

Desarrollo de aplicación de realidad aumentada móvil para el aprendizaje de Lengua de Señas Mexicana.

Development of a mobile augmented reality application for learning Mexican Sign Language

Carlos Hurtado-Sánchez ^{a,*}, José R. Cárdenas-Valdez ^a, Andrés Calvillo-Téllez ^b

^a TECNM/IT de Tijuana, Blvd. Industrial s/n, Cd. Industrial, 22435, Tijuana, Baja California, México.

^b Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital, Instituto Politécnico Nacional, 22430, Tijuana, Baja California, México.

Resumen

El surgimiento de las aplicaciones móviles de realidad aumentada (RA) ha representado una herramienta novedosa en el ámbito educativo, brindando nuevas modalidades de aprendizaje interactivo y de fácil acceso. En este sentido, este trabajo presenta el diseño y desarrollo de una aplicación móvil de RA diseñada específicamente para el aprendizaje básico de la Lengua de Señas Mexicana (LSM). Esta aplicación integra elementos visuales con el fin de facilitar la comprensión y práctica de la LSM, permitiendo a los usuarios interactuar con modelos virtuales en tiempo real. De esta manera, se pretende mejorar la accesibilidad y efectividad del aprendizaje de la LSM, fomentando la inclusión y diversidad lingüística.

Palabras Clave: Realidad Aumentada, Desarrollo de aplicaciones móviles, Lengua de Señas Mexicana.

Abstract

The emergence of mobile augmented reality (AR) applications has introduced a novel tool in the educational field, providing new modalities of interactive and easily accessible learning. In this regard, this work presents the design and development of a mobile AR application specifically designed for the basic learning of Mexican Sign Language (LSM). This application integrates visual elements to facilitate the understanding and practice of LSM, allowing users to interact with virtual models in real time. In this way, it aims to improve the accessibility and effectiveness of LSM learning, promoting inclusion and linguistic diversity.

Keywords: Augmented Reality, Mobile applications development, Mexican Sign Language.

1. Introducción

En México de acuerdo con un censo realizado por el INEGI en 2023 (INEGI, 2023) hay 20,838,108 personas que viven con algún tipo de discapacidad o limitación; de estas personas aproximadamente 2.3 millones padecen discapacidad auditiva de las cuales más del 50 por ciento son mayores de 60 años; poco más de 34 por ciento tienen entre 30 y 59 años y cerca de 2 por ciento son niñas y niños.

La Convención Internacional Sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (2008) define la discapacidad como un concepto dinámico que surge de la interacción entre personas con deficiencias y las barreras actitudinales y

ambientales que impiden su plena y efectiva participación en la sociedad en igualdad de condiciones con los demás.

Según las Naciones Unidas se entiende por "lenguaje" tanto el lenguaje oral como la lengua de señas y otras formas de comunicación no verbal. Para garantizar la accesibilidad, se necesitan lectores o intérpretes profesionales de lengua de señas que faciliten el acceso a edificios y otras instalaciones públicas. Para asegurar la libertad de expresión, opinión y acceso a la información, es esencial aceptar y facilitar el uso de la lengua de señas, el Braille, y otros modos, medios y formatos de comunicación aumentativos y alternativos, permitiendo que las personas con discapacidad elijan cómo comunicarse en situaciones oficiales. Es crucial reconocer y promover el uso de la lengua de señas.

*Autor para la correspondencia: carlos.hurtado@tectijuana.edu.mx

Correo electrónico: carlos.hurtado@tectijuana.edu.mx (Carlos Hurtado-Sánchez), jose.cardenas@tectijuana.edu.mx (José Ricardo Cárdenas-Valdez), acalvillo@ipn.mx (Andrés Calvillo-Téllez).

Historial del manuscrito: recibido el 30/06/2024, última versión-revisada recibida el 14/08/2024, aceptado el 22/08/2024, publicado el 30/11/2024. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial4.1331>



En el ámbito educativo, es importante facilitar el aprendizaje de la lengua de señas y promover la identidad lingüística de las personas. Para hacer efectivo este derecho, los Estados Parte deben tomar medidas para emplear a maestros, incluyendo aquellos con discapacidad, que estén capacitados en lengua de señas o Braille, y formar a profesionales y personal en todos los niveles educativos. Esta formación debe incluir conciencia sobre la discapacidad y el uso de modos, medios y formatos de comunicación aumentativos y alternativos apropiados, así como técnicas y materiales educativos para apoyar a las personas con discapacidad.

Según (Radu, 2014), la realidad aumentada (RA) mejora la comprensión y el entendimiento, además de favorecer la retención en la memoria a largo plazo. También fomenta la colaboración y la motivación entre los estudiantes. Asimismo, (Gomez, 2020) señala que la RA promueve actitudes más positivas hacia la materia en la que se utiliza, potenciando la comunicación colaborativa y el pensamiento crítico para resolver problemas.

En cuanto a la participación en la vida cultural, actividades recreativas, esparcimiento y deporte, las personas con discapacidad tienen derecho, en igualdad de condiciones con los demás, al reconocimiento y apoyo de su identidad cultural y lingüística específica, incluyendo la lengua de señas y la cultura sorda.

Los modelos de RA son una alternativa para lograr el aprendizaje de LSM de una manera dinámica e interactiva, el modelo a utilizar en esta ocasión se implementa mediante superponer información digital y visual en el mundo real mediante la utilización de un dispositivo móvil, específicamente los usuarios podrán colocar su dispositivo móvil sobre algunas señas y palabras registradas en una base de datos del programa, al identificar el teléfono la seña aparecerá un video en la aplicación en el cual se mostrará a una persona haciendo los movimientos utilizados para representar esa seña o palabra.

1.1. Lengua de Señas Mexicana

La Lengua de Señas Mexicana (LSM) es el idioma utilizado por las personas con discapacidad auditiva en México. Como cualquier lengua, tiene su propia sintaxis, gramática y léxico.

En la actualidad, la vida humana sería incomprensible sin la capacidad de acceder a la información que se genera constantemente en todos los ámbitos. La comunicación oral es la forma más común que permite a las personas participar en todos los entornos sociales. Sin embargo, cuando una persona nace o adquiere una discapacidad auditiva, su capacidad de lograr una verdadera integración social se ve significativamente limitada.

La dificultad de las personas con discapacidad auditiva para comunicarse con los demás afecta su desarrollo educativo, profesional y personal, lo que limita sus oportunidades de inclusión. Ante esta necesidad, las personas con discapacidad auditiva han desarrollado su propio medio de comunicación: la LSM. No obstante, aunque esta lengua les permite

comunicarse entre ellos, no siempre facilita la interacción con el resto de la comunidad, especialmente con los oyentes que desconocen esta lengua.

La LSM (Gobierno de México, 2016) se compone de signos visuales con una estructura lingüística propia, con la cual las personas con discapacidad auditiva en México se identifican y expresan. Para la mayoría de aquellos que nacieron con discapacidad auditiva o perdieron la audición en su infancia o juventud, esta es la lengua en la que articulan sus pensamientos y emociones, satisfaciendo sus necesidades comunicativas y desarrollando al máximo sus capacidades cognitivas mientras interactúan con el mundo que los rodea.

1.2. Dactilología de la LSM

La LSM está formada por la dactilología y los ideogramas. La dactilología, similar al deletreo en la lengua oral, está principalmente representada en este diccionario mediante el abecedario (Serafin, 2011). Cada palabra puede ser representada mediante la configuración manual correspondiente a cada letra que la compone. Por ejemplo, la palabra "casa" se puede expresar mediante la articulación manual de cada una de sus letras, como se muestra a continuación (Figura 1).



Figura 1: Ejemplo de palabra casa con LSM.

Los ideogramas representan una palabra mediante una o varias configuraciones de la mano. Este concepto abarca casi todos los demás temas del diccionario.

La dactilología es un sistema de señas utilizado en la LSM para deletrear palabras y representar las letras del alfabeto. Este sistema combina movimientos de las manos y los dedos para formar cada letra del alfabeto.

En la LSM, la dactilología se usa principalmente en situaciones donde es necesario deletrear nombres propios o palabras que no tienen un signo específico. También se emplea en contextos educativos para enseñar a los estudiantes cómo deletrear palabras en español.

Este sistema se basa en la posición de la mano y la orientación de los dedos. Por ejemplo, la letra A se muestra con la mano abierta y el pulgar, índice y dedo medio extendidos, mientras que la letra B se muestra con la mano cerrada, el pulgar y el índice extendidos, y los otros dedos doblados (Figura 2).

Es fundamental destacar que la dactilología es solo una parte de la LSM, que es un lenguaje completo y complejo con su propia gramática y vocabulario. Aunque es útil en situaciones específicas, para comunicarse eficazmente en LSM

se necesita un entendimiento completo del idioma en su totalidad.

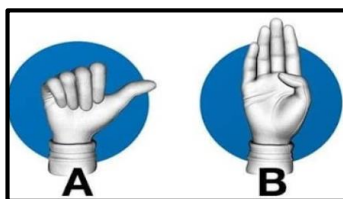


Figura 2: Ejemplo de la letra A y la letra B.

2. Análisis de requerimientos

Para esta aplicación se realizó un estudio de los requerimientos funcionales, no funcionales, los requerimientos técnicos, así como la metodología de diseño del usuario. Como se realizó en trabajos anteriores (Hurtado, 2023) la metodología propuesta para el desarrollo de la aplicación móvil es el Diseño Centrado en el Usuario (DCU) (Abrás, 2004).

El diseño centrado en el usuario consta de 4 etapas, 1) Entender el contexto del usuario, 2) Especificar los requerimientos del usuario, 3) Diseñar soluciones, 4) Evaluar los resultados (Figura 3).



Figura 3: Diseño Centrado en el Usuario.

Para el desarrollo de la aplicación se utiliza Unity que es un motor de desarrollo de videojuegos y una plataforma de creación de aplicaciones en 2D y 3D. Unity proporciona un entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite a los desarrolladores crear, editar, visualizar y probar sus proyectos de manera eficiente.

Unity emplea C# como lenguaje principal para la elaboración de scripts. C# es un lenguaje de programación moderno, orientado a objetos y sólido, que facilita a los desarrolladores la creación de experiencias interactivas complejas y optimizadas. Algunos de los conceptos clave que proporciona C# a Unity es que se pueden elaborar scripts que se adjuntan como componentes y GameObjects entre otras funcionalidades.

Para la implementación de Realidad Aumentada (RA) en Unity se utilizó Vuforia que es una plataforma de RA que proporciona un conjunto de herramientas y bibliotecas que permiten a los desarrolladores incorporar fácilmente capacidades de RA en sus aplicaciones móviles, aplicaciones industriales y otros proyectos.

Para comprender el contexto del usuario y especificar sus requerimientos, se llevó a cabo una investigación que incluyó el análisis de varios recursos: el Diccionario de Lengua de Señas Mexicana de la Ciudad de México (2017), el Manual de Lengua de Señas Mexicana del DIF (2018), y Lengua de Señas Mexicana en Baja California (2021). En estos documentos, se examinaron aspectos como información básica sobre la comunidad con discapacidad auditiva y su cultura, detalles fundamentales sobre la LSM, y sus características distintivas.

Además, se asistió a cursos básico de LSM, se llevaron a cabo conversaciones con docentes de la carrera de educación inclusiva de la Escuela Normal Fronteriza y se revisó una guía de uso de la LSM.

3. Diseño de la aplicación

En base a la propuesta básica previa (Hurtado, 2023), se ha mantenido el enfoque del diseño centrado en el usuario para continuar con el desarrollo de la aplicación, debido a que se ha realizado un estudio más a profundidad se observa que esta arquitectura es efectiva para comprender las necesidades y expectativas de los usuarios finales para crear interfaces intuitivas y fáciles de usar.

3.1. Interfaz de usuario

Unas de las principales modificaciones que se realizó en la aplicación es la pantalla de bienvenida (Figura 4), luego de la retroalimentación obtenida y de analizar más a fondo la aplicación se decidió hacer un cambio para hacerla minimalista y fácil de usar, de esta manera colocamos un icono grande al centro para iniciar a utilizar la cámara para que el usuario inmediatamente después de abrir la aplicación la pueda empezar a utilizar.

En las esquinas cuenta con tres botones: información de la aplicación, instrucciones de uso y el botón de salir.



Figura 4: Pantalla de bienvenida.

La pantalla de información (Figura 5) cuenta con dos botones, el de catálogo te permite descargar una base de datos con las imágenes y palabras que están dadas de alta en la aplicación hasta el momento; el botón de créditos muestra información sobre la aplicación y los involucrados en el proyecto.

La Figura 6 muestra la interfaz de instrucciones, luego de realizar pruebas anteriores y obtener retroalimentación de los usuarios se observó que la interfaz de instrucciones previamente diseñada presentaba algunas confusiones con los usuarios por lo que se tomaron en cuenta esas opiniones y se rediseño para hacerla de fácil comprensión.

3.2. Casos de uso

Luego del rediseño de las interfaces se realizaron unas pequeñas modificaciones a los casos de uso, sin embargo, debido a que por cuestiones de usabilidad se rediseño la aplicación haciéndola más amigable y sencilla de utilizar. Se modificó el caso de uso de la aplicación en general en la pantalla de bienvenida (Figura 7), del submenú de instrucciones, la pantalla principal muestra al usuario y los submenús con los que puede interactuar, siendo el principal el de Usar cámara ya que mediante a él, se implementa el módulo principal de la aplicación que es el de RA.

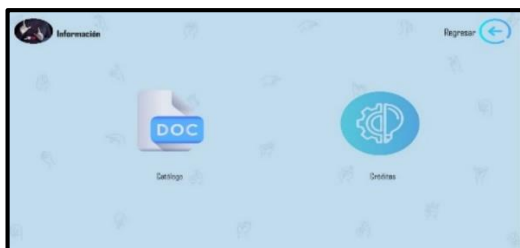


Figura 5: Pantalla de información.



Figura 6: Interfaz de instrucciones.

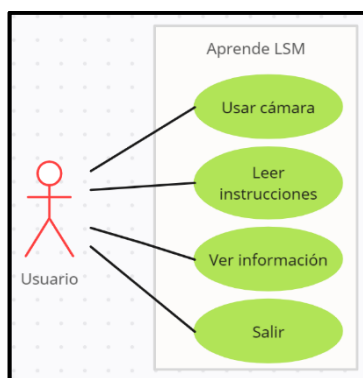


Figura 7: Caso de uso pantalla principal.

3.3. Arquitectura del sistema

Se creó una base de datos de LSM con un total de 586 imágenes que van a ser reconocidas por la aplicación hasta el momento, esto claramente puede ser extensible a cualquier

tema de aprendizaje que se quiera agregar. La Figura 8 muestra algunas de las letras y palabras agregada hasta el momento en la base de datos.

Posteriormente se creó la base de datos de videos, esta base de datos contiene videos cortos de un promedio de cinco segundos, los videos son de letras, números y frases básicas que se enseñan cuando alguien empieza el aprendizaje de LSM. Para la elaboración de los videos se contó con la colaboración de alumnos de la carrera de ingeniería en informática del Instituto Tecnológico de Tijuana y de alumnos de la Escuela Normal Fronteriza de la carrera de Licenciatura en Inclusión Educativa (Figura 9).

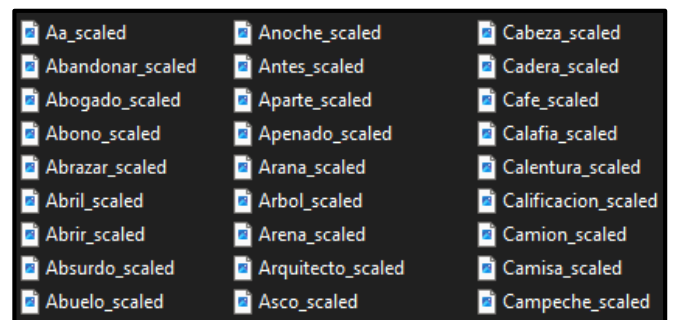


Figura 8: Base de datos de imágenes de LSM.



Figura 9: Base de datos de imágenes de LSM.

La integración de Vuforia con Unity permite el desarrollo de aplicaciones de RA robustas y eficaces. En la Figura 10 se muestra el resultado final después de integrar Vuforia con Unity, lo cual es fundamental para el desarrollo de la aplicación de RA móvil para el aprendizaje de la LSM.

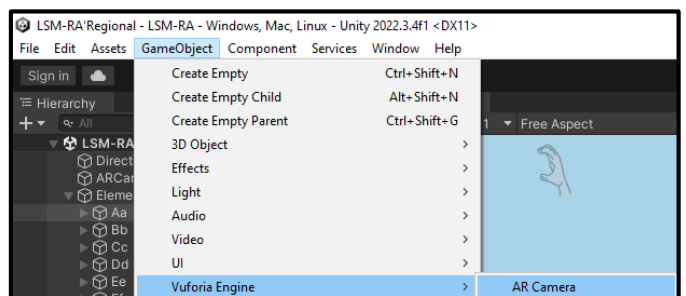


Figura 10: Integración de Vuforia Engine con Unity.

Como requisito previo requiere la instalación de Unity Hub y Unity Editor para finalmente integrar el SDK de Vuforia Engine.

3.4. Accesibilidad de la app

En la parte de accesibilidad como se mostró anteriormente la aplicación en la Figura 6, la aplicación cuenta con instrucciones de usabilidad y a su vez como se muestra en la Figura 5 que se incorporó un catálogo descargable de las palabras y señas que están registradas en la base de datos, con esto todo lo requerido se encuentra en la misma aplicación.

El entorno de desarrollo utilizado para la aplicación Unity tiene compatibilidad con los sistemas operativos para teléfonos celulares y para tabletas Android y iOS, a su vez las aplicaciones desarrolladas en Unity pueden ejecutarse en una gran variedad de consolas de juego como se muestra en la Figura 11.

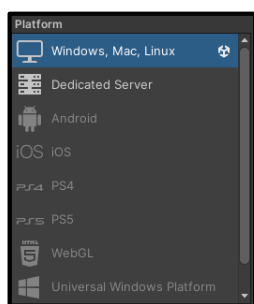


Figura 11: Accesibilidad de Unity.

4. Desarrollo de la aplicación

Como se mostró en la sección dos se instaló el ambiente de desarrollo Unity y para el módulo de Realidad Aumentada se utilizó el SDK de Vuforia como se muestra en la Figura 10, en la sección de programación se utilizó el lenguaje de programación C#. A continuación, se muestran algunos scripts utilizados en la aplicación.

4.1. Scripts de Unity

En este punto explicaremos a detalle los componentes que conforman la aplicación en Unity.

El pseudocódigo que se muestra a continuación es de un script de C# para un componente de Unity llamado "SeleccionarVentana". El objetivo de este script es permitir la selección y visualización de tres ventanas diferentes en la pantalla.

El script contiene cuatro variables `GameObject` que almacenan las referencias a las tres ventanas diferentes que se pueden seleccionar: `VentanaENFT`, `VentanaITT` y `VentanaTemas`.

Además, hay tres variables `Animation` que almacenan referencias a los componentes de animación asociados a cada una de las ventanas.

También hay tres variables booleanas (`VisibleVENFT`, `VisibleVITT`, `VisibleVTemas`) que indican si cada una de las ventanas es visible o no.

El método `Start()` se utiliza para inicializar las referencias a los componentes de animación de las ventanas.

Los tres métodos `VentanaENPulsada()`, `VentanaITPulsada()` y `VentanaTePulsada()` se activan cuando el usuario pulsa en los botones de la pantalla que representan cada una de las ventanas. Cada uno de estos métodos comprueba si la ventana correspondiente ya está visible y, si no lo está, activa su animación para hacerla aparecer en la pantalla.

El método `VentanaNoPulsada()` se activa cuando el usuario pulsa en cualquier parte de la pantalla que no sea uno de los botones de las ventanas. Este método comprueba cuál de las ventanas está actualmente visible y, si es así, activa la animación correspondiente para hacer que desaparezca de la pantalla.

Este script permite al usuario seleccionar y visualizar tres ventanas diferentes en la pantalla de una aplicación de Unity.

A continuación, se muestra el script de `Temas`, este pseudocódigo aplica igual para las variables `ENFT` e `ITT`

Inicio del script:

1. Declarar variables `GameObject` para las ventanas:
 - `VentanaTemas`
2. Declarar variables `Animation` para las animaciones de cada ventana:
 - `AnimacionTemas`
3. Declarar variables booleanas para la visibilidad de cada ventana:
 - `VisibleVTemas`

Método Start:

4. Inicializar referencias a los componentes de animación de las ventanas:
 - `AnimacionTemas = Obtener componente de animación de VentanaTemas`

Métodos para cuando las ventanas son pulsadas:

5. Método `VentanaTePulsada()`:
 - Si `VisibleVTemas` es falso:
 - Activar animación de aparición de `VentanaTemas`
 - Establecer `VisibleVTemas` a verdadero
 - Establecer `VisibleVENFT` y `VisibleVITT` a falso

Método para cuando ninguna ventana es pulsada:

6. Método `VentanaNoPulsada()`:
 - Si `VisibleVTemas` es verdadero:
 - Activar animación de desaparición de `VentanaTemas`
 - Establecer `VisibleVTemas` a falso

Fin del script.

Este segundo script es para un componente de Unity llamado "DescargarCatalogo". El objetivo de este script es

permitir la apertura de un catálogo en línea en un navegador web.

El script contiene un único método público llamado "AbrirCatalogo". Este método se ejecuta cuando se hace clic en un botón asociado al objeto que contiene el componente "DescargarCatalogo".

Dentro del método "AbrirCatalogo", se utiliza la función "Application.OpenURL()" para abrir una URL específica en un navegador web, que apunta a un documento de Google Docs que contiene el catálogo en línea.

Este script permite abrir un catálogo en línea en un navegador web cuando se hace clic en un botón asociado al objeto que contiene el componente "DescargarCatalogo" en nuestra App de Unity.

Inicio del script:

1. Definir el nombre del componente como "DescargarCatalogo".

Declaración del método:

2. Declarar un método público llamado "AbrirCatalogo".

Método AbrirCatalogo:

3. Dentro del método "AbrirCatalogo":
 - Usar la función "Application.OpenURL()" para abrir una URL específica en un navegador web.

Acciones del usuario:

4. El método "AbrirCatalogo" se ejecuta cuando se hace clic en un botón asociado al objeto que contiene el componente "DescargarCatalogo".

Fin del script.

Este último script sirve para un componente de Unity llamado "Salir". El objetivo de este script es permitir que el usuario salga de la aplicación cuando haga clic en un botón asociado al objeto que contiene este componente.

El script contiene un único método público llamado "SalirAp". Este método se ejecuta cuando el jugador hace clic en el botón asociado al objeto que contiene el componente "Salir".

Dentro del método "SalirAp", se utiliza la función "Application.Quit()" para salir de la aplicación. Esta función cierra la aplicación de forma segura y termina el proceso.

En resumen, este script permite que el jugador salga de la app de forma segura cuando hace clic en un botón asociado al objeto que contiene el componente "Salir". Es importante destacar que este script solo funciona en la versión compilada del juego, no en el editor de Unity.

Inicio del script:

1. Definir el nombre del componente como "Salir".

Declaración del método:

2. Declarar un método público llamado "SalirAp".

Método SalirAp:

3. Dentro del método "SalirAp":

- Usar la función "Application.Quit()" para salir de la aplicación de forma segura y terminar el proceso.

Acciones del usuario:

4. El método "SalirAp" se ejecuta cuando el usuario hace clic en un botón asociado al objeto que contiene el componente "Salir".

Notas importantes:

5. Este script solo funciona en la versión compilada de la aplicación, no en el editor de Unity.

Fin del script.

4.2. Implementación de la Realidad Aumentada

Primero debemos agregar un control del tipo image Target que renombramos como Elementos AR, este se encuentra en la columna de la izquierda de la Figura 12 e importará los archivos de trabajo, en este caso la imagen y el video correspondiente a la imagen Aa, para hacer esto, se presiona clic derecho en el image Target llamado Elementos AR y agregamos un plano que renombramos como Aa, este primer ejemplo aplica para el reconocimiento de la letra A y al reconocerla muestre el video de como se hace la seña en LSM.



Figura 12: Configuración de módulo de realidad aumentada.

En el Inspector localizado en la columna de la derecha de la Figura 12 se hace la configuración del módulo de realidad aumentada en la sección Image Target Behaviour (Script), en esta sección se eligió que obtuviera las imágenes de la base de datos TemasLSM mostrada en la sección 3.3 y para este ejemplo en específico en la opción Image Target seleccionamos Aa el cual representa a la letra A mayúscula o a minúscula.

En la sección Default Observer Event Handler localizado en el Inspector en la parte derecha de la Figura 12, se configura el método de reconocimiento de la imagen Aa llamado On Target Found() el método lo que hace es que cuando reconoce la imagen de la base de datos ejecuta el video de una persona haciendo la seña, de igual forma el método On Target Lost() pausa el video cuando la imagen deja de ser vista en la cámara.

El procedimiento antes explicado se repite con las 586 imágenes y videos de la base de datos.

4.3. Configuración y ajustes de los videos en la aplicación

Todos los videos agregados se configuraron en el Inspector de tal forma que se ajustará al tamaño de la pantalla y se posicionarán de forma centrada, adicionalmente se configuraron reglas de reproducción de los mismos como se muestra en la Figura 13.

5. Resultados

Al finalizar la fase de desarrollo continuamos con la fase de pruebas y resultados, luego de rediseñar la aplicación y hacer los ajustes en la fase de propuesta, se hicieron pruebas con alumnos del Instituto Tecnológico de Tijuana de forma local, con los alumnos de la Escuela Normal Fronteriza y se mostró la aplicación en la Cumbre Nacional de Desarrollo Tecnológico de Investigación e Innovación “Innova TecNM” en la etapa regional la cual obtuvo retroalimentación positiva y se observó que la aplicación reconocía de forma correcta las imágenes de las letras y las frases básicas que se dieron de alta en la base de datos, el reconocimiento no presentaba errores a menos que se utilizaran palabras que no estaban en la base de datos o si había dos señas muy juntas (distancia menor a un centímetro) en ocasiones reconocía la otra seña; en la Figura 14 se muestra un ejemplo de la aplicación funcionando mostrando las señas para la palabra “Buenas tardes”.

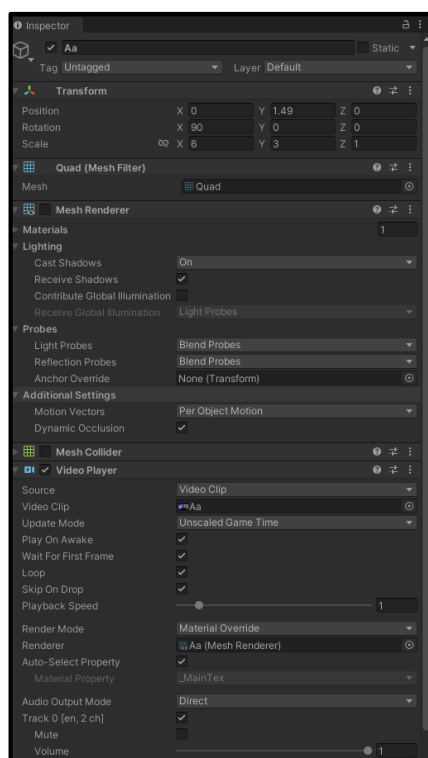


Figura 13: Configuración de los videos de la base de datos.

La incorporación de elementos visuales interactivos y modelos virtuales ha facilitado la comprensión y práctica de la LSM para los usuarios. Los usuarios reportaron una mejora notable en la retención de los signos y una mayor motivación para aprender, debido a la naturaleza interactiva de la aplicación (Lopez-Hernandez, 2021), las opiniones fueron recopiladas mediante encuestas realizadas a los usuarios.

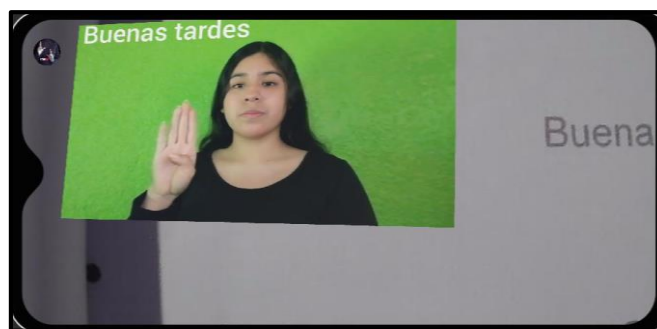


Figura 14: Pruebas de la aplicación para aprendizaje de LSM.

Las pruebas de usabilidad y funcionalidad fueron realizadas con un grupo diverso de usuarios. Los resultados iniciales de las pruebas fueron positivos, los usuarios encontraron la aplicación fácil de usar y apreciaron la capacidad de visualizar los signos en tiempo real mediante la RA.

La retroalimentación de los usuarios fue fundamental para realizar ajustes y mejoras en la aplicación. Los principales comentarios obtenidos fueron respecto a la interfaz de usuario, la velocidad de carga de los videos y las instrucciones de utilización de la aplicación. Basados en la retroalimentación, se hicieron mejoras en las animaciones comprimiendo su tamaño para que carguen más rápido, se tuvo que rehacer la interfaz principal respecto al prototipo anterior reduciendo la cantidad de botones y se modificó la interfaz de instrucciones con las recomendaciones para que sean claras y de esta manera facilitar la utilización de la aplicación. Además, se añadieron tutoriales interactivos para ayudar a los nuevos usuarios a familiarizarse con la aplicación más rápidamente.

A pesar de los resultados positivos, el proyecto enfrentó algunas limitaciones. La precisión de los modelos y las animaciones podría mejorarse para reflejar de manera más fiel los signos de la LSM. Además, la aplicación depende en gran medida del hardware del dispositivo, lo que puede afectar el rendimiento en dispositivos menos potentes.

6. Conclusiones

El desarrollo de una aplicación móvil de RA para el aprendizaje de LSM ha resultado ser un proyecto innovador y exitoso ya que actualmente no hay aplicaciones de este tipo en las tiendas de aplicaciones. Gracias a la integración de elementos visuales interactivos y modelos virtuales, facilita la comprensión y practica de LSM para los usuarios, proporcionando una experiencia de aprendizaje inmersiva y atractiva en comparación con los métodos de aprendizaje tradicionales.

Los resultados observados muestran que la aplicación no solo es accesible y fácil de utilizar, sino que también mejora de forma significativa la retención y motivación de los usuarios para aprender LSM. Las pruebas realizadas de usabilidad y funcionalidad han confirmado que la aplicación cumple con los resultados esperados, mientras que la retroalimentación de los usuarios ha sido fundamental para realizar mejoras continuas.

A pesar de los desafíos y limitaciones, como la precisión para el reconocimiento de las imágenes o frases y la dependencia del hardware del dispositivo, la aplicación ha demostrado ser una herramienta educativa valiosa que promueve la inclusión y la diversidad lingüística. Como trabajos futuros se propone la integración de un módulo de evaluación lúdico para determinar el aporte de la aplicación, agregar inteligencia artificial e incorporar más contenido educativo y por último mejorar aún más la efectividad y alcance de la tecnología.

Referencias

- Abras, C., Maloney-Krichmar, D., Preece, J. (2004) User-Centered Design. In Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Gobierno de México (2016). Lengua de Señas Mexicana (LSM). Recuperada 20 de junio de 2024, de <https://www.gob.mx/conadis/articulos/lengua-de-senas-mexicana-lsm?idiom=es>
- Gobierno de la Ciudad de México (2017). Diccionario de Lengua de Señas Mexicana Ciudad de México
- Gomez, G., Rodriguez, C., Marin, A. (2020). La trascendencia de la Realidad Aumentada en la motivación estudiantil. Una revisión sistemática y meta-análisis. *Alteridad*, vol. 15, no. 1, pp. 36-46, Ene. 2020. <https://doi.org/10.17163/alt.v15n1.2020.03>
- Hurtado-Sánchez, C., Quezada-Cisnero, A., & Rodríguez-Aguinaga, A. (2023). Una propuesta de aplicación móvil para el aprendizaje de la lengua de señas mexicana mediante el desarrollo de un modelo de realidad aumentada. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 11(Especial4), 264-269. <https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial4.11427>
- INEGI (2023). Encuesta Nacional para el sistema de ciudadanos (ENASIC). Recuperado 20 de junio de 2024, de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/ENASIC/ENASIC_23.pdf
- López-Hernández, J. G, López-Morteo, G. A, & Justo-López, A. C. (2021). Realidad aumentada como alternativa didáctica en escuelas públicas en zonas rurales y semiurbanas de San Quintín y Mexicali, México. *TecnoLógicas*, 24(52), 3-24. Epub February 21, 2022. <https://doi.org/10.22430/22565337.1939>
- Naciones Unidas (2008). Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad. Recuperado 17 de junio de 2024 de <https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf>
- Radu, I. (2014). Augmented Reality in Education: A Meta-review and Cross-media Analysis". *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 18, no. 6, pp. 1533-1543, Ago. 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-013-0747-y>
- Secretaría de Educación, Gobierno de Baja California (2021) Lengua de Señas Mexicana en Baja California. Educación inclusiva para la atención del alumno sordo en educación básica
- Serafin de Fleischman, M. E, Gonzalez Perez, R. (2011). Manos con voz diccionario de Lengua de Señas Mexicana. Editorial Mariela Gomez Medina, primera edición. Recuperada 15 de junio de 2024, de https://educacionespecial.sep.gob.mx/storage/recursos/2023/05/xzrfl019nV-4Diccionario_lengua_%20Senas.pdf
- Sistema Municipal DIF (2018). Manual de Lengua de Señas Mexicana