



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Desarrollo de una aplicación móvil para el aprendizaje de las lenguas indígenas: Mazahua y Hñähñu Development of a Mobile Application for Indigenous Language Learning: Mazahua and Hñähñu

Castillo-Alarcon, I.¹, Sampedro-Mendoza, A.², Cásares-García, L.³, López-Morales, V.¹, Franco-Árcega, A.¹, Cruz-Olgún, J.M.¹, Ojeda-Misses, M.A.^{1*}

¹ Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Computación y Electrónica, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca-Hidalgo, CP 42184, México (<https://orcid.org/0009-0009-0089-1732>, <https://orcid.org/0000-0003-2043-8766>, <https://orcid.org/0000-0002-9415-8313>, <https://orcid.org/0009-0008-1328-7780>, <https://orcid.org/0000-0003-3963-5399>).

² Área de Comunicación, Unidad Académica Profesional Huehuetoca, Universidad Autónoma del Estado de México, La Cañada, 54680 Huehuetoca, Estado de México, México (<https://orcid.org/0000-0001-8630-7190>).

³ Facultad de Derecho, Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Derecho, Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Lázaro Cárdenas s/n. Col. La Haciendita C.U. Sur. CP. 39087 Chilpancingo, Gro. (<https://orcid.org/0000-0003-1661-4878>).
ca464844@uaeh.edu.mx; asampedrom@uaemex.mx; 18805@uagro.mx; virgilio@uaeh.edu.mx;
afranco@uaeh.edu.mx; cr233109@uaeh.edu.mx; manuel_ojeda@uaeh.edu.mx*

Área de aplicación industrial: inteligencia artificial, educación, comunicación, cómputo y traducción.
Innovación tecnológica: aprendizaje automático, procesamiento de lenguaje natural, cómputo inteligente.

Recibido: 25 agosto 2025

Aceptado: 09 enero 2026

Abstract

This paper presents the development of a mobile application that provides university students with access to learning resources for the indigenous languages Mazahua and Hñähñu. The mobile application is designed as an accessible digital tool that integrates a translator based on Transformer models for body-part vocabulary and a card-based game that combines a memory game and a puzzle, incorporating augmented reality featuring animals. The application was developed in collaboration with computer science and linguistic-cultural experts to ensure accuracy and relevance in the indigenous languages. The application aims to encourage vocabulary learning related to body parts and animals, while supporting writing and pronunciation through interactive games. Finally, the application was evaluated with university students, which demonstrated their motivation to participate and the application's success in promoting the learning of indigenous languages through the use of accessible technology, especially in geographic areas where these languages are declining.

Keywords: Mobile application, learning, augmented reality, Mazahua, Hñähñu.

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de una aplicación móvil que permite el acceso al aprendizaje de las lenguas indígenas mazahua y hñähñu para estudiantes universitarios. La aplicación móvil es diseñada como una herramienta digital accesible que integra un traductor basado en modelos transformer para partes del cuerpo y un juego basado en tarjetas que integran un memorama y un rompecabezas simultáneamente, agregando realidad aumentada con animales. El diseño se realizó en colaboración con expertos en computación y lingüísticos-culturales que permiten asegurar precisión y relevancia en las lenguas indígenas. La aplicación busca incentivar el aprendizaje de vocabulario basado en partes del cuerpo y animales como una guía para la escritura y la pronunciación mediante juegos interactivos. Finalmente, la aplicación es evaluada con estudiantes de nivel superior, mostrando motivaciones en la participación y el objetivo de promover el aprendizaje de lenguas indígenas mediante el uso de una tecnología accesible, especialmente en zonas geográficas donde las lenguas están en decadencia.

Palabras clave: Aplicación móvil, Aprendizaje, Realidad aumentada, Mazahua, Hñähñu.

I. Introducción

La preservación de las lenguas indígenas fortalece la identidad y el sentido de pertenencia comunitaria. El uso frecuente de la lengua materna se asocia con un mayor bienestar y emociones positivas, incluso en donde la lengua está amenazada por la asimilación y la pérdida lingüística (Olko et al., 2022). Las lenguas indígenas también posicionan a las personas frente a la comunidad, transmiten valores y cosmovisiones propias. En este sentido, el uso de la lengua se convierte en una manifestación del derecho a la autodeterminación de los pueblos indígenas.

México alberga 68 agrupaciones lingüísticas, cada una con sus variantes particulares. En la actualidad, resulta fundamental fomentar su uso, desarrollo, preservación y difusión, reconociéndolas como un componente esencial de la diversidad cultural nacional, tal como lo expresa el artículo 2º de la Constitución mexicana. Una de las estrategias para promover estas lenguas es mediante el desarrollo de una aplicación móvil para el aprendizaje de las lenguas indígenas: mazahua y hñähñu.

En México 39.2 millones de personas se reconocen como indígenas, sin embargo, únicamente 7.4 millones de habitantes de tres años o más hablan alguna lengua originaria. En este sentido, 7.0 millones de personas cumplían con ambas características (INEGI, 2025), aunque quienes se identifican el número es relativamente alto, los hablantes son cada vez menos. Las lenguas más utilizadas, son: el náhuatl hablado por 1,651,958 personas, le sigue la lengua maya con 774,755, el tseltal con 589,144, el tsotsil con 550,274, mixteco con 550,274, zapoteco con 490,845 y el otomí con 298,851. En contraste, entre las lenguas con menor número de hablantes se encuentran el awakateko, kickapoo, ayapaneco, kiliwa, oluteco, teko, ixil, qato'k, kaqchikel y el cucapá (INEGI, 2022).

Las lenguas indígenas han ido desapareciendo gradualmente en la región. La desaparición de las lenguas es un fenómeno que avanza día con día, ocasionando la pérdida de un número considerable de ellas. En México, este fenómeno impacta directamente a los pueblos originarios, pues

vulnera la identidad de sus culturas y pone en riesgo la preservación de sus lenguas.

La desaparición de las lenguas indígenas se presenta debido a factores como el reducido número de hablantes, la dispersión geográfica, el predominio de adultos entre quienes la dominan y la tendencia de la transmisión a las nuevas generaciones prevalecen. Esto se acelera dado por situaciones como la exclusión de las lenguas originarias de los espacios públicos e institucionales (Gutiérrez Arriaga & Alvarado Rodríguez, 2024), así como la escasa presencia en los medios de comunicación y poca empatía social.

La disminución de lenguas indígenas manifiesta una alarmante directriz a la desaparición de dichas lenguas, especialmente porque las comunidades se han visto afectada por diversos factores como la urbanización, la discriminación y la presión para adoptar otras lenguas, como el español como lengua predominante. Lo anterior refuerza la falta de interés en aprender y preservar estas lenguas, lo que afecta a las nuevas generaciones de niños, jóvenes y adultos, lo que conduce a la pérdida de la lengua y cultural (Gobierno de México, 2022).

Asimismo, las aplicaciones móviles para la documentación lingüística se están convirtiendo en recursos que ahora también se pueden compartir interlingüísticamente. Las aplicaciones móviles y las comunidades de aprendizaje en redes están empezando a influir en el aprendizaje de las lenguas de forma mucho más amplia, trascendiendo los canales tradicionales de educación lingüística utilizados por quienes trabajan para preservar las lenguas (Annet, 2024). De ahí la relevancia del desarrollo e implementación de la aplicación móvil para el aprendizaje de ambas lenguas. Se seleccionó la lengua hñähñu debido a la disminución de hablantes

en la zona del Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, y la lengua mazahua con el propósito de fortalecer su uso en la zona norte del Valle del Estado de México. El objetivo es incrementar el número de hablantes; para ello, la aplicación contribuirá al fortalecimiento y preservación de las mismas.

En la actualidad, dentro de las disciplinas de la computación y la lingüística, el procesamiento del lenguaje natural (PLN) se ha consolidado como una de las áreas más notables del aprendizaje automático. A través de él, las máquinas son capaces de leer, interpretar y descifrar lenguajes humanos, además de generar descripciones, resúmenes, traducciones e incluso respuestas coherentes en lenguaje natural (García-Méndez et al., 2024; Liu et al., 2019; Devlin et al., 2019). De esta manera, el PLN posibilita el desarrollo de soluciones de software que comprenden, analizan y responden de manera semejante a los humanos, tanto en formato de texto como de voz.

El lenguaje natural, también denominado lenguaje humano (Liu et al., 2019), constituye la principal fuente de información para que las máquinas puedan interpretar y comunicarse. Para ello, se requiere de un corpus (partes del cuerpo y animales), es decir, un conjunto estructurado de muestras lingüísticas que sirve como base de entrenamiento en trabajos del procesamiento del lenguaje natural (PLN). Así es como una máquina aprende a comunicarse. Sin embargo, los humanos nos expresamos de innumerables maneras; existen diversos idiomas, lenguas indígenas y dialectos, con reglas gramaticales particulares. En consecuencia, el principal desafío desde el punto de vista del PLN consiste en desarrollar una aplicación móvil capaz de identificar de manera automática el lenguaje a nivel sintáctico, fonético, morfológico y semántico de las lenguas indígenas presentadas.

El desarrollo de la aplicación móvil interactiva está basada en el PLN y la aplicación de la realidad aumentada (RA) con el fin de promover el aprendizaje de un corpus de palabras de las lenguas mazahua y hñähñu. El objetivo es promover el aprendizaje con el fin de contrarrestar la pérdida de hablantes de las lenguas mediante herramientas educativas innovadoras y accesibles que permitan preservar y promover las lenguas indígenas en las nuevas generaciones. Para lograr lo anterior, se recurre al uso de la tecnología como medio para motivar la enseñanza y el aprendizaje accesible a cualquier persona generando un impacto de aprendizaje significativo (Devlin et al., 2019).

El pueblo mazahua, originario de la región central de México, tiene sus raíces en las comunidades que habitaron el territorio ancestral de *Xinanta* durante la época prehispánica. Su historia se entrelaza con el imperio mexica y esplendor de Tenochtitlán, formaron parte de las campañas militares, contribuyeron a la construcción del templo mayor y formaron parte de ceremonias como la inauguración de la gran piedra de sacrificios *temalácatl*, símbolo del poder ritual, elaborada bajo el mandato de Moctezuma Ilhuicamina. Se dedicaban a la fabricación de su vestimenta, labores de campo y pastoreo (Salgado Naime et al., 2024).

De acuerdo con Celote Preciado (2025), los mazahuas denominados como *jñatjo*, vocablo que en náhuatl significa “gente de venado”, encuentra en este término de referencia fundamental a la identidad étnica, social y política. Su etimología proviene del verbo *ñā'a* (hablar), que al prefijarse la fricativa glotal sorda [h-] al verbo *ñā'a*, se convierte en el sustantivo *jñā'a*, cuyo significado es “palabra” o “lengua”, según el contexto de su uso. Cuando el sustantivo *jñā'a* es sufijado por el elemento *-tjo* su significado es “nada más” y da origen al concepto *jñatjo*, que

significa “los que hablan”. En todo momento los mazahuas del siglo XXI hacen referencia al concepto *jñatjo*, que es portador de significados relacionados con su historia, filosofía, cultura y cosmovisión, y que ha sido esencial para construir, trascender y reafirmar su existencia como pueblo indígena.

La lengua mazahua forma parte del subgrupo otopame, dentro de la familia otomangué. Se trata de una lengua tonal que, en el ámbito verbal, codifica tiempo, aspecto, modo y persona. La sílaba inicial de cada palabra es tónica, y en ella se distinguen tanto tonos de nivel como tonos de contorno, ascendente y descendente, además de un tono flotante que, siempre es alto. Asimismo, el mazahua se caracteriza por ser una lengua de marcación en el núcleo, donde se establecen e indexan las relaciones entre sujeto y objeto (Mora Bustos et al., 2023).

La lengua mazahua guarda parentesco con el otomí, pame, matlatzinca y chichimecajonaz. El pueblo mazahua, está reconocido entre los 68 pueblos originarios de México, denominación que alude a su existencia histórica y a su organización sociopolítica que mantenían antes de la colonización española. Su asentamiento se ubica lo que hoy corresponde a los estados de México y Michoacán, aunque es en el primero donde se concentra la mayor parte de su población en la actualidad (Payán Díaz & Flores Flores 2025).

El mazahua es una de las culturas indígenas más significativas en el país, principalmente por el número de hablantes que la componen. En el estado de México, su población se concentra en la región norte, caracterizada por su clima frío, bosques templados y la reserva de la biosfera de la mariposa monarca. No obstante, las condiciones de marginación social y económica han impulsado procesos migratorios hacia grandes ciudades como México, Toluca, Querétaro y también a

Estados Unidos cuando viajan al extranjero, casi siempre de forma ilegal (Alejandro García, & Guzmán Mendoza, 2016).

En México, hasta el año 2020 se registraron 152,912 personas de cinco años y más que hablan la lengua mazahua, la mayor concentración se encuentra en el estado de México, con 131,911 hablantes, seguido de la Ciudad de México con 7,862 y Michoacán con 4,479 (INEGI, 2020). El resto se distribuye en otras entidades federativas en proporciones menores, estos datos reflejan que la mayor presencia de hablantes de mazahua se localiza en la región centro del país.

El otomí es una lengua originaria de México que forma parte de la familia lingüística otomame que comprende la lengua mazahua, matlatzinca-tlahuica, pame, chichimeco. Esta familia junto con los grupos chinanteco, tlapaneco-mangueano, integra el tronco lingüístico oto-mangue (Instituto Nacional de Lenguas Indígenas, 2008). En particular, la lengua mazahua y el otomí mantienen una estrecha relación, al estar consideradas lenguas hermanas.

El otomí es una lengua tonal con tonos graves, agudos y ascendentes, con algunas diferencias entre variedades. Se considera una de las lenguas más antiguas y diversificadas de México, con un registro de aproximadamente 6,500 años de antigüedad y conformada por nueve variantes (De la Cruz-Sánchez & De la Cruz, 2024). La lengua hñähñu constituye un símbolo de cohesión étnica entre sus hablantes, quienes, pese a la notable diversidad lingüística existente, se reconocen como un solo pueblo con un origen común (Instituto Nacional de Lenguas Indígenas, 2010).

Existen nueve variantes lingüísticas para el otomí: 1. Otomí de la Sierra, 2. Otomí bajo del noroeste, 3. Otomí del oeste, 4. Otomí del

oeste del Valle del Mezquital, 5. Otomí del Valle del Mezquital, 6. Otomí de Ixtenco, 7. Otomí de Tilapa o del sur, 8. Otomí del noroeste y 9. Otomí del centro (Avelino Sierra, 2022). Para la presente, se retoma la variante otomí del Valle del Mezquital, conocida como la lengua hñähñu, hablada en el estado de Hidalgo.

El hñähñu se habla en el Valle del Mezquital, una de las principales regiones geoculturales del estado de Hidalgo, que ocupa el 33.7% de su territorio. En esta área se localiza el pueblo hñähñu, distribuido en varios municipios habitados, con una extensión aproximada de 165 kilómetros cuadrados (Cruz-Carrillo et al., 2024).

En México, hasta el año 2020 se registraron 296,658 personas de cinco años y más que hablan la lengua otomí, la mayor concentración se encuentra en el estado de Hidalgo, con 119,614 hablantes, seguido del estado de México con 106,141, Querétaro con 22,209, Veracruz con 17,100 y la Ciudad de México con 11,717 (INEGI, 2020). El resto se distribuye en otras entidades federativas en proporciones menores, estos datos reflejan que la mayor presencia de hablantes de otomí se localiza en el estado de Hidalgo y estado de México.

II. Antecedentes de aplicaciones móviles para el aprendizaje de lenguas indígenas

Actualmente se han desarrollado diversas aplicaciones móviles con fines de aprendizaje que tienen como objetivo la preservación de las lenguas indígenas. Las aplicaciones ofrecen herramientas basadas en el uso de tecnología mediante un aprendizaje intuitivo desde el uso hasta el contenido y la información. En muchos casos se busca motivar a los usuarios mediante el uso de recursos multimedia como figuras, textos, animaciones, audios, videos, sonidos, entre otros. De esta manera, se busca brindar una

experiencia más dinámica y fácil en la adquisición de las lenguas indígenas. Esta aplicación funciona como herramienta para el refuerzo, de apoyo y para la promoción de la lengua hñähñu para escuelas primarias en el municipio de Ixmiquilpan, en Hidalgo. Para su desarrollo se empleó la metodología ágil Mobile-D implementada con Android Studio, una base de datos en SQLite y Adobe Illustrator.

Por otro lado, en González y García (2021) se presenta una aplicación implementada para Android, cuyo propósito es facilitar el aprendizaje del p'urhépecha. El objetivo de la aplicación consiste en ofrecer traducciones en tiempo real e intuitivas entre español, inglés y p'urhépecha. Para su implementación se utilizó Android Studio como entorno de desarrollo (IDE) y el lenguaje Java. De manera similar, Muñoz (2018) desarrolló una aplicación móvil orientada a la enseñanza básica de la lengua náhuatl. Esta herramienta es diseñada para usuarios mayores de seis años, contiene un curso que incluye ejercicios y actividades enfocadas en aprender sobre el vocabulario, la gramática, la escritura y la lectura. En este desarrollo se empleó lenguaje Java, el IDE Android Studio y una base de datos en SQLite.

Finalmente, en Cunalata (2020) se presenta la implementación de una aplicación para el aprendizaje de la lengua Kichwa. Una de las lenguas indígenas en Ecuador. El trabajo tuvo propósito fomentar la enseñanza de dicha lengua mediante el uso de tecnologías móviles accesibles, de manera que cualquier usuario interesado en aprender la lengua pudiera tenerla accesible. Para la implementación se usó la metodología ágil, y se desarrolló un sistema complementario de gestión web que permitió fortalecer la aplicación en el ámbito educativo. La herramienta es compatible tanto con dispositivos Android como con iOS, lo que amplía el alcance y la usabilidad.

En varias de las aplicaciones revisadas se incorpora el PLN, el cual considera distintos niveles de análisis del lenguaje, tales como el gramatical, el semántico y el sintáctico. El estudio de estos lenguajes ayuda establecer una conexión entre la lingüística, los algoritmos computacionales y el PLN. Por ende, el objetivo del PLN es aproximar modelos capaces de comprender los aspectos fundamentales del lenguaje humano, automatizar tareas y extraer la información (Porta Zamorano & Sancho Sánchez, 2021). En Fuentes et al. (2022) se presenta una aplicación cuyo fin es promover el aprendizaje y preservar la lengua zapoteca (diidxazá) de la zona de San Blas Atempa en Oaxaca, México. La aplicación es para usuarios con conocimientos escasos mediante la práctica y la realización de actividades y tareas interactivas, dinámicas, lúdicas y gamificadas, sin la necesidad de internet. Los autores consideran un diseño e implementación intuitiva e interactiva, ofreciendo el aprendizaje de la lengua zapoteca con animaciones, videos, sonidos y audios.

Por otra parte, el PLN busca la extracción de relaciones (ER) centrada en identificar patrones en entidades nombradas (EN), así como términos clave, definiciones, abreviaturas y nombres propios. A través del reconocimiento automático es posible identificar vínculos semánticos entre dos o más elementos en un texto. En suma, en Pawar et al. (2017) se menciona que para diseñar un sistema de realidad aumentada basado en aprendizaje supervisado consideran como aspectos principales contextos semánticos, léxicos, morfológicos y sintácticos (*Part-Of-Speech*, POS). Además, en Nasar et al. (2021) se considera que la ER requiere un análisis sintáctico como parte del proceso para llevar a cabo la segmentación y la lematización de textos y palabras. De acuerdo con Nasar et al. (2021), la certidumbre de la ER depende del corpus

de palabras de entrenamiento y aprendizaje, vinculado con el conjunto de datos extraídos (Pawar et al., 2017; Nasar et al., 2021). Asimismo, esta tarea ha sido aplicada en diversas disciplinas como la química, las redes sociales, la medicina, la robótica, entre otros (Virmani et al., 2017; Kumar, 2017). Por otro lado, Geman y Johnson (2004) consideran que un modelo de ER debe ser construido con base en el conocimiento, que puede generarse a partir de la recopilación y anotación de textos realizada por expertos, o bien mediante procesos automáticos que asignan etiquetas al contenido textual. A partir de estas muestras anotadas, un modelo computacional es capaz de identificar patrones que permiten determinar si una frase establece o no una relación semántica Nasar et al. (2021).

Incluso en Nasar et al. (2021) se considera que existen limitaciones debido a que se tiene un corpus de palabras limitado, específicamente porque ciertas lenguas varían de región a región o simplemente no existen suficientes fuentes y reglas gramaticales. Sin embargo, el trabajo de Carrino et al. (2020) es destacado por la traducción automática (TA) como alternativa porque a pesar de las limitaciones de los corpus lingüísticos se logra obtener una traducción exitosa. Lo anterior, ha permitido el desarrollo de herramientas de traducción a pesar de las limitaciones facilitando la traducción de lenguas incluso con un corpus limitado. Aunque los conjuntos de datos mediante TA no es un enfoque novedoso, la aplicación demanda un proceso de experimentación cuidadoso y la implementación de estrategias adecuadas (Carrino et al., 2020). En este trabajo se empleó la TA como una estrategia para abordar los desafíos asociados a la ER en español.

Por lo tanto, esta aplicación se implementa como una herramienta con el objetivo de preservar las lenguas indígenas mediante la construcción de conjuntos de datos. Permitiendo el desarrollo de la aplicación móvil para estudiantes que buscan desarrollar sus habilidades lingüísticas mientras interactúan con la tecnología de forma lúdica e intuitiva. Esto contribuirá no solo a la difusión de la lengua, sino también al fortalecimiento de la identidad cultural de la zona del Valle del Mezquital, Hidalgo, donde se observa una preocupante disminución de hablantes de la lengua hñähñu. Por otro lado, a la zona Norte del Estado de México donde existen hablantes de la lengua mazahua. Sin embargo, el uso de la tecnología permitirá que además que, no sólo población de las zonas de Hidalgo y el Estado de México, sino cualquier persona puede tener acceso a la aplicación. A continuación, se presenta los materiales y métodos empleados para el desarrollo de esta aplicación.

III. Materiales y métodos

El diseño de la aplicación móvil se implementó considerando las fases dadas por la metodología de Diseño Centrado en el Usuario (DCU). Esta metodología busca que el funcionamiento como un método iterativo donde los usuarios participan activamente para garantizar que se cumplan los requerimientos funcionales y los no funcionales (ANENOR, 2000). La norma ISO 13407, establecida por la Organización Internacional de Normalización (OIN) brinda un conjunto de recomendaciones aplicables para llevar a cabo proceso de diseño. Dicho proceso está integrado por diversas tareas como se muestra en la Figura 1 (ANENOR, 2000).

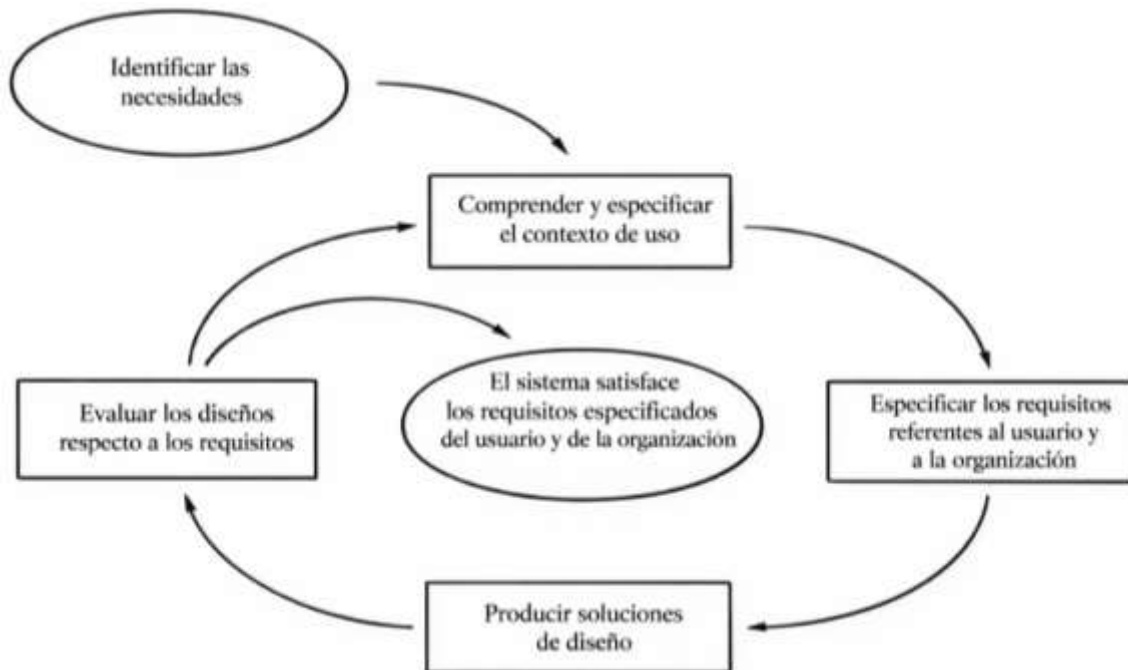


Figura 1. Actividades del DCU (ANENOR, 2000).

Ahora, se detallan las fases asociadas que integran las actividades del Diseño Centrado en el Usuario (DCU) (ANENOR, 2000). Primero, la Actividad 1: es dada para comprender y definir el contexto de uso. En esta etapa se identifican los usuarios finales del sistema, así como el uso previsto y las condiciones en las que se empleará la aplicación. En esencia, los diseñadores buscan adquirir un entendimiento profundo de cómo los usuarios interactuarán con el sistema.

En esta etapa se pueden identificar las necesidades de los usuarios y las metas que se buscan alcanzar mediante el uso de la aplicación móvil. Para esto, se aplicaron encuestas para conocer la opinión de las personas sobre el uso de una aplicación destinada a promover las lenguas mazahua y hñähñu. Con el fin de conocer si las personas han tenido experiencias previas con herramientas similares. Las encuestas recopilaron información sobre características demográficas, experiencia del usuario con sistemas interactivos, modelos mentales de

cómo funciona un sistema, gustos, colores, actitudes personales, habilidades e incluso el tiempo que emplean en el uso de un teléfono inteligente.

Las encuestas fueron realizadas de forma presencial en los municipios de San Felipe del Progreso, Atlacomulco, Pachuca, Mineral de la Reforma y en la zona del Valle del Mezquital, mientras que algunas se aplicaron electrónicamente a través de Google Forms, una herramienta gratuita para crear y gestionar cuestionarios. Se empleó una muestra no probabilística (Martínez, 2012), seleccionando un total de 83 usuarios, de entre 17 y 28 años, con características similares en términos de edad, género, conocimiento básico de la lengua indígena o con gusto por aprenderlas, y manejo de dispositivos móviles.

Actividad 2: en esta etapa se lleva a cabo la especificación de las necesidades del usuario. Esta etapa consiste en identificar los objetivos, tanto de los usuarios, como de los proveedores del sistema que deben ser

satisfechos. Se definen y detallan los requisitos del usuario, los cuales representan las características funcionales del sistema, con el fin de determinar qué actividades serán compatibles con la tecnología y cuáles no.

A partir de los resultados obtenidos en las encuestas de la etapa anterior, se elaboró un perfil de usuario que permitió interpretar de manera precisa los datos recopilados. Este perfil facilitó la identificación de los usuarios potenciales de la aplicación móvil, el rango de edad con mayor interés en promover y fortalecer la lengua indígena zapoteca, y su disposición a utilizar la aplicación como herramienta de práctica. Además, se integraron las especificaciones de la norma ISO 13407 con las recomendaciones del Modelo de Diseño de Interacción Persona-Computadora (MODIHC) (Castro et al., 2017; Narciso et al., 2001).

Actividad 3: en esta etapa se generan las soluciones de diseño. Esta etapa fue dividida en varias fases secuenciales, que van desde los prototipos iniciales hasta la propuesta del diseño final. Su propósito es desarrollar soluciones concretas que satisfagan las necesidades del usuario, a partir de los requisitos recopilados en las Actividades 1 y 2. Con base en la información obtenida, se validó la aplicación en desarrollo y se elaboró un prototipo de la aplicación móvil, abordando aspectos relacionados con los datos, la interfaz, la usabilidad y la alineación del diseño con los modelos de usuario del sistema.

Para explorar y probar la aplicación, los usuarios interactuaron directamente con la interfaz usando los botones y funciones implementadas. El desarrollo del prototipo utilizando el framework Flutter (Flutter, 2020) y el IDE Visual Studio Code (Flutter, 2020). Además, se consultó el vocabulario bilingüe mazahua-español publicado por la

Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas por (Benítez, 2017) y el diccionario de hñähñu (otomí), (Hernández Cruz *et al.*, 2010) para traducir correctamente las palabras empleadas en el desarrollo de la aplicación móvil.

Actividad 4: en esta etapa se evalúan los diseños en función de las necesidades. En esta etapa las soluciones de diseño son puestas a prueba de los usuarios con el objetivo de identificar problemas a futuro sobre la usabilidad que requieran atención y mejoras a futuro (Cruz, 2015). El objetivo es evaluar la adecuación del diseño considerando los requisitos específicos del usuario determinando si se satisfacen las necesidades de los usuarios.

En la etapa final se llevó a cabo la prueba con los usuarios cuyo fin es evaluar la usabilidad de la aplicación mediante preguntas basadas en la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS), Brooke (1995). La SUS utiliza una escala Likert con cinco niveles para medir el grado de acuerdo de los usuarios con diez afirmaciones, donde 1 pertenece a “totalmente en desacuerdo” y 5 a “totalmente de acuerdo”. Este procedimiento permite detectar errores de diseño e implementación y verificar que los requisitos hayan sido correctamente interpretados en la aplicación.

Las Actividades 1 y 2 se enfocan en percibir y detallar el contexto de uso, así como identificar las necesidades del usuario. Los resultados son obtenidos a partir de las encuestas aplicadas al grupo seleccionado y permiten determinar los requerimientos funcionales y el perfil de los usuarios de la aplicación móvil (ver Tabla 1). Esta etapa es lograda mediante la integración de los detalles de la norma ISO 13407 y las recomendaciones derivadas de las características del usuario (Perfil del Usuario).

Tabla 1. Requisitos y complementos de la aplicación móvil.

Requisitos	Complementos
Perfil demográfico Edad: 16-60 años Género: indistinto	
Perfil de conocimientos y experiencia Conocimientos previos: ninguno (solo motivación para aprender) Experiencia con la lengua: Ninguna	Experiencia con aplicaciones similares: Ninguna
Lenguas objetivo: <ul style="list-style-type: none"> • Mazahua • Hñähñu 	
Objetivos de la aplicación: Evaluar, valorar y promover la adquisición de conocimientos sobre las lenguas indígenas mazahua y hñähñu.	
Hardware / plataforma Teléfono celular con sistema operativo Android o iOS	
Modelo mental / contexto de uso Actualmente no existen materiales didácticos específicos para la difusión de estas lenguas. Las aplicaciones disponibles se enfocan en otras variantes y presentan limitaciones en atractivo visual, diseño y uso de colores.	Preferencias de diseño: gama de colores cálidos.

Fuente: elaboración propia.

Los requisitos funcionales se basan en cada módulo de la aplicación, considerando imágenes, palabras y animaciones relacionadas con las siguientes secciones: traductor, partes del cuerpo y juegos de animales con realidad aumentada. El objetivo es presentar palabras básicas y sus correspondientes traducciones en cada

módulo. Es importante mencionar considerar que sólo hay un actor, el usuario, para quien es hecha la aplicación. La aplicación debe permitir la identificación de voces, la inserción de letras, la reproducción de audios, la emisión de imágenes, el uso de la cámara y la generación de animaciones basadas en Realidad Aumentada (RA) (ver Figura 2).

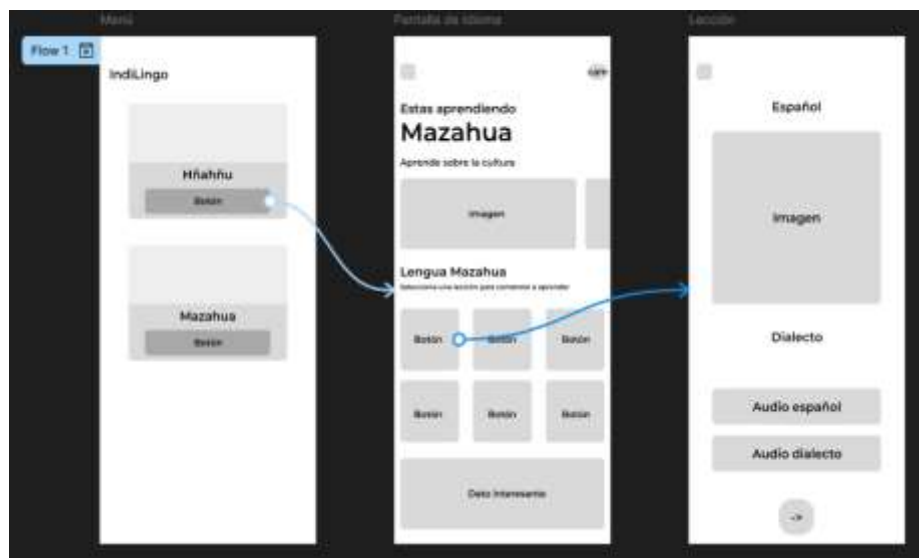


Figura 2. Módulos de aplicación móvil.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, es importante considerar los requisitos no funcionales. Primero, la usabilidad, es decir, obtener una interfaz sencilla, clara, intuitiva, atractiva y fácil de usar. En cuanto a la extensibilidad, la aplicación móvil se crea de forma que pueda adaptarse a cualquier entorno, puedan agregarse más funciones y complementar el corpus de palabras a futuro (véase la Figura

3). También es importante considerar la eficiencia, es decir, la respuesta y la interacción deben ser lo más rápidas posible, ya que la aplicación puede trabajar sin conexión a internet. Finalmente, la aplicación puede ejecutarse en sistemas operativos móviles como Android Jellybean v16, 4.1.x e iOS 8 u otros.

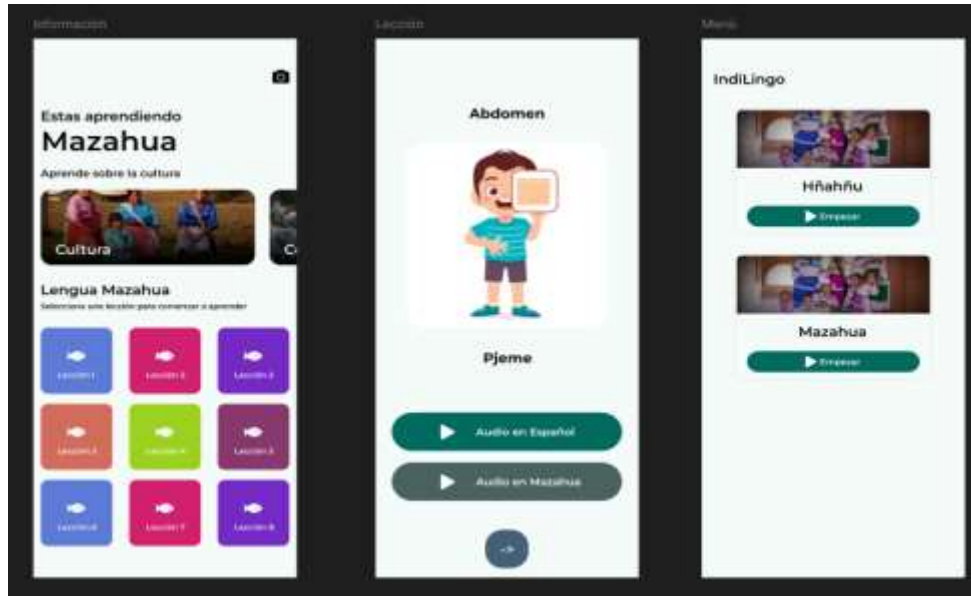


Figura 3. Entorno de aplicación móvil para lengua mazahua.
Fuente: elaboración propia.

En la Actividad 3 se contempla el desarrollo del traductor y del juego, implementando un modelo de traducción basado en transformadores. Los transformadores constituyen una arquitectura de red neuronal

que ha transformado significativamente los modelos de PLN, especialmente en aplicaciones de traducción automática y en el desarrollo de juegos de realidad aumentada (véase la Figura 4).

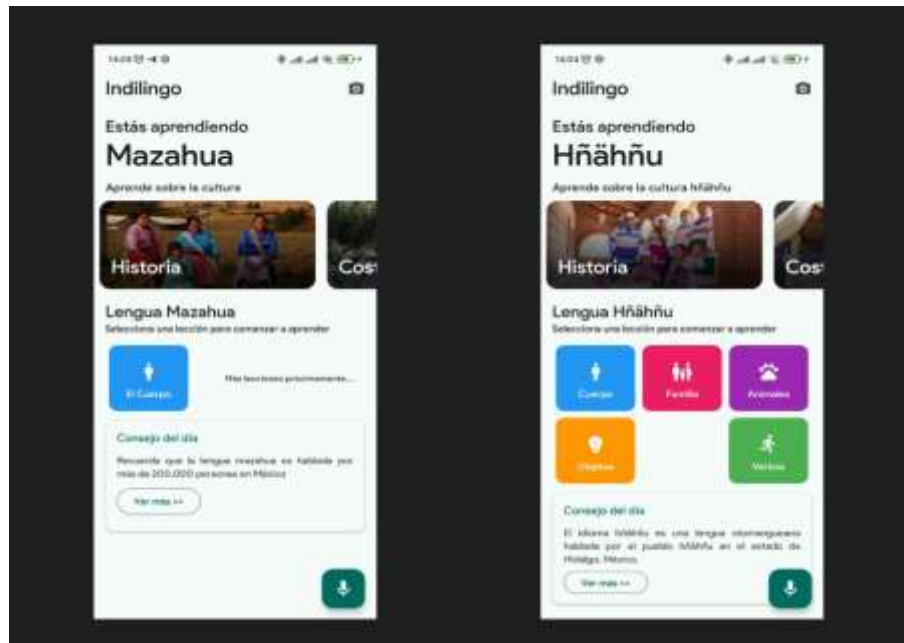


Figura 4. Entornos de aplicación móvil para contenidos mazahua y hñähñu para traductor y juego.
Fuente: elaboración propia.

IV. Detalles técnicos del traductor de mazahua y hñähñu

El modelo de traducción basado en transformadores se introdujo en el artículo «La atención es todo lo que necesitas» de Vaswani et al., (2017). El transformador es un modelo que se distingue por su uso exclusivo de mecanismos de atención, a diferencia de otros modelos como las redes neuronales recurrentes (RNN) y las redes de memoria a corto plazo (LSTM), que se basaban en el procesamiento secuencial de la información.

Las características clave de los transformadores en la traducción se apoyan en dinámicas de atención (autoatención). Esto significa que el transformador usa un mecanismo de atención que permite al sistema centrarse en todas las palabras de una sucesión de entrada al generar una traducción. La atención es autoatención, lo que significa que, para cada palabra de la entrada, se calcula la relación con las demás. Además, se emplea el cómputo paralelo, a diferencia de las redes procesan secuencias de entrada y de salida en paralelo. Esto acelera

considerablemente el entrenamiento y la inferencia de los transformadores, lo que resulta en modelos mucho más eficientes.

La arquitectura de los transformadores incluye un codificador y un decodificador. El codificador es capaz de procesar la secuencia de entrada, por ejemplo, una palabra de la lengua indígena, la convierte en una representación interna que captura sus características relevantes. A partir de esta representación, el decodificador crea la serie de salida, es decir, la traducción al idioma de destino. Tanto el codificador como el decodificador están conformados por capas apiladas que combinan mecanismos de atención y redes neuronales de propagación hacia adelante. Dado que los transformadores no siguen una estructura secuencial como las RNN o las LSTM, utilizan una codificación capaz de incorporar información dando un orden a las palabras en la secuencia. Esta codificación es esencial para que el modelo pueda interpretar correctamente el ámbito indicado y la relación entre cada palabra a lo largo de toda la oración.

Finalmente, los transformadores presentan una alta escalabilidad, lo que permite incrementar de manera eficiente el número de capas y parámetros del modelo para abordar tareas más complejas. Esta capacidad ha sido demostrada en variantes avanzadas como BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) y GPT (Generative Pre-trained Transformer), las cuales han alcanzado resultados sobresalientes en traducción automática y en diversas aplicaciones de PLN (Pilicita y Barra, 2025).

Los modelos basados en transformadores que se utilizan actualmente para la traducción son Google Translate, que utiliza una versión mejorada del transformador llamada Traducción Automática Neural Transformadora; BERT, que aunque no está diseñado específicamente para la traducción, ha demostrado ser muy útil para tareas de traducción y otros procesos de PLN; y GPT (Transformador Generativo Preentrenado), conocido como un modelo de generación de texto, que también puede aplicarse a tareas de traducción gracias a su capacidad para comprender el contexto del texto (Pilicita y Barra, 2025).

La arquitectura del transformador se organiza en dos componentes principales: el codificador y el decodificador (Javed *et al.*, 2025), donde cada componente está formado por múltiples capas, y cada capa realiza una serie de operaciones matemáticas diseñadas para procesar y transformar la información de manera eficiente, capturando las relaciones contextuales dentro de las secuencias de entrada y salida. En el caso del decodificador, cada capa se compone de dos componentes clave: primero, el mecanismo de atención (autoatención), que permite obtener las relaciones entre las palabras de la secuencia de entrada. Por otro lado, existe una red neuronal de propagación hacia adelante, lo que significa que, tras aplicar la atención, el

resultado se transmite a través de una red neuronal de propagación hacia adelante completamente conectada, independientemente de cada posición de la secuencia.

El codificador procesa la entrada en el idioma de origen convirtiendo cada token en un vector de incrustación x_i , y añadiendo codificaciones posicionales p_i para incorporar la información posicional de los tokens en la secuencia:

$$e_i = x_i + p_i \quad (\text{Ec. 1})$$

Las capas del codificador se inicializan con los pesos pre entrenados de BERT para mejorar su capacidad de comprender y representar mejor el texto de entrada. Tras la inicialización, se ajustan las capas del codificador aumentadas con BERT en nuestros conjuntos de datos para ajustar los pesos pre entrenados a las especificaciones de las tareas de traducción. Las dimensiones de las incrustaciones de BERT difieren de las dimensiones esperadas de la incrustación del codificador del modelo M2M (d_{m2m}) y se aplica una transformación lineal para ajustar las dimensiones:

$$e'_{bert} = W_{transform} e_{bert} + b_{transform} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde $W_{transform}$ y $b_{transform}$ son los pesos y sesgos de la capa de transformación, respectivamente. Esto garantiza que las incrustaciones BERT transformadas (e'_{bert}) sean compatibles con el codificador M2M100.

Lo anterior, permite introducir algunas modificaciones clave en los mecanismos de atención, como la atención bidireccional sincrónica y la atención ponderada dinámica. La atención bidireccional sincrónica permite al modelo atender simultáneamente a tokens

pasados y futuros dentro de cada capa, lo que mejora su comprensión del contexto y su capacidad para capturar dependencias de largo alcance. Esta modificación se logra ajustando las máscaras de atención, originalmente unidireccionales, para permitir el contexto bidireccional. Específicamente, se modifica la máscara de atención para que el modelo pueda atender a todos los tokens de la secuencia, independientemente de su posición. Esta máscara de atención bidireccional garantiza que cada token pueda atender a los tokens anteriores y posteriores en la secuencia, lo que permite una comprensión más completa de la entrada. La matriz de atención $M_{\text{bidireccional}}$ se modifica a $M_{\text{bidireccional}} = 1$, o todos los pares de tokens en la secuencia. Esta modificación permite al modelo aprovechar todo el contexto de la secuencia de entrada, mejorando así la precisión de la traducción, especialmente en

Además, se usa un mecanismo de respaldo para abordar entidades con nombre que no están presentes en los datos de entrenamiento. En el caso de una entidad con nombre no vista, la reemplazamos con una entidad predefinida de un diccionario bilingüe o una lista de mapeo de entidades. Si no se encuentra una coincidencia directa, el modelo se basa en pistas contextuales de los tokens circundantes para inferir el significado de la entidad. Esto garantiza que la traducción se mantenga precisa y fluida, incluso en presencia de entidades nuevas o poco comunes. El mecanismo de respaldo garantiza que el modelo pueda manejar una amplia gama de entidades con nombre, lo que mejora su robustez, especialmente para idiomas con recursos limitados.

$$z = \text{LayerNorm}(x + \text{Dropout}(\text{MultiHead}(Q, K, V))) \quad (\text{Ec. 4})$$

El decodificador genera la salida en el idioma de destino un token a la vez. La capa de autoatención enmascarada impide la atención

oraciones donde las relaciones entre tokens distantes son cruciales. Esto conduce a un mejor manejo de las estructuras sintácticas y semánticas, lo que resulta en traducciones más precisas.

Las ponderaciones de atención se recalculan durante cada operación de atención, lo que las hace dependientes del contexto y permite que el modelo se adapte a la importancia de los diferentes tokens a medida que se procesa la secuencia de entrada. El mecanismo de atención con ponderación dinámica se expresa como:

$$\text{Atención}(Q, K, V) = \text{soft max} \left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right) V \quad (\text{Ec. 3})$$

La aplicación de la normalización de capas después de las capas de atención y de avance estabiliza el proceso de aprendizaje y mejora significativamente el rendimiento del modelo. Las capas de abandono evitan el sobreajuste al establecer aleatoriamente algunas activaciones a cero durante el entrenamiento. La implementación de conexiones residuales alrededor de las capas de atención y de avance facilita el flujo de gradiente y mejora la capacidad del modelo para capturar dependencias complejas. Esto garantiza que las dimensiones de salida de las capas de atención y de avance coincidan con las dimensiones de entrada. La ecuación (4) describe el proceso:

a tokens futuros en la secuencia de salida mediante un mecanismo de enmascaramiento como el siguiente

$$\text{MaskedAttention}(Q, K, V) = \text{soft max} \left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} + M \right) V \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde M es la matriz de máscara que impide que el modelo examine tokens futuros. La capa de atención del codificador-decodificador gestiona las consultas de la capa decodificadora anterior, con claves y

valores de la salida del codificador, lo que permite que cada posición del decodificador atienda a todas las posiciones en la secuencia de entrada como:

$$\text{Attention}(Q_{dec}, K_{dec}, V_{dec}) = \text{soft max} \left(\frac{Q_{dec} K_{enc}^T}{\sqrt{d_k}} \right) V_{enc} \quad (\text{Ec. 6})$$

La red neuronal de propagación hacia adelante transforma la representación tras la integración de la atención, aplicando la normalización y el abandono de capas para garantizar que las dimensiones coincidan con las capas posteriores:

$$\text{FFN}(x) = \max(0, xW_1 + b_1)W_2 + b_2 \quad (\text{Ec. 7})$$

El modelo propuesto se ajusta con precisión a nuestros conjuntos de datos para adaptarlo a nuestras tareas de traducción. Este proceso

ayuda al modelo a comprender todo el alcance semántico del idioma de origen. El modelo propuesto puede producir traducciones que preservan la coherencia y el significado pretendido de textos más largos. Esto minimiza la pérdida y garantiza una traducción automática sin problemas al procesar secuencias de forma paralela, eficiente y flexible. De esta manera, se implementa el traductor para palabras mazahua y hñahñu presentado en este artículo (véanse la Figura 5 y la Figura 6).

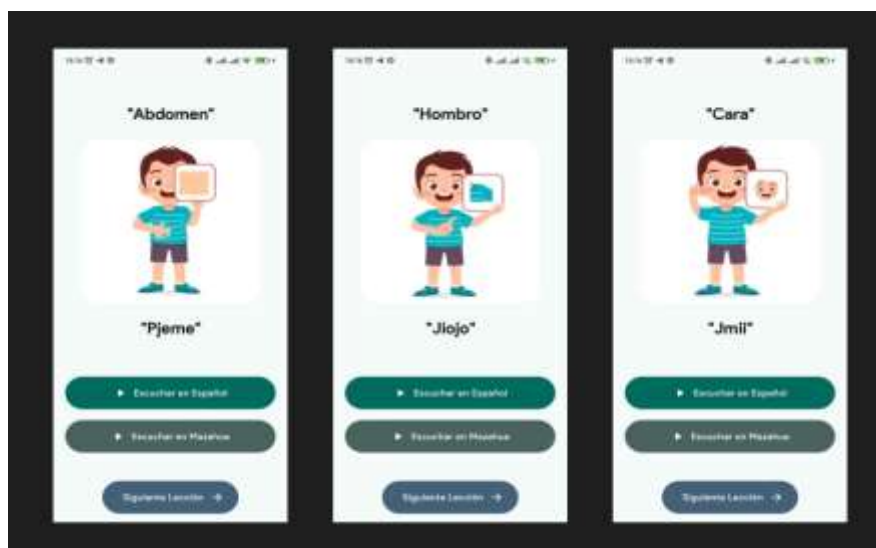


Figura 5. Traductor de aplicaciones móviles de mazahua para partes del cuerpo.
Fuente: elaboración propia.

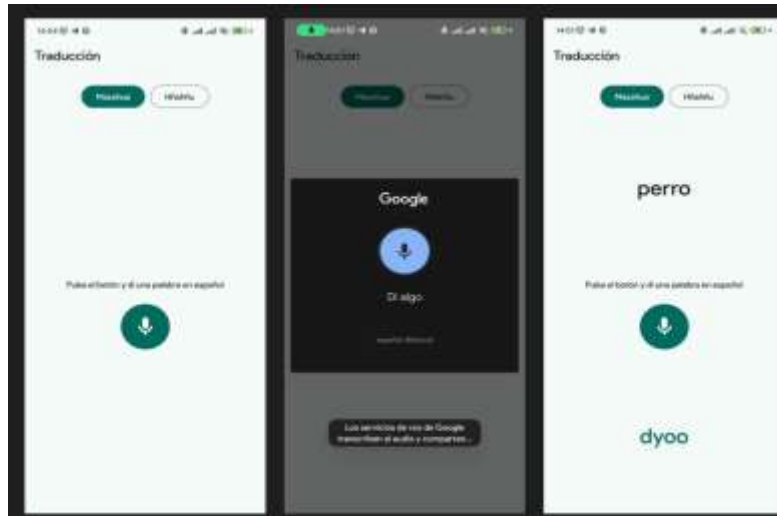


Figura 6. Traductor de aplicaciones móviles para hñähñu que utiliza animales.
Fuente: elaboración propia.

Juego basado en realidad aumentada para animales en hñähñu

La realidad aumentada (RA) ha sido aplicada como parte complementaria en el desarrollo tecnológico con el objetivo de modelar y representar entornos virtuales muy parecidos a la realidad con el fin de que el usuario tenga una experiencia muy similar a la realidad. Debido a esto, se han creado diversos dispositivos basados en RA. El Apple Vision Pro desarrollado para tener experiencias con diseños reales, ergonómicos y tecnologías de interacción natural, como los gestos (Baashar *et al.*, 2023). Por otro lado, en muchos casos se ha integrado a la inteligencia artificial con la RA permitiendo experiencias personalizadas y adaptativas en ámbitos como la medicina, la astronomía, la biología, la educación, entre otros. En el contexto educativo, diversas plataformas educativas han incorporado la RA como un medio innovador permitiendo a los usuarios experiencias más reales que facilitan la enseñanza y el aprendizaje. En específico, buscan emular, representar y simular entornos y escenarios muy similares a los del mundo real (Marrahi & Belda, 2023).

En ámbitos más profesionales, la realidad aumentada (RA) ha sido empleada en

sectores como en la astronomía, la medicina, la biología, e incluso en las artes, como es el caso de los museos virtuales, entre otros. Donde permite a los usuarios tener una experiencia en eventos del espacio, las galaxias, los planetas, e incluso Marte, muy similares a lo real; y en aplicaciones como museos y galerías mediante un contenido realista, interactivo y contextual (Rodríguez y Pérez, 2023) que permiten el arte, como el museo de Louvre, en Francia. Esta tecnología también ha demostrado el desarrollo de aplicaciones en la medicina, donde se aplica tanto en terapias de salud mental, la exploración del cuerpo humano, la simulación de células, bacterias y virus permitiendo visualizaciones detalladas de órganos y procedimientos quirúrgicos (Collado, 2024), (Villalobos López, 2024).

La (RA) ha permitido la superposición de elementos, objetos, figuras e imágenes de manera virtual sobre entornos físico buscando brindar una experiencia real, interactiva e inmersiva para los usuarios. Desde una perspectiva matemática, la RA hace uso de modelos, operaciones matemáticas, superposiciones y aplicación de transformaciones homogéneas dadas por rotaciones y traslaciones, y técnicas que

permiten integrar los objetos virtuales. Las operaciones presentadas son de suma importancia para modelar objetos virtuales con las características reales y las mediciones precisas, lo más similar al mundo real usando conceptos como los que a continuación son presentados.

V. Modelado basado en realidad aumentada

Las transformaciones son representaciones matemáticas capaces de modelar figuras que permiten de modificar la orientación, el escalado, la rotación y la posición de los objetos con base en un marco de referencia. Esto permite manipular y representar los objetos en entornos gráficos de realidad aumentada. Para esto, son usadas matrices de transformación, que permiten manipular objetos en 3D mediante operaciones matemáticas de rotación, traslación y/o escalamiento (Groosman, 2019).

El escalado o escalamiento es definido (Groosman, 2019) como una transformación que permite modificar directamente el tamaño de un objeto y se puede realizar de manera uniforme (conservando las proporciones del objeto) o no uniforme (modificando las dimensiones de manera diferente a lo largo de cada eje). La matriz de escalado S para un objeto 3D tiene la siguiente forma:

$$S = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde s_x, s_y, s_z son los elementos de escala a lo largo de los ejes x, y, z , respectivamente.

Por otro lado, la rotación (Groosman, 2019) es una transformación que hace girar un objeto alrededor de un eje. Las rotaciones en

3D pueden ser alrededor de los ejes x, y, z , o incluso alrededor de un eje arbitrario. Las matrices de rotación son definidas para cada eje como:

$$R_x(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$R_z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 11})$$

Aquí, θ representa el ángulo de rotación y estas matrices permiten que el objeto gire alrededor del eje especificado. Finalmente, la traslación (Groosman, 2019) permite mover un objeto de una ubicación a otra en el espacio tridimensional. Es un desplazamiento realizado a lo largo de los ejes x, y, z , y la matriz de traslación tiene la siguiente forma:

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde t_x, t_y, t_z son las distancias de traslación a lo largo de los ejes x, y, z , respectivamente.

En la realidad aumentada, los objetos virtuales se posicionan y alinean correctamente dentro del espacio físico (Groosman, 2019). Esto generalmente

requiere la composición de transformaciones. Por ejemplo, si se va a escalar, rotar y trasladar un objeto, las transformaciones se combinan multiplicando sus respectivas matrices. Si T, R y S son las matrices de traslación, rotación y escala, respectivamente, la matriz de transformación compuesta es:

$$M_{final} = T \cdot R \cdot S \quad (\text{Ec. 13})$$

Esto garantiza que las transformaciones se apliquen en el orden correcto para lograr la posición, orientación y tamaño deseados del objeto en el espacio.

Además de las transformaciones geométricas, otro aspecto importante de la RA es el cálculo de la posición de objetos para su aproximación como en el mundo real. Esto puede implicar el uso de cámaras y sensores para obtener la ubicación y orientación del dispositivo en el espacio. Los parámetros son empleados para estimar las operaciones capaces de calcular las matrices de transformación, logrando obtener objetos en 3D similares al entorno real.

Es decir, en la RA se busca que los objetos virtuales sean lo más parecido a los del entorno real. Para lograr lo anterior, en muchos casos se realiza la calibración de las cámaras, determinando parámetros intrínsecos como la distancia focal, pruebas de mediciones e incluso el uso de filtros para el procesamiento de imágenes. Por otro lado, se deben considerar algunos parámetros extrínsecos como la posición y orientación de la cámara, para tener un modelo preciso. Posteriormente, se usan algoritmos que permiten la reconstrucción de los objetos en

3D para obtener una representación de los objetos y del entorno, detalles que en muchos programas ya son integrados actualmente. En conclusión, desde un punto de vista matemático, la realidad aumentada emplea indirectamente de las matemáticas mediante las matrices de transformación para modelar los objetos virtuales.

Así la RA ha sido incorporada en ámbitos educativos y ha permitido la interacción del usuario para facilitar el aprendizaje, proporcionando experiencias motivadoras y significativas (Kleftodimos y Evagelou, 2025). Por lo tanto, en este trabajo se incorpora a la RA en una aplicación móvil que permite el uso de un traductor automático y combinar un juego basado en RA. Este juego es un memorama combinado con un rompecabezas. Tiene como objetivo promover y motivar el aprendizaje cognitivo, constructivo e interactivo para los aprendientes de lenguas indígenas. El juego combina lo tecnológico con el uso de cartas físicas, donde los jugadores deben buscar las piezas de la figura de un animal y armarla, finalmente, el usuario puede escanear la figura y modelarla mediante el uso de la RA experimentando la animación, los sonidos y el realismo con fines de aprendizaje y juego.

La figura basada en RA es proyectada en la pantalla del dispositivo, donde no solo cobra vida en formato 3D, sino que también emite sonidos y animaciones desde diferentes perspectivas. En esta aplicación, se implementan cartas de diversos animales como el chivo, el pato, el toro, el cerdo, el caballo, el gato, la vaca y el conejo, cada uno con su figura y su nombre en hñähñu, respectivamente (ver Figura 7).



Figura 7. Conjunto de animales para juego de realidad aumentada.

Fuente: elaboración propia.

El juego desarrollado para la aplicación móvil tiene dos principales objetivos. Por un lado, busca que el usuario pueda ejercitar la memoria visual, ya que debe recordar la ubicación y las características de las figuras de las cartas para completar el rompecabezas. Por otro lado, busca fomentar el aprendizaje cognitivo, constructivo e interactivo, ya que los jugadores no solo deben recordar las cartas, sino también resolver el rompecabezas, adquiriendo el conocimiento sobre el animal representado. En suma, la visualización de figuras de animales mediante RA ofrece la oportunidad de agregar aspectos como el sonido, los animales, la lengua indígena, entre otros.

Por lo tanto, el juego presentado mediante la aplicación es capaz de combinar e incentivar de manera simultánea el uso de la tecnología con juegos tradicionales, la realidad aumentada, el juego del memorama y el juego del rompecabezas. De esta forma, se busca estimular las habilidades cognitivas, es decir, la capacidad mental que usa el ser humano para procesar, pensar, percibir, almacenar y usar la información. Además, mediante el uso de RA se busca obtener un aprendizaje

dinámico y atractivo al involucrar activamente a los jugadores mediante el uso de la tecnología y la interacción. Por lo que, la aplicación combina la parte cognitiva, constructiva e interactiva, que permite a las personas no solo absorber información pasivamente, sino también construirla y aplicarla activamente en la práctica.

Incorporar a la RA en este juego mixto presentado que combina el juego de memoria y el juego del rompecabezas se considera una herramienta educativa innovadora que promueve el aprendizaje mediante el juego activo que busca ofrecer una experiencia interactiva y multisensorial. Se considera también que este tipo de juego promueve el aprendizaje mediante la motivación y da paso al desarrollo de habilidades cognitivas, haciendo del aprendizaje una actividad más atractiva y efectiva (véase la Figura 8).



Figura 8. Imagen del conejo en realidad aumentada para el juego desarrollado.
Fuente: elaboración propia.

VI. Resultados y discusión

Como parte de los resultados se evaluaron las siguientes competencias considerando los objetivos planteados. Primero, considerando el marco teórico, que considera la estructura conceptual que comprende el contexto o el tema que se está estudiando, es importante debido a que es necesario definir un proceso de intervención y diseño de un modelo. En cuanto a la planificación, se basó en una evaluación diagnóstica, esta etapa se llevó a cabo el diseño, la programación y la funcionalidad de la aplicación bajo la guía del docente, esperando que los alumnos usen la aplicación. Esto incluye la descripción del proceso de intervención, el diseño del modelo, el tipo de proyecto, las tareas requeridas, los recursos, como la capacidad de reprogramar la aplicación y adaptarlo a otros lenguajes, incluso considerar áreas de oportunidad y el cronograma de trabajo.

Considerando la ejecución, en esta fase se centra en los experimentos prácticos que realizan los alumnos con el apoyo del docente. Es la fase más larga y requiere el desarrollo de competencias tanto genéricas como especializadas considerando las

motivaciones e incluso el modelo del salón de clases.

Finalmente, en la etapa de evaluación se realizó un juicio de valor en los contextos educativos y de aprendizaje. El objetivo de esta etapa es identificar lo aprendido, los logros y las áreas de oportunidad. Cabe mencionarse que se emplea la evaluación continua que buscan lograr el desarrollo de las habilidades cognitivas, el pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes y las motivaciones intrínsecas y extrínsecas de cada uno de ellos.

En la fase de evaluación, los alumnos usaron la aplicación para ser evaluados de si aprendieron o no las palabras presentadas mediante la aplicación diseñada para el aprendizaje de las lenguas indígenas, así como sus destrezas y habilidad en los juegos de memoria y del rompecabezas. El objetivo fue recopilar datos del rendimiento y de las experiencias con la aplicación de los alumnos a través de su uso, considerando si los alumnos habían ganado o perdido el juego y responder preguntas para evaluar si los temas tratados eran nuevos. La mayoría de los alumnos indicaron estar familiarizados con los aspectos teóricos y la gramática de las partes del cuerpo y los animales presentados.

Además, se realizó una encuesta a los estudiantes con el fin de que calificaran el nivel de satisfacción general con los componentes teóricos y prácticos de la aplicación presentada. Las calificaciones fueron positivas, obteniendo que más del 80% de los estudiantes aprobaron la aplicación presentada. Esto es, 68 de 83 alumnos y alumnas del programa de Licenciatura en Ciencias Computacionales del Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías de la UAEH (durante el semestre agosto-diciembre de 2024), ofrecieron comentarios positivos y favorables de la aplicación presentada (véase la Figura 9).

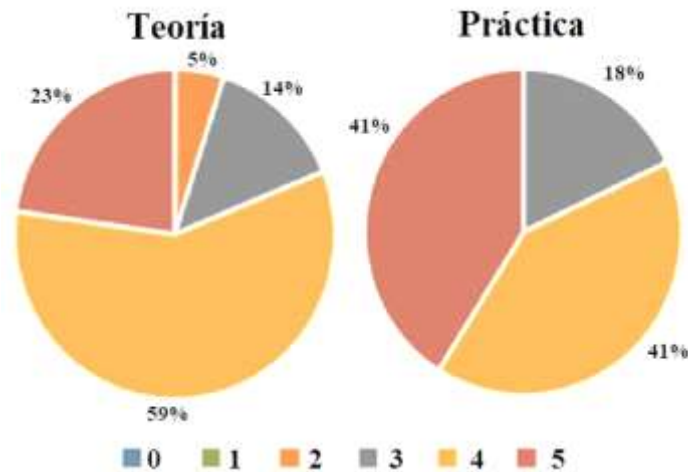


Figura 9. Resultados estadísticos del proceso de aprendizaje con la aplicación móvil.
Fuente: elaboración propia.

Este hallazgo es significativo, ya que los beneficios que suelen atribuirse a los juegos educativos suelen provenir de la actitud de los participantes hacia la actividad, más que del contenido o las reglas en sí. En respuesta a las necesidades de aprendizaje, se prevé que el modo "Repaso" incluya una opción para ocultar o mostrar los nombres escritos de las palabras. Esta función puede ayudar que las figuras no interfieran con la percepción auditiva en mazahua y hñähñu, para el aprendizaje mediante un repertorio de animales y partes del cuerpo, incluso si la aplicación se extiende a otra clase de palabras como colores, alimentos, integrantes de la familia, entre otros.

Cabe señalar que en los trabajos mencionados que se han centrado en herramientas informáticas para el aprendizaje de idiomas. Sin embargo, este estudio destaca por utilizar una aplicación móvil interactiva para obtener resultados cuantificables mediante un método científico. El aprendizaje de las partes del cuerpo, por ejemplo, puede abordarse como una transacción (Da Silva et al., 2005), lo que subraya la necesidad de métodos interactivos en el aprendizaje de idiomas. Esto implica el uso de la aplicación demuestra que es capaz

de llevar a cabo la traducción de partes del cuerpo mediante el uso de voz.

VII. Conclusiones

Este artículo se presentó el desarrollo de una aplicación móvil diseñada para el aprendizaje de un corpus de las lenguas indígenas mediante un juego basado en la realidad aumentada y un traductor automático para mazahua y hñähñu. El juego y el traductor buscan promover el aprendizaje cognitivo, constructivo e interactivo entre el usuario y la aplicación, sumando la realidad aumentada. El fin es crear un entorno de aprendizaje lúdico y efectivo. Además, el desarrollo de esta aplicación móvil combina elementos de aplicaciones móviles, realidad aumentada, ciencias del juego y la didáctica de lenguas para un corpus de palabras de animales y partes del cuerpo.

La aplicación es puesta a prueba mediante experiencias de uso con los estudiantes universitarios de la carrera de Ciencias Computacionales, que interactuaron con el juego basado en la realidad aumentada y el traductor automático. Los resultados demostraron que la aplicación tiene el potencial y la capacidad para facilitar la experiencia de aprendizaje mediante el uso de

los juegos para la preservación de las lenguas indígenas. Los resultados obtenidos fueron favorables, sin embargo, existen trabajos futuros que incluye la incorporación de nuevas secciones y áreas que aborden otros temas, así como palabras básicas que incluyen colores, miembros de la familia y el uso de verbos.

Sin embargo, la aplicación presenta algunas ventajas como una interfaz multimodal que promueve la comunicación no verbal y verbal. La aplicación móvil hace uso de transformers para el traductor que permite una traducción más rápida y efectiva. Incluso, se combinan los juegos tradicionales con el uso de nuevas tecnologías como la realidad aumentada para integrar a los animales mediante animaciones, sonidos y movimientos. Lo que brinda mejores experiencias basadas en el uso de la tecnología y la gamificación aplicada en el aprendizaje de lenguas en una aplicación móvil.

Por otro lado, se fomenta el aprendizaje activo y cognitivo mediante la aplicación móvil, ya que existe la interacción bidireccional, es decir, existe respuesta de parte de la aplicación que depende del usuario. Lo anterior, contrasta con los enfoques tradicionales y conductistas de enseñanza, donde el usuario solo repite, por lo que, se enfoca en emplear nuevos modelos de aprendizaje basado en la literacidad mediática multimodal y las competencias del siglo XXI, considerando el aprendizaje como un proceso activo, constructivo e interactivo. Desde una perspectiva orientada en la enseñanza de lenguas, la aplicación busca promover las competencias lingüísticas y comunicativas, ofreciendo experiencias interactivas y contextualizadas que facilitan la adquisición de las lenguas indígenas.

Finalmente, la aplicación tiene enfoque constructivista e interaccionista donde se

resalta el papel del alumno y el docente como facilitador y guía, proporcionando a los estudiantes la libertad de explorar el entorno tecnológico construyendo el conocimiento de forma autónoma y puede recibir el apoyo oportuno según las necesidades. Desde esta perspectiva, la interacción entre los estudiantes, el docente y la aplicación móvil resulta fundamental, especialmente considerando los recientes avances tecnológicos como la realidad aumentada, las aplicaciones móviles y el uso de la inteligencia artificial, las cuales se han ido integrando en los nuevos modelos educativos.

Referencias

Alejandro García, S., & Guzmán Mendoza, R. (2016). Conocimiento tradicional asociado al uso de plantas medicinales en migrantes mazahuas de una comunidad indígena de San José del Rincón, Estado de México, *Huellas de Migración*, 1, 195-220.

Avelino Sierra, R. (2022). Marcadores discursivos del español en narraciones otomíes: Primeras observaciones. *Boletín de Filología*, 57(1), 175–207. <https://boletinfilologia.uchile.cl/index.php/BDF/article/view/67532>

ANENOR. (2000). UNE EN ISO 13407 Procesos de diseño para sistemas interactivos centrados en el operador humano (ISO 13407: 1999). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0023082>

Annet, K. A. (2024). Language Preservation: Strategies for Indigenous Languages. *NEWPORT INTERNATIONAL JOURNAL OF CURRENT ISSUES IN ARTS AND MANAGEMENT*, 5(3), 1–4. <https://doi.org/10.59298/nijciam/2024/5.3.14100>

Baashar, Y., Alkaws, G., Wan Ahmad, W. N., Alomari, M. A., Alhussian, H., & Tiong, S. K. (2023). *Towards Wearable Augmented Reality in Healthcare: A Comparative Survey and Analysis of Head-Mounted Displays*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 3940. <https://doi.org/10.3390/ijerph20053940>

Benítez Reyna, Rufino. (2017). Vocabulario práctico bilingüe Mazahua-Español, Colección Vocabularios en Lenguas Indígenas, Mexico. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/192866/cdi-vocabulario-mazahua-rufino-benitez-reyna-web.pdf>

Brooke, J. (1995). SUS: A quick and dirty usability scale. En P. W. Jordan, B. Thomas, I. L. McClelland, B. Weerdmeester (Ed.), *Usability Evaluation in Industry*. CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781498710411-35/sus-quick-dirty-usability-scale-john-brooke>

Carrino, M., Orozco, J., & García, E. (2020). Machine translation as a solution for linguistic corpora limitations in Spanish: An application to relation extraction. *Journal of Computational Linguistics*, 36(2), 112-126. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-0139-x>

Castro, L. A., Tentori Espinosa, M. E., Favela Vara, J., Rodríguez Urrea, M. D., Sánchez, J. A. (2017). Interacción Humano Computadora. En L. A. Pineda Cortés (Ed.), *La Computación en México por Especialidades Académicas* (pp. 195-231). Academia Mexicana de Computación, A. C. <http://www.amexcomp.org.mx/files/libro/Cap%206.pdf>

Celote Preciado, A. (2025). *El mundo mazahua y la construcción de interculturalidad*. Gobierno del Estado de México.

<https://uiem.edomex.gob.mx/sites/uiem.edomex.gob.mx/files/files/FONDO%20EDITORIAL%20UIEM/Fondo%20Editorial/EI%20mundo%20Mazahua%20-%20digital.pdf>

Collado-Vázquez, S. (2024). *Realidad virtual, realidad aumentada y medicina en la literatura, el cine y la televisión*. *Revista de Medicina y Cine*, 20(2), 147–157. <https://doi.org/10.14201/rmc.26044>

Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. (2005). *Acciones de Gobierno para el Desarrollo Integral de los Pueblos Indígenas*. https://www.inpi.gob.mx/2021/dmdocument/s/CDI_informe_2005.pdf

Cruz, A. (2015). El diseño centrado en el usuario (DCU). <https://alexacruzhdmo.wordpress.com/2015/07/15/el-diseno-centrado-en-el-usuario-dcu/>

Cruz-Carrillo, D. A., Peña-González, J., Tovar-Meléndez, L. M., & Herrera-González, A. M. (2024). *Effect of microalgae addition in broiler chicken diets on productive parameters*. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 6(11), 79–88. <https://doi.org/10.29057/jas.v6i11.12352>

Cunalata Amuguimba, C. J. (2020). *Desarrollo de una aplicación móvil que facilite el aprendizaje de la lengua Kichwa*. [Tesis de Grado]. Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21103>

Da Silva, G. C., M. H., Signoret D. A., *Temas sobre la adquisición de una segunda lengua*, Trillas, México, 2005.

De la Cruz-Sánchez, G., & De la Cruz, C. (2024). A day in the cornfields: A Western Otomi narrative. *Tlalocan: Revista de fuentes para el conocimiento de las culturas indígenas de México*, 29(1), 93–119.

<https://doi.org/10.19130/iifl.tlalocan.2024.1.0001S0W698X24>

Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *NAACL-HLT 2019* (pp. 4171-4186).
<https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>

Escorza-Sánchez, Y.M., Martínez-Martín, G., Saldaña-Tapia, Y., Maldonado-Catalán, O. (2018). Aplicación móvil para reforzar el aprendizaje de la lengua Hñähñu. *Revista de Tecnología y Educación*, 2(6), 23-31.
https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Tecnologia_y_Educacion/vol2num6/Revista_de_Tecnolog%3%ada_y_Educaci%3%b3n_V2_N6_4.pdf

Flutter. (2020). Flutteres el kit de herramientas de interfaz de usuario de Google.
<https://flutter.dev/?gclid=EAIAIQobChMIkpSp07ez6AIVrYFaBR3LAWQvEAA>
YASAAEgLkBFd_BwE

Fuentes Cortes, W., Reyes Jiménez, S., & Sánchez González, R. (2022). Aplicación móvil para el fomento, fortalecimiento y preservación del idioma indígena Zapoteca (Diidxazá). *Revista De Investigación En Tecnologías De La Información*, 10(22), 92–102. <https://doi.org/10.36825/RITI.10.22.007>

García-Méndez, S., Fernández-Gavilanes, M., Costa-Montenegro, E., Juncal-Martínez, J., & González-Castaño, F. J. (2024). A Library for Automatic Natural Language Generation of Spanish Texts. arXiv preprint arXiv:2405.17280.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.036>

Geman, S. & Johnson, M. (2004). Probability and Statistics in Computational Linguistics, a Brief Review. En *Mathematical Foundations of Speech and Language Processing* (Vol.

138). Springer. DOI: 10.1007/978-1-4419-9017-4_1

Gobierno de México. (2022). Preservar las lenguas indígenas de México, prioridad y compromiso ético del INPI. Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. Recuperado de <https://www.gob.mx/inpi/articulos/preservar-las-lenguas-indigenas-de-mexico-prioridad-y-compromiso-etico-del-inpi>

González Orozco, D. D., y García Trillo, M. Á. (2021). Diseño y construcción de una aplicación móvil para fomentar el uso y aprendizaje de la lengua P'urhépecha, Procesamiento de lenguaje natural para lenguas indígenas (pp. 95-111). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23936.97287>

Grossman, S. I. (2019). Álgebra lineal (8.^a ed.). McGraw-Hill.
https://books.google.com.mx/books/about/%C3%81lgebra_lineal_8a_ed.html?id=wUE0yQEACAAJ&redir_esc=y

Gutiérrez Arriaga, O. F., & Alvarado Rodríguez, M. E. (2024). La importancia social y jurídica de la conservación de las lenguas indígenas en la Ciudad de México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5 (5), 1133 – 1148.
<https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2650>

Hernández Cruz, L., Victoria Torquemada, M. y Sinclair Crawford, D. (2010) Diccionario del Hñähñu (Otomí) del Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo (Segunda edición electrónica). Instituto Lingüístico de Verano, A.C., México.
<http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Valle-Del-Mezquital-Diccionario-Hnahnu.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2025). *Estadísticas a propósito del Día Internacional de los Pueblos Indígenas*. [Comunicado de prensa 115/25]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/salade prensa/aproposito/2025/EAP_PuebIndig_25.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020: Principales resultados*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/Censo2020_Principales_resultados_EUM.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2025). *Banco de Indicadores*. https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?ind=6200240454&tm=6#D6200240454_132#D6200240454_132#D6200240361_132

Instituto Nacional de Lenguas Indígenas. (2008). *Catálogo de las lenguas indígenas nacionales: Variantes lingüísticas de México con sus autodenominaciones y referencias geoestadísticas*. Diario Oficial de la Federación. https://www.inali.gob.mx/pdf/CLIN_completo.pdf

Instituto Nacional de Lenguas Indígenas. (2010). *Norma de escritura de la Lengua Hñähñu (otomí)*. https://site.inali.gob.mx/Micrositios/normas/pdf/Norma_Otomi.pdf

Javed, A., Zan, H., Mamyrbayev, O., Abdullah, M., Ahmed, K., Oralbekova, D., Dinara, K., & Akhmediyarova, A. (2025). Transformer-Based Re-Ranking Model for Enhancing Contextual and Syntactic Translation in Low-Resource Neural Machine Translation. *Electronics*, 14(2), 243. <https://doi.org/10.3390/electronics14020243>

Kleftodimos, A., y Evagelou, A. (2025). Realidad aumentada basada en la ubicación en la educación. *Enciclopedia*, 5 (2), 54. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia5020054>

Kumar, S. (2017). Relation extraction in the healthcare industry: Approaches and challenges. *International Journal of Medical Informatics*, 98, 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2016.11.003>

Liu, Y., Ott, M., Goyal, N., Du, J., Wang, Y., & Yiming, L. (2019). RoBERTa: A robustly optimized BERT pretraining approach. arXiv preprint arXiv:1907.11692. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1907.11692>

Marrahi-Gomez, V., & Belda-Medina, J. (2023). *The Integration of Augmented Reality (AR) in Education*. *Advances in Social Sciences Research Journal*, 9(12), 475–487. <https://doi.org/10.14738/assrj.912.13689>

Martínez, C. (2012). Estadística y muestreo (13ra Ed.). Ecoe Ediciones <https://ies-booklick.s3.amazonaws.com/1626728222781-Estadistica-MuestreoCiro1-198.pdf>

Mora Bustos, A., Ortiz Villegas, A. I., García Zúñiga, H. A., & Hernández Hernández, N. (2023). Clases de adposiciones en tres lenguas otomangués. *Cuadernos de Lingüística de El Colegio de México*, 10, 1–46. <https://doi.org/10.24201/clecm.v10i00.272>

Muñoz García, R. (2018). Aplicación móvil para el aprendizaje de la lengua náhuatl [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Guerrero. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/279?locale-attribute=en>

Narciso Farias, F. E., Rodríguez, T. J. (2001). La Interacción Humano-Computadora (MODIHC). XXVII Conferencia

Latinoamericana de Informática (CLEI). Mérida, Venezuela. <https://erevistas.saber.ula.ve/index.php/academia/article/download/5920/5724>

Nasar, M., Raj, K., & Jha, R. (2021). Linguistic tools for relation extraction: A review of syntactic analysis and segmentation. *Journal of Computational Science*, 28, 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2020.09.010>

Olko, J., Lubiewska, K., Maryniak, J., Haimovich, G., de la Cruz, E., Cuahutle Bautista, B., Dexter-Sobkowiak, E., & Iglesias Tepec, H. (2022). The positive relationship between Indigenous language use and community-based well-being in four Nahua ethnic groups in Mexico. *Cultural Diversity & Ethnic Minority Psychology*, 28(1), 132-143. <https://doi.org/10.1037/cdp0000479>

Payán Díaz, M., & Flores Flores, J. A. (2025). No me llamo María: El género y el racismo en la mujer Mazahua. *QVADRATA. Estudios Sobre educación, Artes y Humanidades*, 7(14), 61-73. <https://doi.org/10.54167/qvadrata.v7i14.1948>

Pawar, V., Patil, V., & Joshi, M. (2017). Supervised learning for relation extraction: Morphological, syntactic, and lexical considerations. *Natural Language Engineering*, 23(5), 829-845. <https://doi.org/10.1017/S135132491700016X>

Pickett, V. (2013). Vocabulario Zapoteco del Istmo. Instituto Lingüístico de Verano. https://www.sil.org/system/files/reapdata/47/57/69/47576984555300844250765337113555205633/zai_vocabulario_ed5.2.pdf

Pilicita, A. y Barra, E. (2025). Maestrías en Derecho en Educación: Evaluación de los modelos GPT y BERT en la clasificación de comentarios de los estudiantes. *Tecnologías Multimodales e Interacción*, 9 (5), 44. <https://doi.org/10.3390/mti9050044>

Porta Zamorano, J. & Sancho Sánchez, J.L. (2021). Procesamiento de lenguaje natural aplicado a datos masivos generados en medios sociales. *RSEL*, 51(2), 111-124. <https://doi.org/10.31810/RSEL.51.2.7>

Rodríguez, A., & Pérez, M. (2023). El impacto de la realidad aumentada en la experiencia museística. *Revista de Arte y Cultura Digital*, 5(1), 22-37.

Salgado Naime, F. Y., Morales Sales, E. S., & Salgado Vega, J. (2024). Indumentaria, identidad y roles de género en los mazahuas: Mujeres indígenas vistiendo la resistencia, hombres tejiéndola. *Chakiñan*, 2(25), 1-25. <https://doi.org/10.37135/chk.002.25.11>

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)* (pp. 6000-6010). Curran Associates, Inc. <https://doi.org/10.5555/3295222.3295349>

Villalobos López, J. A. (2024). *Marco teórico de realidad aumentada, realidad virtual e inteligencia artificial: Usos en educación y otras actividades*. *Emerging Trends in Education*, 6(12), 1-17. <https://doi.org/10.19136/etie.a6n12.5695>

Virmani, A., Gupta, R., & Sharma, P. (2017). Application of relation extraction in pharmaceutical chemistry and law. *Journal of AI and Data Science*, 31(3), 202-211. <https://doi.org/10.1016/j.jdsci.2017.04.009>