 3.

Requisitos previos: Tener conocimientos de los conceptos básicos sobre entradas, salidas y funciones lógicas y estar familiarizados con el uso básico de las gafas Meta Quest 3.

Los objetivos de esta guía fueron: - comprender la estructura de un perceptrón simple, - configurar manualmente un perceptrón y observar su comportamiento, - entender el proceso de aprendizaje y ajuste de pesos y - visualizar de forma concreta el proceso de clasificación binaria.

Se llevó a cabo una prueba para evaluar la efectividad de la guía instruccional y el entorno inmersivo para enseñar el concepto y funcionamiento del perceptrón simple, participaron cinco estudiantes de nivel licenciatura próximo a llevar el curso de Inteligencia Artificial, en la Tabla 4 se aprecian resultados y comentarios obtenidos.

En la Tabla 5 se presentan un reporte de la evaluación de aprendizaje al aplicar la guía instruccional, esto se hizo mediante preguntas para obtener el promedio de las respuestas correctas.

Una vez tomadas en cuenta las pruebas de usabilidad y aplicado la guía instruccional, el proyecto se presentó en dos eventos de Ciencia y Tecnología. El primero a nivel estatal como se puede ver en la Figura 12a, donde se obtuvo un lugar para el evento nacional, observar la Figura 12b. En este último evento varios expertos en Inteligencia Artificial pudieron evaluar el desempeño del sistema y resaltaron su importancia en el proceso de enseñanza aprendizaje. También, hicieron algunas recomendaciones, las cuales se resumen en la Tabla 6.

Tabla 3: Guía instruccional

Usuario	Comentarios principales
Instrucciones de uso	1. Colocar las gafas y ajusta las correas. 2. Abrir la aplicación 3. Usar los joysticks para apuntar y seleccionar objetos. a. Gatillo: seleccionar/interactuar. b. Joystick: desplazamiento. c. Botón agarre: mostrar frontera de decisión 3D
Módulos del entorno	1. Introducción a. Video que explica qué es un perceptrón. b. Diapositivas que complementan la Información c. Ejemplos flotando en el espacio, entradas, pesos,

- sumatoria, función escalón y salida.
- 2. Modo manual
 - a. Modificar coordenadas de los ejemplos
 - b. Modificar las clases de los ejemplos
 - c. Se Visualiza cómo los cambios afectan el plano separador

Modo entrenamiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema ajusta automáticamente los pesos de los ejemplos de entrenamiento. 2. Se muestran los errores, el ajuste de pesos y la convergencia. 3. Visualización en tiempo real de la frontera de decisión 3D
Cuestionario interactivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preguntas visuales para reforzar conceptos. 2. ¿Cuál sería la salida sí?, ¿Cuál peso debería cambiar?

.Tabla 4: Resultados y comentarios

Tipo	Descripción
Resultados cualitativos	Tiempo promedio por sesión: 32 minutos Errores más comunes: - Confusión entre peso y umbral - No identificar correctamente cuándo el perceptrón converge Sistemas de escala de usabilidad: Promedio 81.6 (alta usabilidad)
Comentarios cualitativos positivos	- Ver los pesos cambiar en tiempo real me ayudó a entender mejor cómo aprende - La experiencia fue muy intuitiva y atractiva - Me gustó mucho cómo se muestran los resultados como animaciones
Dificultades reportadas	- Me gustó mucho cómo se muestran los resultados como animaciones - Inicialmente no entendí qué hacia el sesgo o umbral - El texto en la pizarra no se apreciaba muy Bien - Me costó mover las esferas con las manos

Tabla 5: Reporte de la evaluación de aprendizaje

Pregunta	% de respuestas correctas
¿Qué función aplica el perceptrón a la suma de entradas y pesos?	100%
¿Qué pasa si el error es grande durante el entrenamiento?	75%
¿Cuál es la finalidad del umbral?	72%
¿Qué representa la salida del perceptrón?	96%



(a) Expo ciencia Estatal



(b) Expo ciencia Nacional

Figura 12: Expo ciencias.

Tabla 6: Eventos de Ciencia y Tecnología

Eventos	Comentarios principales
1	Mostrar las fórmulas del algoritmo del perceptrón e ir cambiando en tiempo real conforme avanzan las iteraciones.
2	La posibilidad de agregar más capas al perceptrón.

Finalmente, se obtuvo una herramienta educativa para apoyar el proceso de enseñanza aprendizaje de este apasionante tema. Los usuarios constataron que al observar el algoritmo ejecutándose en 3D, fue más fácil comprender el funcionamiento del mismo. El hecho de ir viendo las fórmulas del algoritmo y, ver como el plano va separando las clases paso a paso, les dejó una mejor idea del funcionamiento, inclusive, se pueden ejecutar el algoritmo de manera reiterativa, logrando practicar tantas veces como fuera necesario para su mejor comprensión.

Los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos sobre el uso de tecnologías inmersivas en educación. Por ejemplo, Caballero *et al.* (2023) señalan que las experiencias interactivas en realidad virtual pueden mejorar significativamente la comprensión conceptual, siempre que se integren adecuadamente principios pedagógicos. En nuestro caso, la integración de una guía instruccional estructurada y una interfaz natural de usuario favoreció un aprendizaje activo y significativo. Asimismo, coincidiendo con lo reportado por Zulfiqar *et al.* (2023), los participantes destacaron la utilidad de la representación visual dinámica y la interacción gestual para entender conceptos abstractos. De forma complementaria, estudios como los de Pérez *et al.* (2023) y Kosch *et al.* (2022) reportan beneficios similares al emplear aplicaciones de realidad aumentada para la enseñanza de electrónica y redes neuronales, respectivamente, enfatizando la utilidad de la manipulación directa y la retroalimentación visual en tiempo real. Estos hallazgos refuerzan la evidencia de que las tecnologías inmersivas pueden facilitar el aprendizaje de contenidos complejos. A diferencia de otras propuestas centradas únicamente en la simulación pasiva, esta herramienta priorizó la participación directa del usuario, la exploración interactiva de los datos y la visualización del algoritmo en ejecución, lo cual representó un valor añadido. Por tanto, este proyecto no solo valida hallazgos previos, sino que aporta una solución educativa funcional, empíricamente evaluada y aplicada en un entorno realista.

7. Conclusiones

El presente trabajo demuestra que el uso de realidad aumentada y mixta, aplicado a la enseñanza de conceptos

complejos como el perceptrón simple, puede mejorar significativamente el proceso de aprendizaje, facilitando la comprensión mediante visualización interactiva y manipulación en tiempo real.

La metodología implementada basada en DBR permitió un desarrollo iterativo del sistema con participación activa de los usuarios finales, incorporando sus comentarios en cada versión del prototipo. Esta estrategia contribuyó no solo a la mejora técnica de la aplicación, sino también a una validación pedagógica más sólida.

Los resultados obtenidos reflejan una alta usabilidad, una experiencia inmersiva efectiva y un incremento en la comprensión conceptual del modelo de perceptrón. Asimismo, el entorno resultó motivador y accesible incluso para usuarios sin experiencia previa en tecnologías inmersivas.

Finalmente, esta herramienta no solo representa una innovación en la enseñanza de redes neuronales artificiales, sino que establece una base sólida para su escalamiento a modelos más complejos como perceptrones multicapa e incluso su integración en entornos colaborativos dentro del Metaverso, donde los estudiantes puedan interactuar entre sí y profundizar en su aprendizaje mediante dinámicas colectivas.

Referencias

- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 6(4):355-385.
- Caballero, J., Rojas, J., Sánchez, A., y Lázaro, A. (2023). Systematic review on the application of virtual reality in university education. *Revista Electrónica Educare*, 27(3):1-18.
- Calderón, C., Marín, R., Díaz, E., y Proaño, M. (2024). Inteligencia artificial en la educación superior. *Dominio de las Ciencias*, 10(3):753-763.
- Galdo, B., Pazos, C., Pardo, J., Solar, A., Llamas, D., Fernández, E., y Pazos, A. (2024). Inteligencia artificial en pediatría: actualidad y retos. *Anales de Pediatría*, 100(3):195-201.
- García, L. (2023). Inteligencia artificial y patrimonio cultural: una aproximación desde las humanidades digitales. *DICERE*, 1(4):149-160.
- Kosch, T., Rasch, J., Schmidt, A., y Feger, S. (2022). Supporting electronics learning through augmented reality. *arXiv preprint arXiv:2210.13820*.
- Mendoza, C., Tudon, J., Félix, L., Lozoya, J., y Vargas, A. (2023). Augmented reality: Survey. *Applied Sciences*, 13(18).
- Milgram, P. y Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77:1321-1329.
- Monsalve, L., Carrión, P., y González, C. (2024). Revisión sistemática del impacto de la inteligencia artificial en la industria del entretenimiento. *Revista Enfoques de la Comunicación*, 1(12):133-166.
- Pérez, S., González, J., Villa, M., y Rodríguez, F. (2023). Deep learning incorporated augmented reality application for engineering lab training. *Applied Sciences*, 12(10):5159.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, 65 6:386-408.
- Zulfiqar, F., Raza, R., Khan, M., Alvi, A., y Alam, T. (2023). Augmented reality and its applications in education: A systematic survey. *IEEE Access*, 11:143250-143271.