

Jigsaw Colaborativo con Realidad Aumentada para Geografía de Primaria: Propuesta de Prototipo con los 5 Municipios de Baja California Sur

Collaborative Jigsaw with Augmented Reality for Elementary School Geography: Prototype Proposal with the 5 Municipalities of Baja California Sur

Jesús A. Zúñiga Arce¹, Arturo I. De Casso Verdugo¹, Jesús A. Sandoval Bringas¹, Israel Durán Encinas¹,
Ricardo L. Ignacio Sánchez¹

¹Departamento Académico de Sistemas Computacionales, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S.,
23080, México
{jzuniga, decasso, sandoval, iduran, rignacio}@uabcs.mx

Fecha de recepción: 7 de agosto de 2025

Fecha de aceptación: 4 de diciembre de 2025

Resumen. En la educación primaria, la enseñanza de la geografía presenta un reto: combinar la comprensión de espacios y territorios con dinámicas activas de trabajo en equipo. El método Jigsaw, reconocido por fomentar la responsabilidad individual y la colaboración, suele hacer uso de materiales impresos y requiere múltiples dispositivos o espacios. Para abordar estas limitaciones, el presente trabajo propone un prototipo de aplicación web que digitaliza la técnica Jigsaw mediante Realidad Aumentada (RA) y códigos QR, aplicado al estudio de los cinco municipios de Baja California Sur: Mulegé, Loreto, Comondú, La Paz y Los Cabos. En la fase experto, cada estudiante asume el rol de experto en un municipio, escaneando el marcador QR asignado para interactuar con un modelo 3D y escuchar un audio con información complementaria. La actividad continúa con una fase mosaico, en la cual los estudiantes reúnen los códigos QR, cuya combinación despliega un modelo 3D que representa el territorio completo y se finaliza con la resolución de un breve cuestionario que refuerza la integración del conocimiento. Este documento detalla el prototipo funcional, incluyendo su arquitectura técnica, el flujo de interacción y presenta los resultados de una evaluación heurística de usabilidad en entornos de RA; dichos hallazgos validan la viabilidad técnica y ofrecen pautas para su adopción pedagógica.

Palabras Clave: Jigsaw, realidad aumentada, geografía, primaria, prototipo, Baja California Sur, QR.

Summary. In primary education, teaching geography presents a challenge: combining the understanding of spaces and territories with active teamwork. The Jigsaw method, known for fostering individual responsibility and collaboration, typically uses printed materials and requires multiple devices or spaces. To address these limitations, this paper proposes a web application prototype that digitizes the Jigsaw technique using Augmented Reality (AR) and QR codes, applied to the study of the five municipalities of Baja California Sur: Mulegé, Loreto, Comondú, La Paz, and Los Cabos. In the expert phase, each student assumes the role of an expert for one municipality, scanning their assigned QR code marker to interact with a 3D model and listen to an audio recording with supplementary information. The activity continues with a mosaic phase, in which students collect the QR codes. Combining these codes displays a 3D model representing the entire territory, and the activity concludes with a short quiz that reinforces the integration of knowledge. This document details the functional prototype, including its technical architecture, interaction flow, and presents the results of a heuristic usability evaluation in AR environments; these findings validate the technical feasibility and offer guidelines for its pedagogical adoption.

Keywords: Jigsaw, augmented reality, geography, primary, prototype, Baja California Sur, QR.

1 Introducción

La enseñanza de la geografía en educación primaria, dentro del marco de la Nueva Escuela Mexicana, se integra en el campo formativo Ética, Naturaleza y Sociedades. A partir de cuarto grado, se introduce la noción de espacio geográfico y cartografía, mientras que en quinto grado se refuerza el estudio de la división política (mapas estatales, municipios y sus cabeceras) como parte de sus planes y programas de estudio[1]. Tradicionalmente, se utilizan recursos como mapas impresos, fotografías y lecturas, los cuales pueden presentar limitaciones como: baja interactividad, escasa colaboración simultánea y la falta de retroalimentación inmediata. Como resultado, se vuelve más complejo formar un aprendizaje colaborativo y dinámico.

Para fomentar experiencias más activas y colaborativas, el método Jigsaw divide los contenidos en segmentos, asignando a cada alumno el rol de “experto” en un subtema, y posteriormente reunir al grupo para que cada uno comparta sus hallazgos y se construya el conocimiento de forma colectiva. Sin embargo, aplicar esta técnica en la enseñanza de la geografía requiere el uso de múltiples copias de mapas y espacios tanto para la fase experto como para la fase mosaico, lo que dificulta su implementación en aulas con recursos o espacios limitados.

Este artículo presenta el diseño de un prototipo de aplicación web que implemente el método Jigsaw con Realidad Aumentada (RA) y códigos QR, centrado en el estado de Baja California Sur y sus municipios (Muleg, Loreto, Comondú, La Paz y Los Cabos). Tras la descripción de la secuencia de aprendizaje (fase experto y mosaico) y de su arquitectura técnica, el prototipo es objeto de una evaluación de usabilidad mediante una revisión heurística adaptada a entornos de RA. Esto con el fin de validar su viabilidad técnica y adopción pedagógica.

2 Estado del Arte

2.1 El método Jigsaw en el aula

Desde su creación, el método Jigsaw, también conocido como método del rompecabezas, ha sido implementado como estrategia de aprendizaje cooperativo en primaria y secundaria. Aronson et al. [2] proponen este método como una respuesta a la necesidad de mejorar tanto el rendimiento académico como las relaciones interpersonales en entornos escolares diversos (étnicos, académicos, socioeconómicos y lingüísticos). Jigsaw asigna un tema general a un grupo con cuatro o más integrantes, denominado grupo base. Este tema se divide en subtemas, los cuales se asignan individualmente a cada miembro del grupo. Quienes comparten el mismo subtema se reúnen temporalmente en un grupo de expertos para un análisis de manera colaborativa. Una vez estudiado el contenido, los estudiantes regresan a su grupo base y comparten lo aprendido con el resto de los integrantes (Figura 1). Este enfoque fomenta la responsabilidad individual, la interdependencia positiva y desarrollo de habilidades sociales. La implementación descrita por Aronson demostró no sólo beneficios académicos, sino también una disminución significativa en actitudes negativas y prejuiciosas entre los estudiantes [2]. Más recientemente, Mohebbi et al. [3] implementaron con éxito el método Jigsaw en un entorno digital, combinándolo con el modelo de aula invertida. A través del trabajo en grupos, el estudio evidenció mejoras en habilidades de comunicación y pensamiento crítico en los estudiantes.

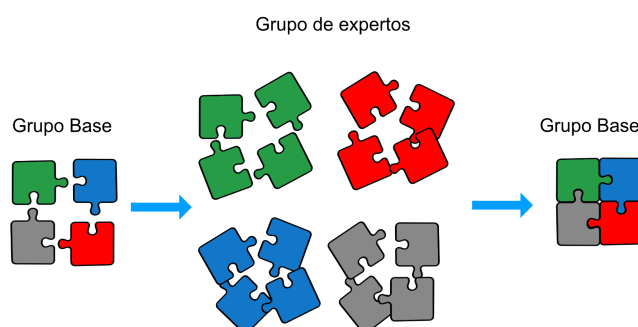


Figura 1. Etapas del método Jigsaw: grupo base, grupos de expertos y grupos base con conocimiento integrado.

2.2 La Realidad Aumentada en la enseñanza de la geografía

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que ha ganado cada vez más auge. Azuma [4] define la RA como la capacidad de ver el entorno real con objetos virtuales superpuestos (Figura 2). En el ámbito educativo, la RA resulta especialmente útil para la enseñanza de la geografía, facilitando la interacción con modelos tridimensionales y objetos espaciales, lo que favorece a mejorar la percepción espacial y la comprensión de conceptos cartográficos [5].

Además de estos beneficios visuales y espaciales, algunos estudios han documentado cómo la RA aumenta la motivación, el compromiso y facilita la retención de información al ofrecer experiencias multisensoriales con la combinación de lo visual, auditivo y kinestésico [6]. Trabajos recientes han reportado una posible reducción en la carga cognitiva en los estudiantes al utilizar entornos de AR, aunque los resultados no fueron estadísticamente satisfactorios en todos los escenarios [7].

Un ejemplo destacado de proyectos de RA es el AR Sandbox, desarrollado por la Universidad de California en Davis. Este sistema permite a los estudiantes modelar con las manos un terreno en una caja con arena real, mientras que un proyector superpone un modelo sobre el relieve creado con la arena, además de simulaciones de flujo de agua en tiempo real. La combinación de interacciones físicas y representaciones virtuales facilita la

comprensión de conceptos como la elevación, escurrimiento y topografía, convirtiéndolo en una herramienta efectiva para la enseñanza de la geografía [8].

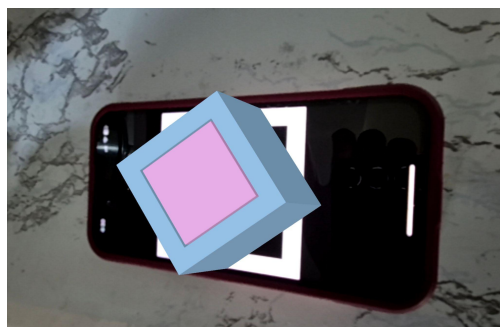


Figura 2. Ejemplo de realidad aumentada superponiendo un modelo 3D sobre un código QR.

3 Resultados

Para el desarrollo del prototipo se definió una metodología en tres etapas. En la primera etapa se define la secuencia de aprendizaje, diseñada para alumnos de cuarto grado de primaria (9-10 años), en la que se establecen dinámicas cooperativas, orientadas al método Jigsaw. La segunda etapa consistió en el diseño de la aplicación utilizando tecnologías web y estándares abiertos, con el objetivo de garantizar la compatibilidad multiplataforma. Finalmente, se realizó una evaluación heurística de usabilidad adaptada a entornos de realidad aumentada, con el fin de identificar mejoras antes de su aplicación en entornos educativos reales.

3.1 Secuencia de aprendizaje

La secuencia de aprendizaje adaptada a la metodología Jigsaw centrada en un entorno AR se compone:

Objetivo del aprendizaje. Con esta actividad se pretende que los estudiantes no solo adquieran conocimientos cartográficos y la capacidad de reconocer la forma y límite de los municipios, sino que desarrollen habilidades de explicación y comunicación, así como la cooperación y responsabilidad individual.

Grupo base. Equipo de cinco alumnos, cada uno asignado a un municipio del estado de Baja California Sur (Mulegé, Loreto, Comondú, La Paz, Los Cabos).

Grupo experto. Cada alumno asignado a un municipio se reúne con quienes comparten el mismo subtema. Utilizando un dispositivo con cámara y acceso a internet, escanea el código QR para desplegar en realidad aumentada la silueta del municipio (Figura 3). Simultáneamente, se reproduce una narrativa que describe las principales características geográficas y territoriales. El grupo experto discute y profundiza esta información. Tiempo estimado 10-15 minutos.



Figura 3. Visualización del municipio de La Paz durante la fase experto.

Fase mosaico. En esta fase, los estudiantes se reincorporan a su grupo original. Se concentran los 5 códigos QR para formar un mosaico, el cual al ser escaneado, muestra un modelo 3D interactivo del estado de Baja California Sur (Figura 4). De manera colaborativa, cada miembro expone la información de su municipio mientras

exploran el modelo. La actividad concluye con un cuestionario guiado por el docente. Tiempo estimado 15-20 minutos.

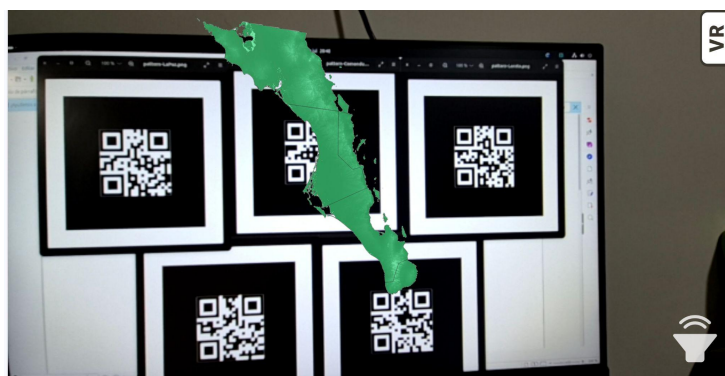


Figura 4. Visualización en RA del modelo 3D de Baja California Sur durante la fase mosaico del método Jigsaw.

3.2 Desarrollo del prototipo

El prototipo se desarrolló sobre una base de tecnologías web estándar para garantizar compatibilidad en navegadores de escritorio, móviles y tabletas. La estructura se definió con HTML5, mientras que utilizó CSS3 para la presentación visual y JavaScript en su especificación ECMA-262 para el manejo de eventos, manipulación del DOM. Además, se integró la API Web Speech [9] para la síntesis de audio, de modo que cada modelo en la fase experto puede ir acompañado con una narración, ofreciendo información hablada sin la necesidad de depender de plugins externos.

Para la experiencia de realidad aumentada en el navegador, se emplea una arquitectura que combina AR.js y A-frame. AR.js [10] aporta un motor ligero especializado en el reconocimiento de códigos QR, seguimiento de imágenes y geolocalización. Por su parte, A-frame [11] es un framework para la construcción de experiencias con realidad virtual (RV). Al estar basado en HTML, garantiza una amplia compatibilidad con múltiples dispositivos y plataformas.

Los modelos 3D de las siluetas se generaron a partir de Modelos Digitales de Elevación (DEM) a 30m de resolución (USGS/NASA) procesados en QGIS.

Los códigos QR se generan con patrones de alta redundancia y contraste para asegurar la robustez de detección en ángulos de hasta 60° y distancias de 20-25 cm.

3.3 Evaluación heurística de usabilidad

Para asegurar que el prototipo ofrezca una versión estable, accesible y alineada con las necesidades del aula, se aplicó una evaluación heurística basada en los principios de Nielsen [12] más dos criterios específicos de RA (robustez de detección y estabilidad visual). La revisión fue realizada por 3 evaluadores internos, utilizando como instrumento un checklist de 15 ítems que cubren aspectos claves de usabilidad, accesibilidad o rendimiento durante las fases experto y mosaico. Cada hallazgo identificado fue calificado con una escala de severidad de 0 (sin problema) a 4 (crítico).

4 Resultados

La inspección heurística de los 15 ítems del checklist proporcionó datos sobre la experiencia de usuario del prototipo. Cada puntuación obtenida se promedió entre los tres evaluadores. En términos generales, el prototipo muestra una base sólida en la consistencia de gestos y navegación, mientras que reveló carencias en la retroalimentación al usuario y la prevención y recuperación de errores. A continuación se presentan en la Tabla 2 los promedios de severidad obtenidos.

Tabla 2. Resultados de la evaluación heurística (promedio de severidad).

No	Ítem de verificación	Promedio de severidad
1	Feedback inmediato al escanear un código QR.	3.0
2	Indicador de progreso claro mientras se carga el modelo 3D.	4.0
3	Texto flotante no interfiere con la manipulación del modelo 3D.	0.7
4	Botón “salir” accesible en todo momento para cerrar la escena AR.	3.7
5	Gestos táctiles (rotar, zoom) funcionan de manera uniforme en todas las fases	0.3
6	Mensajes preventivos que orientan al alumno antes de intentar el escaneo.	2.7
7	Iconos y leyendas de las acciones disponibles siempre visibles.	3.0
8	Accesos rápidos (botones o gestos) para avanzar o retroceder sin perder contexto.	2.4
9	Posibilidad de pausar o reanudar la narración de audio en cualquier momento.	3.7
10	Interfaz limpia, sin elementos superfluos que distraigan del contenido esencial.	0.7
11	Contraste visual apropiado entre elementos interactivos y el fondo real.	1.0
12	Proporcionar mensajes que no solo informen del fallo sino que expliquen la causa y cómo corregirla.	2.3
13	Botón de ayuda siempre visible que despliegue una guía interactiva con descripciones de fases, controles y gestos.	3.0
14	Reconocimiento fiable de los QR en ángulos de hasta 60° y diversas condiciones de iluminación.	1.0
15	Modelos 3D permanecen estables, sin saltos ni parpadeos, al mover el dispositivo o cambiar de fase	1.0

4.1 Análisis de hallazgos

Los hallazgos más críticos de la evaluación presentaron una severidad ≥ 3.0 . La retroalimentación de escaneo (ítem 1) resulta insuficiente, no confirma con claridad cuando el QR ha sido reconocido correctamente. Asimismo, el indicador de carga del modelo (ítem 2) no se encuentra presente, en cuanto al botón salir (ítem 4) no comunica bien su función, mientras que los íconos y leyendas sobre las acciones y el botón de ayuda (ítems 7 y 13) no están presentes en algunos escenarios. Por último el control de audio (ítem 9) carece de un mecanismo intuitivo.

En el rango moderado ($1 < \text{severidad} < 3$), destacan los mensajes preventivos (ítem 6), los accesos rápidos de navegación (ítem 8) y recuperación tras errores (ítem 12). Estos elementos cumplen con su función, pero requieren ajustes de contexto y claridad para optimizar la usabilidad.

Finalmente, los componentes de bajo impacto (ítems 3, 5, 10, 11 y 15) con una severidad ≤ 1 , destacan por su implementación sólida que garantiza una experiencia estable en condiciones normales en el aula.

Aunque el enfoque actual se centró en la viabilidad técnica, se identificó la necesidad de integrar funcionalidades de accesibilidad. La implementación de la API de Web Speech, abre la posibilidad de incluir dentro del prototipo comandos de voz y la generación dinámica de subtítulos, alineándose con los ejes de inclusión de la Nueva Escuela Mexicana.

5 Conclusiones

La integración de metodologías de aprendizaje activo, como el método Jigsaw, con tecnologías inmersivas como la RA, representa una oportunidad significativa como apoyo a la enseñanza de asignaturas como la geografía. Estas herramientas no solo aumentan la motivación del estudiante, sino que también facilitan la comprensión de conceptos abstractos al permitir una interacción directa y colaborativa con el material de estudio.

El prototipo presentado en este trabajo demuestra que, al adaptar el método Jigsaw a un entorno de RA desde el navegador web, es factible diseñar experiencias de aprendizaje colaborativo que no dependan de equipos costosos ni de instalaciones complejas.

La evaluación heurística inicial ha sido fundamental para validar la viabilidad del prototipo. Los resultados indican que la base tecnológica es robusta, con una detección de códigos QR y una estabilidad visual valoradas positivamente. Sin embargo, también se revelaron problemas de usabilidad, principalmente en áreas de control del usuario, retroalimentación del sistema y accesibilidad cuya corrección contribuirá a una experiencia de aprendizaje fluida.

Como trabajos futuros, se propone realizar pruebas con usuarios finales (estudiantes y docentes) en un entorno de aula real para validar la efectividad pedagógica. Además se contempla la expansión de los módulos de contenido para abarcar otras regiones, así como la integración de diferentes capas de información. Finalmente, se explorará la adaptación y validación del prototipo en otras asignaturas y niveles educativos, tanto para educación primaria como secundaria.

Referencias

- [1] Secretaría de Educación Pública (SEP), Espacio geográfico y cartografía, <https://nuevaescuelamexicana.sep.gob.mx/contenido/coleccion/espacio-geografico-y-cartografia/>, last accessed 2025/02/06.
- [2] Aronson, E., Stephan, C., Sikes, J., Blaney, N., Snapp, M.: *The Jigsaw Classroom*. Sage Publications, Beverly Hills (1978).
- [3] Mohebbi, Z., Mortezaei-Haftador, A., Mehrabi, M.: Synchronous online lecturing or blended flipped classroom with jigsaw: an educational intervention during the Covid-19 pandemic. *BMC Med. Educ.* 22, 845 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03915-5>.
- [4] Azuma, R.T.: A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6(4), 355–385 (1997).
- [5] Rus, B.-A., Sita, I.-V.: A review on augmented reality in education and geography: state of the art and perspectives. *Appl. Sci.* 15, 7574 (2025). <https://doi.org/10.3390/app15137574>.
- [6] Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., Kinshuk: Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications. *Educ. Technol. Soc.* 17(4), 133–149 (2014).
- [7] Buchner, J., Buntins, K., Kerres, M.: The Impact of Augmented Reality on Cognitive Load and Performance: A Systematic Review. *J. Comput. Assist. Learn.* 38, 285–303 (2022). <https://doi.org/10.1111/jcal.12617>.
- [8] Kreylos, O., Keaton, M., Kellogg, L.H., Schmitt, R., Yikilmaz, M., Hamann, B.: *The AR Sandbox*. <https://arsandbox.ucdavis.edu/>, last accessed 2025/04/16.
- [9] Web Speech API – MDN Web Docs. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Speech_API, last accessed 2025/04/17.
- [10] AR.js Documentation. <https://ar-js-org.github.io/AR.js-Docs/>, last accessed 2025/04/17.
- [11] A-Frame Documentation. <https://aframe.io/docs/1.7.0/introduction/>, last accessed 2025/04/17.
- [12] Nielsen, J., Mack, R.L. (eds.): *Usability Inspection Methods*. Wiley, New York (1994).