



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO DE POSTGRADOS**

**SISTEMA DE APRENDIZAJE MULTISENSORIAL APLICANDO REALIDAD
AUMENTADA**

Ing. Dennys Mauricio Coronel Vallejo

**MACHALA
2020**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO DE POSTGRADOS**

**SISTEMA DE APRENDIZAJE MULTISENSORIAL APLICANDO REALIDAD
AUMENTADA**

Ing. Dennys Mauricio Coronel Vallejo

**TRABAJO DE TITULACIÓN
ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL**

**Tutor:
Ing. César Byron Guevara Maldonado, PhD**

**MACHALA
2020**

DEDICATORIA

Dedico de manera especial el fruto de mi esfuerzo plasmado en el presente estudio a mi padre y mi madre, Jhonny Coronel y María Teresa Vallejo ejemplo de esfuerzo, sacrificio, responsabilidad y amor.

A mi hermana Jenny, quien ha sido mi compañera en cada momento.

A mis Abuelitos, Gonzalo Coronel y Laura Sánchez, que son como mis padres. Quienes siempre han estado a mi lado en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mis tíos Jorge y Milton Coronel que son como mis hermanos, quienes han sido mi apoyo y mi ayuda en cada momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Universidad Técnica de Machala, por ser formadores de profesionales críticos y constructivos, consientes de nuestro rol en la sociedad. Agradezco también a los docentes que me brindaron todo su conocimiento y su apoyo en cada clase.

Un agradecimiento especial al Dr. César Guevara Maldonado, que me ha guiado incondicionalmente en cada etapa de la presente investigación.

Agradezco también a la Ing. Jennifer Céleri que siempre estuvo pendiente, que la maestría se la lleve de la mejor manera y con docentes de alto nivel.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Los criterios emitidos en este trabajo de investigación sobre: **“SISTEMA DE APRENDIZAJE MULTISENSORIAL APLICANDO REALIDAD AUMENTADA.”**, así como los contenidos, opiniones, análisis, conclusión y propuesta son de particular responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de grado.

Ing. Dennys Coronel

0604603704

REPORTE DE SIMILITUD

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %	7 %	1 %	2 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.slideshare.net Fuente de Internet	1 %
2	es.slideshare.net Fuente de Internet	1 %
3	repository.icesi.edu.co Fuente de Internet	1 %
4	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
5	www.linguee.es Fuente de Internet	<1 %
6	iat.es Fuente de Internet	<1 %
7	temoa.itesm.mx Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
9	www.compartirpalabramaestra.org Fuente de Internet	<1 %

10	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
11	(Carlinda Leite and Miguel Zabalza). "Ensino superior: inovação e qualidade na docência", Repositório Aberto da Universidade do Porto, 2012. Publicación	<1%
12	www.aqualex.org Fuente de Internet	<1%
13	Submitted to Universidad Nacional de Educación a Distancia Trabajo del estudiante	<1%
14	Submitted to Instituto Superior de Formacion Docente Salomé Urenq Trabajo del estudiante	<1%
15	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1%
16	archive.org Fuente de Internet	<1%
17	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1%

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. César Byron Guevara Maldonado, PhD
TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA

Que, el presente proyecto de investigación de Tesis de Grado de Maestría en Software titulada "**SISTEMA DE APRENDIZAJE MULTISENSORIAL APLICANDO REALIDAD AUMENTADA**", cuyo autor es el Ing. Dennys Mauricio Coronel Vallejo, ha sido prolijamente revisado, enmarcado en los procedimientos científicos, técnicos, metodológicos y administrativos promulgados por el Centro de Posgrado de la Universidad Técnica de Machala, razón por la que autorizo su presentación.



Firmado digitalmente por:
**CESAR BYRON
GUEVARA
MALDONADO**

Ing. César Byron Guevara Maldonado, PhD
TUTOR DE TESIS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, DENNYS MAURICIO CORONEL VALLEJO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado “SISTEMA DE APRENDIZAJE MULTISENSORIAL APLICANDO REALIDAD AUMENTADA”, otorgo a la UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA de manera gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo propio, sobre la cual tiene la potestad para otorgar los derechos contenidos en esta maestría.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y con relación a la misma, declara que la Universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta Maestría, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/ o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Dennys Coronel

0604603704

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN



ACCEPTANCE LETTER

Dennys Mauricio Coronel Vallejo
Universidad Técnica de Machala, Ecuador
dcoronel4@utmachala.edu.ec

May 31, 2020

Dear Dennys Mauricio Coronel Vallejo,

We are pleased to inform you that your submission has been accepted for Oral presentation at the 11th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences to be held at Virtual Conference, United States of America, 16-20, July, 2020. (<http://ahfe2020.org>)

Paper ID#: 208

Paper Title: Multisensory Learning System applying Augmented Reality

The acceptance decision is based on peer-reviews conducted by conference chairs and assigned reviewers from the scientific committee.

[For inclusion in the AHFE 2020 Conference Proceedings and program, at least one unique registration per paper or poster is required].

Whether this submission is a paper presentation or poster demonstration, your full paper (optional) will be included in the Conference Proceedings if submitted along with the signed Springer consent to publish agreement form by the posted deadline.

We look forward to seeing you in Virtual Conference!

Sincerely,

AHFE 2020 Administration

Questions? Please send to support@ahfe.org
Conference website: <http://ahfe2020.org>

RESUMEN

La matemática es esencial en nuestra vida diaria debido a que es fundamental para el desarrollo intelectual y se lo implementa en una variedad de especialidades, lo que evidencia la importancia de aprenderlas. Sin embargo, los métodos y enfoques de enseñanza tradicionales se limitan principalmente a la utilización de libros de texto. Que causan bajo rendimiento, poco interés en el aprendizaje, desmotivación y un aprendizaje no óptimo de la misma.

En el presente estudio se propone el desarrollo de un sistema de realidad aumentada para el aprendizaje multisensorial, en el área de resolución de problemas y comprensión de conceptos.

El objetivo de este estudio es disminuir la frustración de los estudiantes frente a los problemas de razonamiento matemáticos y mejorar la asimilación de conceptos.

Para la creación de esta propuesta se ha utilizado una herramienta de interfaz Humano Computador llamada Makey Makey. Además, se aplica el método de aprendizaje Singapur, el mismo que ha obtenido óptimos resultados en el aprendizaje de la matemática. Para el desarrollo de la aplicación se utilizó Scratch, que es un lenguaje de programación que permite desarrollar aplicaciones sin tener conocimientos profundos sobre el código. Scratch permite combinar la metodología Singapur, Makey Makey y la Realidad Aumentada de forma óptima para el aprendizaje. Para la evaluación del prototipo se realizó una prueba de conceptos, tiempo de respuesta y accesibilidad del sistema.

En la aplicación del sistema de aprendizaje, los estudiantes manipulan e interactúan con el prototipo, al experimentar y familiarizarse con el mismo. Esto ayuda a comprender e interiorizar mejor los conceptos. Otra función del prototipo es que permite a los estudiantes enfrentarse a diferentes actividades por medio de la Realidad Aumentada e interactuar de forma física con los datos del problema presentado mediante modelos de barras, lo que mejora la comprensión en el proceso de reflexión. Con esta propuesta disminuye la frustración de los estudiantes frente a los problemas matemáticos. Otro resultado es la mejora del aprendizaje en la fase de abstracción del problema.

ABSTRACT

Mathematics is essential in our daily lives because it is fundamental for intellectual development. Also, it is implemented in a variety of specialties, evidencing the importance of learning it. However, traditional teaching methods and approaches are mainly limited to the use of textbooks, causing low performance, little interest in learning, demotivation and non-optimal learning.

The present study proposes the progress of an augmented reality system for multi-sensory learning, in the area of problem solving and understanding of concepts.

The objective of this study is to reduce the frustration of students when facing mathematical reasoning problems and to improve the assimilation of knowledge.

For the creation of this proposal, it has been used a Human-Computer interface tool called Makey Makey. In addition, the Singapore learning method is applied, the one that has obtained excellent results in learning mathematics. For the development of the application Scratch was used, which is a programming language that allows the development of applications without having deep knowledge of the code. Scratch allows to combine the Singapore, Makey Makey and Augmented Reality methodology in an optimal way for learning. For the evaluation of the prototype, a test of concepts, response time and accessibility of the system was carried out.

In the application of the learning system, students manipulate and interact with the prototype, experimenting and becoming familiar with it. This helps to a better understanding and internalizing of the concepts. Another function of the prototype is that it allows students to face different activities through Augmented Reality and interact physically with the data of the problem presented by means of bar models, which improves understanding in the comprehension process. With this proposal, the frustration of students when facing mathematical problems decreases. Another result is improved learning in the problem abstraction phase.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....	5
REPORTE DE SIMILITUD	6
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA.....	9
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN	10
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
ÍNDICE.....	13
ÍNDICE FIGURAS	15
INTRODUCCIÓN	16
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos específicos	18
Hipótesis.....	18
CAPÍTULO 1	19
1.1 Antecedentes Histórico de la Investigación	19
1.2 Antecedentes Conceptuales y referenciales.....	20
1.2.1 Realidad Aumentada en la educación	20
1.2.2 Metodologías de aprendizaje	22
1.2.3 Gamificación en la educación.....	23
1.2.4 Aprendizaje por refuerzo.....	26
1.2.5 Evaluación del Desempeño en el Modelo Educativo Basado en Competencias	26
1.2.6 Metodología Singapur	29
1.2.7 Visual block Programming.....	30
1.2.8 Makey Makey.....	31
1.3 Antecedentes contextuales de la investigación	31
CAPÍTULO 2	32
2.1 Tipo de Estudio o Investigación Realizada	32
2.2 Paradigma o enfoque desde el cual se realizó	32
2.3 Población y muestra.....	32
2.4 Métodos teóricos con los materiales utilizados.....	34
2.5 Métodos empíricos con los materiales utilizados.....	34
2.6 Métodos estadísticos para el procesamiento de los datos obtenidos	34
2.7 Análisis Metodológico	34
2.8 Diseño.....	36
2.9 Desarrollo.....	37
2.10 Implementación y pruebas	38

CAPÍTULO 3	41
3.1. “MULTI-SIN” sistema de aprendizaje multi sensorial	41
3.1.1. Prototipo - Hardware (Primera fase).....	41
3.1.2. Sistema - Software (Segunda fase).....	42
CAPÍTULO 4	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	59
Índice Anexos	59

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Diagrama que ilustra el proceso de Aprendizaje por refuerzo [30].	26
Figura 2. Representación visual de las fases de la evaluación de desempeño [32].	27
Figura 3. Diagrama comparativo de las técnicas didácticas, acordes con los escenarios donde estas pueden ser implantadas [32].	28
Figura 4. Diagrama explicativo de la metodología Singapur [4].	29
Figura 5. Captura de pantalla del entorno de desarrollo de Scratch 3.0 [37].	30
Figura 6. Dispositivo Makey Makey [40].	31
Figura 7. Circuito abierto correspondiente a la entrada D12.	36
Figura 8. Circuito cerrado correspondiente a la entrada D12.	36
Figura 9. Arquitectura de Software MULTI-SIN.	37
Figura 10. Diagrama de integración entre Interfaz lógica y física.	37
Figura 11 Diagrama de caso uso número uno del sistema MULTI-SIN.	38
Figura 12. Captura de pantalla del sistema MULTI-SIN ejecutándose correctamente.	38
Figura 13. Diagrama de caso de uso del componente uno.	39
Figura 14. Captura de pantalla de ejecución del componente uno ejecutándose correctamente.	39
Figura 15. Diagrama de caso de uso del componente dos.	40
Figura 16. Captura de pantalla de ejecución del componente dos ejecutándose correctamente.	40
Figura 17. Diagrama de Circuito del prototipo "MULTI-SIN".	41
Figura 18. Diagrama de Framework del sistema informático "MULTI-SIN".	42
Figura 19. Captura de pantalla de la interacción prototipo hardware con el sistema.	42
Figura 20. Captura de pantalla de la interacción del sistema mediante el moviente.	43
Figura 21. Captura de pantalla de la interacción del sistema a través de una tarjeta predeterminada.	43
Figura 22. Captura de pantalla de la animación del problema verbal y su grafica de barras.	43
Figura 23. Captura de pantalla de la interacción del prototipo con el componente dos del sistema.	44
Figura 24. Diagrama lineal que ilustra la media del tiempo de atención por módulo del sistema MULTISIN.	45

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Artículos revisados según su Base de Datos	33
Tabla 2 Comparación de las metodologías entre trabajos relacionados.	35
Tabla 3. Resultado de tiempo de atención por modulo del prototipo MULTI-SIN.	45
Tabla 4. Resultado de usabilidad por modulo del prototipo MULTI-SIN.	46
Tabla 5. Resultado del aprendizaje del prototipo MULTI-SIN.	47
Tabla 3. Resultado de accesibilidad del prototipo MULTI-SIN.	48

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los métodos en la enseñanza han sido un campo muy interesante para la investigación, en específico en el área de la matemática. Esto debido a que se lo implementa en una variedad de especialidades como la economía, la psicología, la comunicación, la política entre otras áreas del conocimiento, al evidenciar la importancia de aprenderlas [1]. La matemática es considerada la base de la ciencia y la tecnología, por su razonamiento aritmético y lógico [2]. Siendo vital para el desarrollo de la creatividad en los estudiantes [3].

En el área de la educación tecnológica, se encuentran distintos enfoques para el desarrollo de sistemas de aprendizaje de la matemática. Por ejemplo, el artículo publicado por Neira [4], presenta un prototipo de juegos serios para la enseñanza de operaciones aritméticas básicas en el cual utiliza el método Singapur, dicho juego fue desarrollado en la plataforma Unity con escenarios web interactivos. Los resultados obtenidos fueron aceptables, dado que el prototipo mejora del 91% al 95% la capacidad de resolución de operaciones matemáticas básicas.

El artículo publicado por Arroyo [5], presenta un videojuego llamado "*EstimateIT!*". Este videojuego está orientado al aprendizaje de la matemática, en el área de la geometría. Está disponible para dispositivos inteligentes como *SmartPhone* o *SmartWatch*. El video juego fue valorado por un grupo de cincuenta y tres estudiantes, mediante el método de evaluación de Pre-Test y Post-Test. Los resultados obtenidos fueron aceptables, dado que el 77% de los estudiantes aumentaron considerablemente el aprendizaje de la geometría.

El artículo publicado por Kaur [6], describe la historia, el impacto y la percepción del uso del Método Singapur por parte de docentes experimentados. Los resultados obtenidos fueron óptimos, debido a que demostraron que el método Singapur aborda correctamente, las dificultades de los estudiantes ante los problemas de razonamiento matemático.

El estudio publicado por Men [7], muestra la evaluación y la percepción del uso del Método Singapur en el área de resolución de problemas Pre-Algebraicos. Este estudio fue aplicado a estudiantes del quinto año de básicas, con el método evaluación Pre-Test y Post-Test. Los resultados obtenidos fueron impecables, ya que mejoró un 16.67% en la resolución de problemas Pre-Algebraicos, después de la incorporación del Método Singapur.

El trabajo desarrollado por Medina [8], presenta un sistema de enseñanza-aprendizaje de la matemática, mediante el uso de herramientas 3D como la Realidad Aumentada, entornos virtuales e impresiones en 3D. Este sistema está dividido en dos partes,

Remote Virtual Environments for the Learning of Mathematics (AVRAM) y Augmented Reality in Calculus (ARC). AVRAM, permite la manipulación y visualización de modelos geométricos en un entorno dinámico en 3D. ARC, permite realizar diferentes ejercicios matemáticos básicos y operaciones de cálculo. Los resultados obtenidos fueron óptimos, debido a que los estudiantes muestran un impacto positivo del 36% más en el aprendizaje de la matemática.

La matemática es esencial en nuestra vida diaria, debido a que es fundamental para el desarrollo intelectual. Permite crear significados abstractos, codificar y descodificar símbolos, abarca principalmente las habilidades de cálculo aritmético y resolución de problemas. Sin embargo, los métodos y enfoques de enseñanza tradicionales se limitan principalmente a la utilización de libros de texto, donde la interacción con el estudiante es mínima [3]. Esto causa poco interés en el aprendizaje, desmotivación, bajo rendimiento y un aprendizaje no óptimo de la misma.

Existen diversas entidades internacionales que han evaluado el rendimiento académico de los países. Una de ellas, es la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Emplea el programa internacional para la Evaluación de Estudiantes o también llamado Informe PISA, con el objetivo de proporcionar datos comparables que ayuden a mejorar las políticas de educación. En este programa participan setenta y dos países. El Informe PISA, calcula el desarrollo de las habilidades y conocimientos en el rendimiento académico en el área de la matemática, la ciencia y la lectura [9]. Según el último informe PISA presentado en el 2018 por OCDE [10], la mayoría de los países de Latinoamérica en el área de la matemática, alcanzaron un nivel uno (420.07 a 482.38 puntos) de desempeño. Ecuador en esta evaluación alcanzo el nivel cero, debido a que obtuvo un puntaje de 377 puntos. Un puntaje no optimo a comparación de los otros países.

Otra entidad internacional que evalúa el rendimiento académico es, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Emplea el programa llamado TERCE (Tercer Estudio Regional Comparativo y Explicativo), donde participan quince países y el estado mexicano de Nuevo León.

El programa TERCE evalúa las áreas de estudio de la matemática, el lenguaje y las ciencias naturales. En este programa participan estudiantes de cuarto y séptimo de educación básica [11]. El objetivo del programa TERCE es recolectar información sobre la calidad de la educación en las regiones y así orientar a una mejor toma de decisiones en las políticas públicas educativas.

El último informe presentado por TERCE [12], fue en el año 2014. Este informe pertenece a las evaluaciones entre los años 2006 y 2013. Ecuador en esta evaluación,

obtuvo un puntaje de 703 puntos que fue igual a la media regional. Este puntaje no difiere significativamente con el promedio de los otros países.

Otra entidad internacional que evalúa el rendimiento académico es la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OREALC) con el programa de Evaluación de competencias de adultos (PIAAC), en este programa participan más de 40 países. El programa PIAAC evalúa las competencias cognitivas y destrezas necesarias para el mundo laboral [13]. Ecuador en esta evaluación obtuvo un puntaje de 185 puntos. Un puntaje no adecuado, permaneciendo distante del promedio de los países participantes en esta evaluación.

El presente estudio propone el desarrollo de un sistema de Realidad Aumentada para el aprendizaje multisensorial de estudiantes en la materia de matemáticas. En el área de resolución de problemas y comprensión de conceptos, al aplicar el método Singapur. El objetivo de este estudio es disminuir la frustración de los estudiantes frente a los problemas de razonamiento matemáticos y mejorar la asimilación de conceptos.

Este documento está organizado de la siguiente manera. En el capítulo 1, se describe los antecedentes históricos, los antecedentes conceptuales y contextuales de la investigación. En el capítulo 2, se describe el método de investigación utilizado en este estudio. En el capítulo 3, se describe el resultado de la investigación. Finalmente, en el capítulo 4, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo multisensorial con Realidad Aumentada aprendizaje de la matemática.

Objetivos específicos

- Revisar literatura sobre sistemas multisensorial, Realidad Aumentada
- Identificar métodos de aprendizaje de matemáticas
- Analizar el método Singapur para aprendizaje de la matemática.
- Desarrollar el prototipo-hardware.
- Desarrollar el sistema-software.
- Evaluar el prototipo mediante la prueba de conceptos, tiempo de respuesta del sistema, usabilidad del sistema, aprendizaje de los usuarios en la aplicación y accesibilidad del sistema.

Hipótesis

Un Sistema de Aprendizaje Multisensorial aplicando Realidad Aumentada disminuirá la frustración de los estudiantes y aumentará el aprendizaje de la matemática.

CAPÍTULO 1

En este capítulo se describe el marco teórico referencial, mediante la aplicación de guía metodológica para la Revisión Sistemática de la Literatura de Bárbara Kitchenham [14]. El proceso de búsqueda de información científica fue mediante una búsqueda manual de artículos técnicos de alto impacto, publicados en bases de datos como Springer, IEEE Xplorer, Science Direct, ACM y Elsevier.

1.1 Antecedentes Histórico de la Investigación

En el área de la educación tecnológica se encuentran distintos enfoques para el desarrollo de sistemas de aprendizaje de la matemática. Por ejemplo, el artículo publicado por Pritami [15], presenta una aplicación móvil de aprendizaje de la matemática basada en juegos digitales con Realidad Aumentada llamada DORDOR. El objetivo de la aplicación es agudizar la capacidad de contar y así entrenar el nervio motor de los niños, para que se vuelvan más activos. La aplicación utiliza múltiples sensores del dispositivo móvil como el giroscopio, el acelerómetro y el GPS, fue desarrollado en la plataforma Unity y modelado en *Hierarchy Plus Diagram Input Process Output* (HIPO) y *Flowchart*. Los resultados obtenidos fueron óptimos, debido a que los estudiantes mostraron una respuesta positiva, entusiasmo y felicidad del 100% al aprender matemáticas.

Otro trabajo notorio fue el presentado por Cerqueira [16], presenta un video juego con Realidad Aumentada para el aprendizaje de conceptos matemáticos llamada FootMath. La aplicación simula un juego de fútbol en 3D. Los resultados obtenidos fueron alentadores, dado que fue probado en un grupo controlado de 24 estudiante. Los estudiantes mostraron su satisfacción, motivación e interés al aprender funciones matemáticas mediante FootMath.

Otro trabajo relevante fue el propuesto por Van Der Stappen [17], quien presenta *MathBuilder*, un juego de rol con Realidad Aumentada para la resolución de problemas y ejercicios matemáticos fue desarrollado en la plataforma Unity. Los resultados obtenidos son aceptables, pues muestran motivación al aprendizaje y estimulación al trabajo colaborativo.

El artículo publicado por Manisha [18], presenta una aplicación con Realidad Aumentada llamada MATHIFY. Esta aplicación está dirigida a estudiantes de 3 a 5 años, para el aprendizaje de conceptos básicos de matemáticas, se divide en dos fases, la fase de aprendizaje y la fase de evaluación. Los resultados obtenidos fueron óptimos, debido a que mejoró al doble la eficacia del aprendizaje en un entorno interactivo.

El artículo presentado por Chao [19], muestra ARMATH, un sistema de aprendizaje interactivo digital con Realidad Aumentada. Está dividido en dos partes, *Learning Fun* y *Challenge Fun*. *Learning Fun* crea objetos tridimensionales interactivos de varios temas de volumen. *Challenge Fun*, por su parte proporciona problemas de cálculos de volumen. Los resultados obtenidos fueron aceptables, pues revelan un aumento significativo del 3,4% en el aprendizaje. Además, ARMATH mejora gradualmente la motivación y el interés al autoaprendizaje.

Otro trabajo significativo fue el presentado por Li [20], un video juego de aprendizaje social aplicado a la matemática con Realidad Aumentada. El juego fue diseñado utilizando la teoría de la autodeterminación (SDT) y el marco de experiencia lúdica (PLEX). Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, debido que el video juego permite a los estudiantes responder conceptos básicos sobre la matemática al interactuar con animales en 3D.

Otro trabajo significativo es el publicado por Price [21], quien expone WEDRAW, un proyecto de dos años de desarrollo. Sus autores proponen el diseño y desarrollo de un marco pedagógico dentro de un entorno de juegos serios, al combinar tecnologías interactivas y multisensoriales. Los resultados obtenidos fueron adecuados, ya que incentivaron a la utilización de metáforas matemáticas, lo cual construye conexiones entre acciones físicas y conceptos matemáticos.

1.2 Antecedentes Conceptuales y referenciales

En esta sección se describirán los métodos y materiales utilizados en este estudio.

1.2.1 Realidad Aumentada en la educación

La Realidad Aumentada es una tecnología en 3D, que superpone o agrega objetos virtuales en tiempo real (imágenes u objetos) en el mundo, a través de un dispositivo tecnológico como *smartphone*, *tablet*, lentes y/o visores. Las aplicaciones apoyadas en esta tecnología se basan en dos tipos:

La primera está basada en marcadores, que requieren el reconocimiento del marcador u objeto específico para obtener información digital.

La segunda está basada en la ubicación, utiliza el GPS del dispositivo para identificar y superponer información [22], [23].

Según la revista EduTrends publicada en diciembre de 2017 [24], el uso de la Realidad Aumentada en la educación es muy reciente. Sin embargo, se ha comprobado que la Realidad Aumentada genera efectos positivos en el aprendizaje.

El uso de esta tecnología es una herramienta clave en el futuro de la educación. No obstante, esta tecnología se encuentra en la fase exploratoria, donde existen más dudas que certezas.

A lo largo del tiempo existen diferentes antecedentes históricos que permiten conocer la evolución de la Realidad Aumentada:

El primer antecedente literario fue en 1901, donde el escritor de relatos infantiles Frank Baum, publicó su obra literaria “La Llave Maestra”, donde un niño mediante sus anteojos podía ver la calidad moral de las personas.

En 1957, Morton Heilig crea un prototipo llamado Sensorama, que es una máquina que añade experiencias sensoriales al espectador de una película.

En 1968, Ivan Sutherland genera el primer dispositivo llamado HMD, que es un dispositivo que proyecta figuras geométricas en el entorno que lo rodea.

En 1990, Tom Caudell da origen al término Realidad Aumentada, debido a que desarrolla unos lentes que proyectan los planos del cableado de una compañía aérea para la capacitación de los técnicos electricistas.

En el año 2000, desarrollan el primer dispositivo de videojuego con Realidad Aumentada llamado ARQuake.

En el 2008, aparece AR Wikitude, que es un dispositivo de Realidad Aumentada con geolocalización.

En el 2009, se lanzó la plataforma de acceso libre para generar contenidos de Realidad Aumentada llamada ARToolkit.

En 2012, se da conocer GLASS, que son unos Lentes de Realidad Aumentada desarrollado por Google.

En el 2015, es presentado el Proyecto Tango, que es un proyecto que pretende desarrollar Tecnología de Realidad Aumentada en 3D para smartphones.

En el 2016, se liberó al mercado el primer dispositivo móvil con soporte específico para Realidad Aumentada llamado Lenovo Phab Pro.

En el 2017, Elon Musk da a conocer el proyecto Neuralink, es un proyecto que intenta conectar la Realidad Aumentada en el cerebro humano.

El uso de la Realidad Aumentada en la educación requiere de la participación de expertos que tenga en cuenta los siguientes puntos:

- Diseñar diferentes experiencias de aprendizaje.
- Asesorar a estudiantes mediante la interacción de objetos
- Evaluar y retroalimentar el aprendizaje conseguido.

Dentro de un sistema educativo, los recursos tecnológicos deben ser la parte más importante en el proceso pedagógico. Dichos sistemas deben ser diseñados por el docente.

El objetivo de la Realidad Aumentada en la educación es incrementar la motivación del estudiante y el mejoramiento de los recursos del aprendizaje.

En concreto las mejores prácticas pedagógicas que se puede aplicar en la Realidad Aumentada son:

- Legado constructivista
- Aprendizaje activo (*Learning by doing*)
- Materiales educativos digitales
- Aprendizaje móvil (*Mobile learning*)
- Gamificación
- Aprendizaje híbrido o mixto (*Blended learning*) Aprendizaje basado en la experimentación
- Educación expandida

Para la evaluación de la Realidad Aumentada, se requiere salir de la zona de confort. Debido a que no se utiliza los instrumentos habituales.

Los instrumentos más comunes que se utilizan para la evaluación de Realidad Aumentada son:

- Gamificación
- Retroalimentación automática
- Aprendizaje basado en problemas (ABP)
- Portafolios
- Autoevaluación
- Coevaluación

La Realidad Aumentada en la educación ha genera grandes expectativas, las mismas que deben ser comprobadas y verificadas en la práctica.

Los beneficios de la Realidad Aumentada son:

- Aumenta la atención
- Ayuda a la memoria de corto plazo
- Mejora el ritmo eficiente de aprendizaje
- Mejora la experimentación práctica de la teoría
- Tiene efecto positivo en la motivación
- Aprendizaje personalizado.

1.2.2 Metodologías de aprendizaje

El aprendizaje es el proceso que incorpora nuevos conocimientos, habilidades y comportamientos al estudiante [25].

Las Metodologías de aprendizaje son procesos complejos, que agrupa técnicas y actividades. Estas Metodologías deben ser dirigidas por un docente especializado.

Las Metodologías de aprendizaje logran uno o varios objetivos educativos, por medio de:

- Acciones.
- Actividades u operaciones.

También la Metodología de aprendizaje ayuda a que los estudiantes asimilen los contenidos educativos de mejor manera.

Cada método de aprendizaje tiene diferentes intenciones y perspectivas, que generan distintos resultados [26].

1.2.3 Gamificación en la educación

Según Alex Games Director de Diseño de Educación en Microsoft en el 2014, los video juegos son la primera forma en la que se aprende a experimentar [27].

Según la revista EduTrends publicada en septiembre del 2017 [28], los video juegos generalmente son una forma de entretenimiento o pasatiempo. Sin embargo, también lo usan generalmente en las industrias y en la educación.

Los video juegos son atractivos, adictivos y estimulantes, pero también ayudan a:

- Encontrar diferentes estrategias de solución de problemas
- Obtención de nuevos conocimientos
- Desarrollo de nuevas habilidades
- Cambio de sus actitudes
- Brindan una zona segura para fallar y aprender.

El término Gamificación, comenzó a ser utilizado en los negocios con el fin de promover, alentar y convencer a los usuarios para realizar ciertas acciones. En general, la gamificación se la describe como la técnica que permite trasladar la mecánica de un juego al ámbito educativo.

La Gamificación también es la aplicación de elementos y principios de un juego en un ambiente de aprendizaje. La Gamificación tiene como objetivo inspirar a un mejor comportamiento e incrementar la motivación y la participación de los estudiantes.

La Gamificación también funciona como técnica didáctica motivacional, con el fin de lograr un aprendizaje significativo con experiencias positivas. Existen diferentes marcos de referencia para el diseño de la Gamificación:

- Mechanics, Dynamics & Aesthetics – MDA
- Mechanics, Dynamics & Emotions - MDE
- Dynamics, Mechanics & Components – DMC

Al diseñar una táctica de Gamificación no es obligatorio considerar todos los elementos de los juegos. Los elementos de los juegos son:

- Metas y objetivos

- Reglas
- Narrativa
- Libertad de elegir
- Libertad para equivocarse
- Recompensas
- Retroalimentación
- Estatus visible
- Cooperación y Competencia
- Restricción de tiempo
- Progreso
- Sorpresa

La técnica de Gamificación debe tomar aquellos elementos que puedan ser más valiosos para el aprendizaje. Al efectuar Gamificación en el aula de clase, los estudiantes serán motivados a ganar la actividad propuesta.

Marczewski clasifica a los usuarios de la Gamificación y señala sus pertinentes motivaciones de la siguiente forma:

- Socializadores (relaciones)
- Espíritus libres (autonomía)
- Triunfadores (logro y dominio)
- Filántropos (propósito y significado)
- Jugadores (recompensas)
- Revolucionarios (cambio).

Para el desarrollo de la Gamificación, se debe considerar las siguientes fases:

- Primera Fase: Descubrimiento (Discovery)
- Segunda Fase: Entrenamiento (Onboarding)
- Tercera Fase: Andamiaje (Scaffolding)
- Cuarta Fase: Hacia el dominio del juego (Pathway to mastery)

El papel del docente en el desarrollo de la Gamificación no solo consiste en hacer una actividad entretenida, además:

- Juntar varios elementos para el juego.
- Desarrollar un excelente diseño.
- Crear actividades interesantes y retadoras.

Para que el estudiante pueda desarrollar las aptitudes esperadas.

Para la evaluación de la gamificación, se toma en cuenta que sea lo menos intrusiva posible al mantener a los jugadores concentrados. Esto se logra mediante una evaluación discreta.

También se puede hacer una evaluación posterior a la Gamificación, en donde los estudiantes expongan lo aprendido.

Para este tipo de evaluación se debe incorporar recursos cualitativos. Las técnicas de evaluación posteriores a la Gamificación pueden ser:

- La coevaluación
- Retroalimentación entre sí.

Existen diferentes recursos para la elaboración de gamificación, por ejemplo.

- Para el diseño: Lienzo de Gamificación
- Para Gestionar la actividad: ClassCraft y Rezzly
- Para obtener respuestas rápidas de los estudiantes: Socrative. Kahoot!
- Para utilizar insignias: BadgeMaker y Classbadges.
- Para incorporar Aprendizaje Basado en Juegos: BookWidgets, FlipQuiz y JeopardyLabs

Los beneficios del uso de la gamificación son:

- Incrementar la motivación. Se logra al crear competitividad y colaboración.
- Generar cooperación, pues permite el trabajo en equipo.
- Autoconocimiento sobre las capacidades que poseen, ya que permite que reconozca sus habilidades o destrezas que le ayudan a conseguir sus objetivos.
- Provee un ambiente seguro para aprender, anima a los estudiantes a realizar nuevos retos y arriesgarse a buscar nuevas soluciones, sin miedo a los resultados.
- Informa al estudiante sobre su progreso, promueve la constancia y proporciona la información para ayudarlo hacia un resultado correcto.
- Favorece la retención del conocimiento, crea una mayor retención en el estudiante.

La Gamificación no es una fórmula que se pueda emplear en cualquier ámbito educativo, primero se debe conocer los principios y sus elementos.

1.2.4 Aprendizaje por refuerzo

El Aprendizaje por refuerzo (*Reinforcement Learning* en inglés) se define como un aprendizaje automático que se produce de forma natural, mediante la interacción con el entorno[29]. El Aprendizaje por refuerzo mapea las situaciones y acciones mediante un agente de software con el fin de maximizar las nociones y recompensar. La figura 1 muestra el proceso de Aprendizaje por refuerzo.

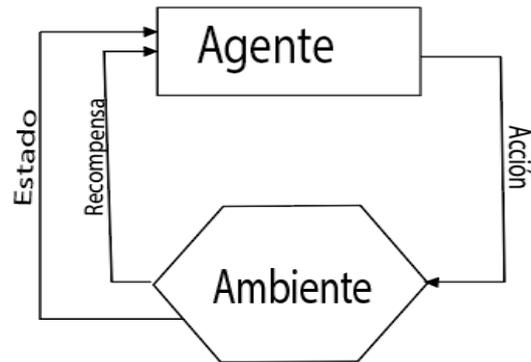


Figura 1. Diagrama que ilustra el proceso de Aprendizaje por refuerzo [30].

El objetivo del Aprendizaje por refuerzo es descubrir por sí mismo la mejor acción de aprendizaje [31]. Ayuda al estudiante a encontrar la mejor forma de aprender basándose en sus conocimientos [30].

1.2.5 Evaluación del Desempeño en el Modelo Educativo Basado en Competencias

Según la revista EduTrends publicada en mayo del 2016 [32], la evaluación del Desempeño en el Modelo Educativo Basado en Competencias es la valoración de las acciones que realiza el estudiante durante la fase de aprendizaje que involucra:

- La observación
- El seguimiento
- La valoración de las conductas

La evaluación del Desempeño Basado en Competencias se efectúa de manera individual o grupal. Los productos o propuestas que se generan en el proceso de aprendizaje forman parte de la evidencia. Esta evidencia permitirá evaluar las competencias logradas en ese momento.

En el marco de la evaluación del desempeño, los estudiantes crean, desarrollan procesos de pensamiento de muy alto nivel y generan soluciones a partir de sus conocimientos. La figura 2 muestra las fases de la evaluación de desempeño.



Figura 2. Representación visual de las fases de la evaluación de desempeño [32]. Dentro de la evaluación del desempeño, se encuentra integrada la evaluación auténtica. La evaluación auténtica se la define como aquella que sujeta a escenarios del mundo real. La evaluación auténtica busca generar un mejor acoplamiento entre la tarea y las evaluaciones.

La evaluación auténtica debe tener los siguientes elementos:

- Valor de la colaboración.
- Retroalimentación sobre el desempeño.
- Carácter formativo continuo.
- Resultados tangibles.
- Transferencia de conocimientos a la práctica.
- Procesos metacognitivos

A través de la evaluación auténtica, el docente y el estudiante atraviesan las barreras educativas para una excelente inserción en la sociedad.

Para aplicar esta evaluación de forma exitosa es necesario:

- Planeación.
- Análisis de instrumentos.
- Análisis procesos.
- Resultados de evaluación, para verificar el progreso del estudiante.
- Trabajo colegiado, para que sus requerimientos en la materia de planeación didáctica y evaluación tengan diferentes puntos de vista.

- Vinculación con otros organismos, para que los estudiantes sean capaces de vincularse con el mundo real.
- Capacitación continua, el docente debe capacitarse y actualizarse continuamente para ejercer su profesión.

Para la construcción de un sistema de evaluación de excelencia, no solo se debe buscar el fortalecimiento de la fase de aprendizaje, sino también la mejora continua de la evaluación y la presentación de resultados con transparencia. Los escenarios para el aprendizaje y la evaluación se dividen en tres:

- Escenario estructurado, se describe donde el docente tiene el pleno control del ambiente.
- Escenario semiestructurado, se define mediante un documentado previamente redactando aprovecha la situación de la vida real.
- Escenario real, se refiere donde los estudiantes están en acciones propias de la vida personal y laboral, fuera del aula.

La figura 3 revela las diferentes técnicas didácticas acordes con los escenarios del aprendizaje.

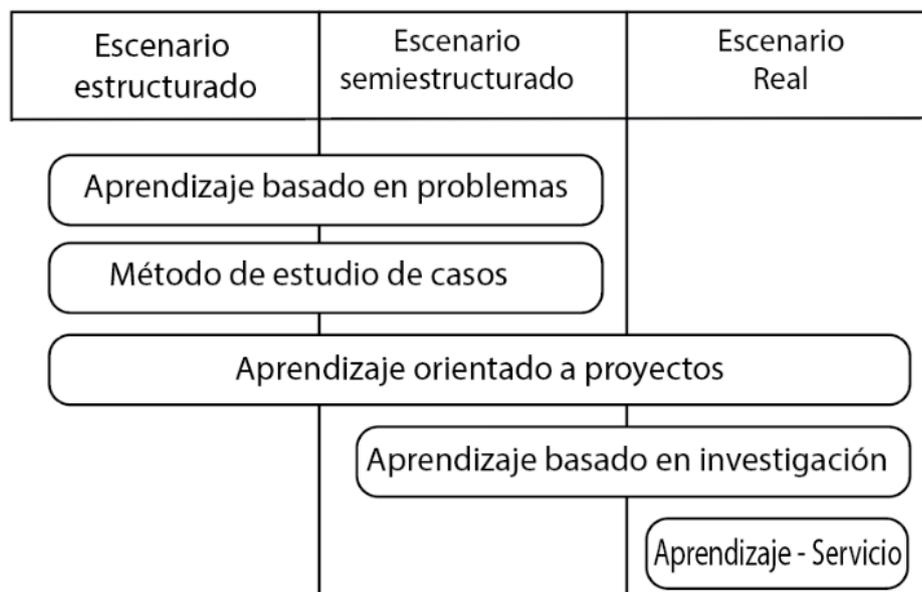


Figura 3. Diagrama comparativo de las técnicas didácticas, acordes con los escenarios donde estas pueden ser implantadas [32].

Las técnicas didácticas que utilizan los docentes para observar y analizar el desempeño del estudiante son:

- Aprendizaje basado en problemas.
- Método de estudio de casos.
- Aprendizaje orientado a proyectos.

- Aprendizaje basado en investigación.
- Aprendizaje – Servicio.

Los instrumentos de evaluación que utilizan los docentes para observar y analizar el desempeño del estudiante son:

- Organizadores gráficos.
- Ensayos.
- Bitácoras de observación.
- Reportes de investigación.

1.2.6 Metodología Singapur

Según los estudios propuestos en [7], [33], la metodología Singapur o también llamado Modelo se desarrolló en 1980, aborda las dificultades de los estudiantes en la comprensión y resolución de problemas matemáticos verbales.

El Método Singapur se ha convertido en una característica heurística para la resolución de problemas matemáticos en el país de Singapur.

El Método Singapur ayuda a los estudiantes a graficar el conocimiento matemático previamente aprendido. Este método enseña a través de una lectura adecuada del planteamiento del problema verbal matemático y la representación mediante el modelo de barras.

El objetivo de la aplicación de este método es proporcionar a los estudiantes un medio para representar las cantidades del problema verbal matemático. Además, este método explica y refuerza la comprensión de conceptos tales como suma, resta, multiplicación, división, fracciones, decimales y porcentajes. Este método puede ser aplicado a todos los niveles educativos.

El Método Singapur está dividido en tres fases: Concreto (*Concrete*), Simbólico (*Symbolic*), Grafico (*Graph*). La figura 4 muestra el diagrama de la metodología Singapur.

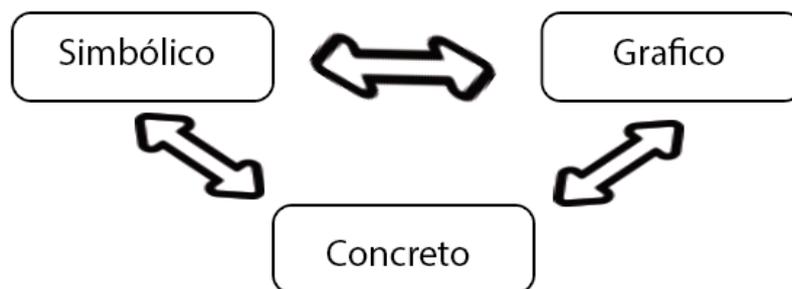


Figura 4. Diagrama explicativo de la metodología Singapur [4].

1.2.7 Visual block Programming

La programación por bloques son entornos visuales que se basan en objetos en lugar de líneas de código. Este tipo de entornos se caracterizan principalmente por ser amigables y fácil de usar.

Este tipo de programación está comúnmente relacionada con el ámbito educativo. La programación por bloques ayuda al pensamiento sistemático y a la lógica racional [34].

1.2.7.1 Scratch

Es un entorno de programación visual por bloques. Scratch fue desarrollado por la división de Educación del MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts).

Scratch permite programar historias interactivas, juegos y animaciones, sin tener conocimientos profundos del código, únicamente al arrastrar y soltar en su entorno [34].

Scratch es utilizado en todo el mundo para enseñar algoritmos y lógica de programación en diferentes niveles educativos[34], [35]. Los elementos principales de Scratch son [36]:

- *Sprites* son imágenes bidimensionales, cada una con su propio código asociado, que permite a los usuarios dar vida a los objetos de varias maneras.
- *Scripts* son bloques de código que pertenecen a un solo objeto.
- *Events* son los movimientos, sonidos y cambios en la apariencia de los Sprites.
- *Signals Events* son interacciones generados por el usuario.
- *Custom blocks* es equivalente a definir procedimientos en otros lenguajes, los procedimientos pueden ser textual, numérico o booleano

La figura 5 muestra el entorno de desarrollo de Scratch 3.0.

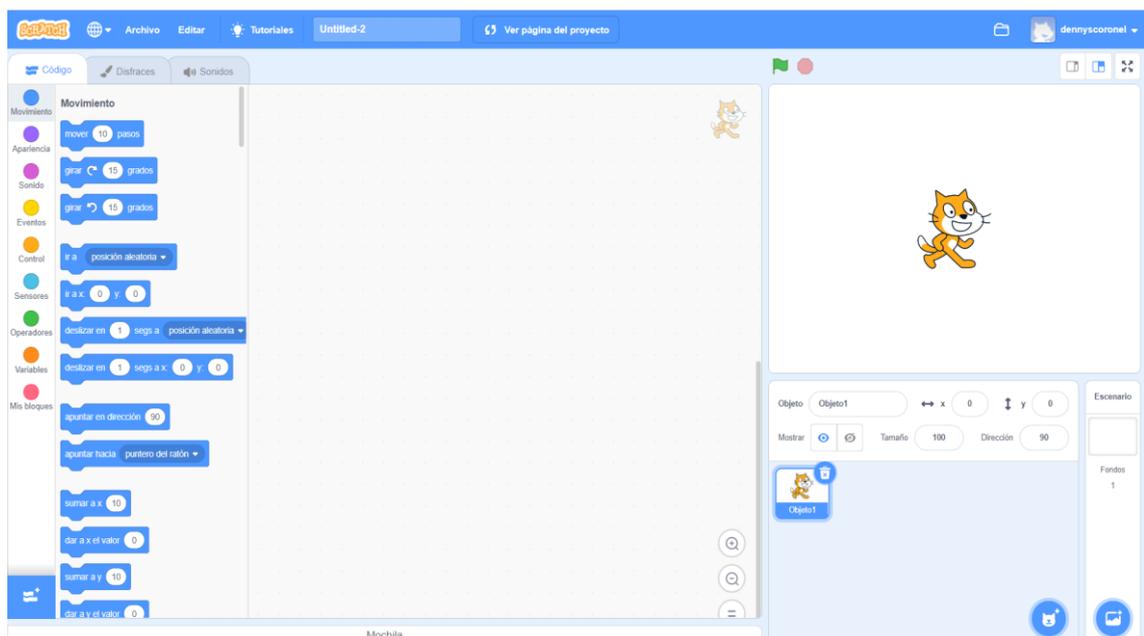


Figura 5. Captura de pantalla del entorno de desarrollo de Scratch 3.0 [37].

1.2.8 Makey Makey

Es una placa similar al mando de una videoconsola con pinzas de cocodrilo, que se pueden enlazar con materiales u objetos conductores. Este dispositivo usa conmutación de alta resistencia.

Makey Makey emplea señales de circuito cerrado para enviarlas al computador. Estas señales se traducen en un clic del ratón o del teclado y puede ser utilizado como comando de entrada por cualquier software [38], [39]. Este dispositivo no requiere controladores o software adicional puesto que utiliza el protocolo HID (Dispositivo de Interfaz Humana). Además, Makey Makey se conecta fácilmente a cualquier computador usando el puerto USB. La figura 6 muestra el dispositivo Makey Makey.

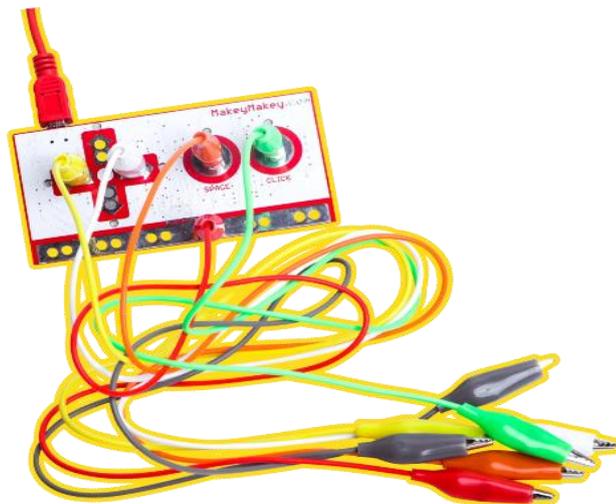


Figura 6. Dispositivo Makey Makey [40].

1.3 Antecedentes contextuales de la investigación

El presente estudio propone el desarrollo de un sistema de Realidad Aumentada para el aprendizaje multisensorial en la materia de la matemática, en el área de resolución de problemas y asimilación de conocimientos, aplicando el método Singapur.

El sistema de aprendizaje multisensorial será probado mediante prueba de conceptos, tiempo de respuesta y accesibilidad sistema

El objetivo de este estudio es disminuir la frustración de los estudiantes frente a los problemas de razonamiento matemático y mejorar la asimilación de conocimientos.

CAPÍTULO 2

En capítulo 2 se describe el marco metodológico, que nos permitirá explicar los mecanismos de investigación utilizados en este estudio.

2.1 Tipo de Estudio o Investigación Realizada

El tipo estudio desarrollado fue bibliográfico, ya que permite la búsqueda, recopilación, organización, valoración y crítica de información bibliográfica. Debido a que es un proceso mediante el cual recopilamos conceptos con el propósito de obtener un conocimiento sistematizado [41], [42].

2.2 Paradigma o enfoque desde el cual se realizó

El enfoque que se utiliza en esta investigación es Cuantitativa[41],[42]. Mediante la prueba de conceptos, tiempo de respuesta del sistema, usabilidad del sistema y aprendizaje de los usuarios en la aplicación.

2.3 Población y muestra

La muestra ha considerarse para esta investigación, es un muestreo no probabilístico. Debido a que mediante un procedimiento de selección homogénea se seleccionó a un grupo de control de 10 estudiantes de edades entre 7 a 8 años.

Se utilizo este tipo de muestra, considerando que se necesitó de un consentimiento informado de padres e instrucción para la recolección de datos de carácter privado. Ya que la legislación vigente en el artículo 52 y 53 del código de la niñez y adolescencia protege la privacidad de los niños.

Además, utilizamos el método estándar de revisión sistemática de la literatura empleando una búsqueda manual en artículos técnicos de alto impacto, publicados en bases de datos como Springer, IEEE Xplorer, Science Direct, ACM, Nature y Elsevier. Para la selección de los estudios correspondientes y los resúmenes se tomaron en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- Estudios sobre sistemas de Aprendizaje de la matemática
- Estudios con resultados. Porcentajes, exactitud, etc.
- Estudios sobre Aprendizaje Multisensorial.
- Estudios sobre Realidad Virtual.
- Estudios con el Método Singapur
- Artículos publicados desde el año 2016
- Artículos publicados en ingles

Se excluyeron los artículos sobre los siguientes temas:

- Realidad virtual
- Realidad mixta

Se utilizó las siguientes cadenas de búsqueda:

- Augmented reality and (Mathematical and Singapore Methodology) + Multisensory Learning
- Augmented reality (Mathematical and Singapore Methodology) + Multisensory Learning
- (Augmented reality and Multisensory Learning) + Singapore Methodology
- (Augmented reality and Makey Makey) + (Singapore Methodology or Mathematical)
- (Augmented reality and (Singapore Methodology or Mathematical)) + Multisensory Learning
- (((("All Metadata":learning math) AND "All Metadata":Augmented reality) AND "All Metadata": Multisensory learning) NOT "All Metadata":virtual reality) NOT "All Metadata":mixed reality)
- "Augmented reality" AND "learning math"

El total de artículos revisados fueron 145 y se realizó la lectura y el análisis completo de 30 artículos que cumplieron con los parámetros establecidos.

La tabla 1 presenta el número de artículos revisados según su Base de Datos.

Tabla 1. Artículos revisados según su Base de Datos

BASE DE DATOS	ARTÍCULOS
IEEE Xplorer	25
Springer	70
Science Direct	8
ACM	11
Nature	2
Elsevier	28
Scielo	1
TOTAL	145

2.4 Métodos teóricos con los materiales utilizados

Se aplicará el método de observación experimental, debido a que se obtendrá datos para valorar el conocimiento de los estudiantes. Será planificada y controlada [41], [42]. El instrumento de evaluación a utilizada será prueba de test inicial y un test luego de la aplicación Multi-sin. Además, se ha utilizado la técnica de caja negra y métricas de calidad.

2.5 Métodos empíricos con los materiales utilizados

Los métodos empíricos utilizados fueron:

- Prototipo, debido a que se desarrolló un sistema multisensorial
- SRL, debido a que se realizó un proceso de búsqueda sistemática de artículos científicos para su análisis.

2.6 Métodos estadísticos para el procesamiento de los datos obtenidos

El método estadístico utilizado en esta investigación fue la estadística descriptiva, es decir las medidas de tendencia central.

2.7 Análisis Metodológico

Se ha analizado diferentes trabajos relacionados con nuestra investigación.

La tabla 2 presenta los datos, métodos de aprendizaje y el tipo de aplicación utilizados en los diferentes trabajos relacionados. Esta tabla acentúa el estado actual de los estudios realizados en esta área [43].

Tabla 2 Comparación de las metodologías entre trabajos relacionados.

Datos		Método de Aprendizaje			Tipo de aplicación		
Autor	Año	Gamificación	Método Singapur	Otros métodos	Aplicaciones Web	Aplicaciones de Dispositivos móviles	Herramientas Humano-Computador
E. Gutiérrez de Ravé [43]	2016	-	-	✓	-	✓	-
Teemu H. Laine [44]	2016	-	-	✓	-	✓	✓
Chien-Yu Lin [45]	2016	-	-	✓	-	✓	-
Julio Cristian Young [1]	2016	-	-	✓	-	✓	-
Manuel J. Ibarra [47]	2016	-	-	✓	✓	✓	-
Miloš Roglić [48]	2016	-	-	✓	-	-	✓
Opeyemi Dele-Ajayi [49]	2016	-	-	✓	-	-	✓
Andrés Solano [50]	2017	-	-	✓	-	✓	-
Simone Ghisio [51]	2017	-	-	✓	-	-	✓
Diego Avila Pesantez [52]	2018	-	-	✓	-	-	✓
Enrui Liu [53]	2018	-	-	✓	-	✓	-
Rachid Lamrani [54]	2018	✓	-	✓	-	-	-
Bambang Cahyono [55]	2018	-	-	-	-	✓	-
Pratiti Sarkar [56]	2018	-	-	✓	-	✓	-
Charles Gouin-Vallerand [57]	2018	-	-	✓	-	✓	-
Berinderjeet Kaur [58]	2019	-	✓	-	-	-	-
Linda Medina Herrera [59]	2019	-	-	✓	-	✓	✓
Lin Deng [60]	2019	✓	-	-	-	✓	✓
Rolando Neira [4]	2019	-	✓	✓	-	✓	✓
Jingya Li [61]	2020	-	-	✓	-	-	✓
Shubham Gargrish [62]	2020	-	-	✓	-	✓	-
Md Asifur Rahman[63]	2020	-	-	✓	-	-	✓

2.8 Diseño

Se dividió en dos fases el proceso de diseño del sistema de aprendizaje con realidad aumentada.

La Primera fase (Prototipo hardware), se utilizó el dispositivo Makey Makey. Mediante una pinza de tipo cocodrilo se enlazo un objeto conductor a una entrada del circuito Makey Makey, cada enlace crea un circuito abierto.

En la figura 7 muestra el circuito abierto correspondiente a la entrada etiquetada con D12.

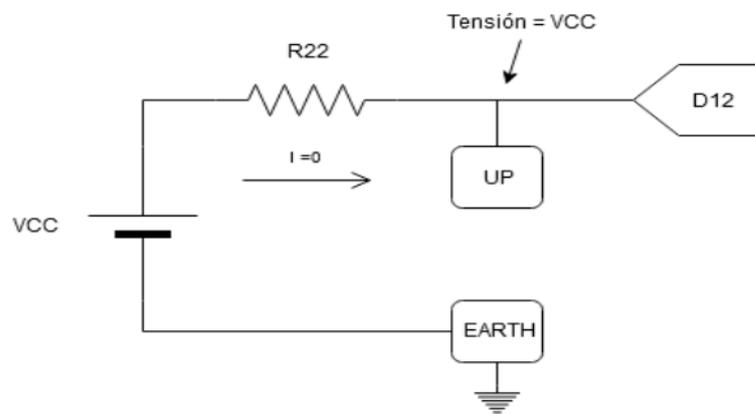


Figura 7. Circuito abierto correspondiente a la entrada D12.

En la figura 8 muestra el circuito cerrado correspondiente a la entrada etiquetada con D12.

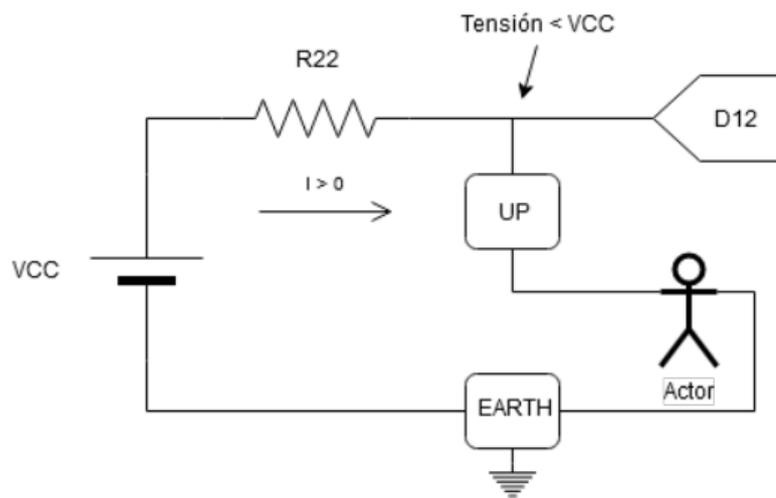


Figura 8. Circuito cerrado correspondiente a la entrada D12.

La Segunda fase (Sistema Software), se desarrolló una aplicación Web monolítica con la arquitectura cliente-servidor llamada MULTI-SIN, en un entorno de programación por bloques llamado Scratch.

En la figura 9 muestra la arquitectura de MULTI-SIN.

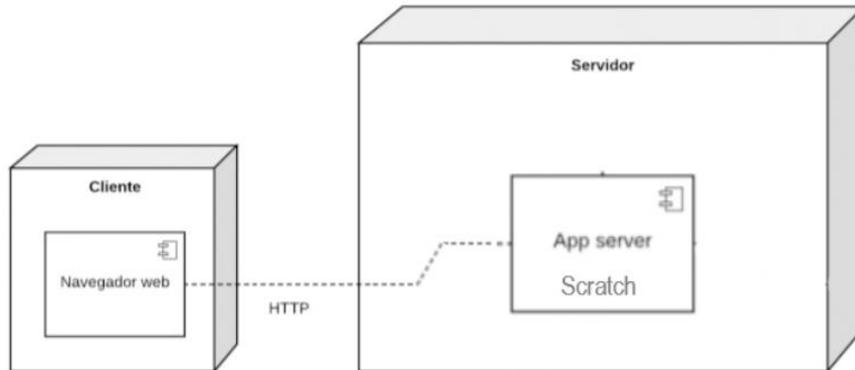


Figura 9.Arquitectura de Software MULTI-SIN.

MULTI-SIN está conectado con el servicio Web de Amazon web, que nos ayuda a generar diferentes voces y JoyLabz que permite interactuar con el dispositivo Makey Makey. Además, aplicamos la metodología de aprendizaje Singapur y la Realidad Aumentada.

2.9 Desarrollo

MULTI-SIN consta de una Interfaz lógica y física conectadas directamente.

La Interfaz lógica consta de dos componentes de aprendizaje, comprensión de conceptos y ejercicios verbales compiladas con el entorno de desarrollo Scratch.

La Interfaz física es la conexión al dispositivo Makey Makey y la cámara.

La Figura 9 muestra la conexión y comunicación entre Interfaz lógica y física.

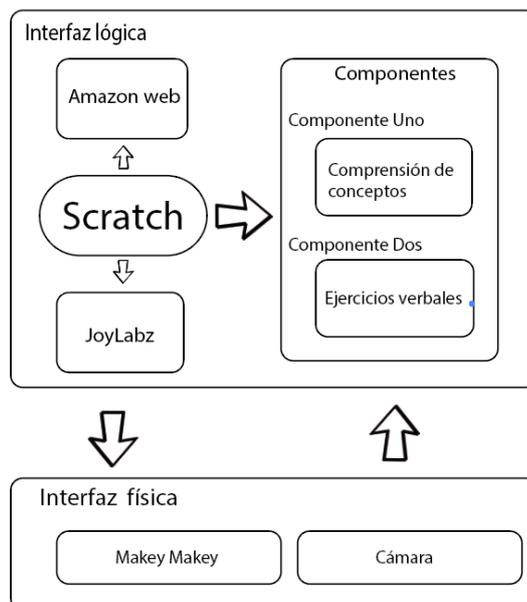


Figura 10. Diagrama de integración entre Interfaz lógica y física.

2.10 Implementación y pruebas

Se realizó una prueba de concepto, mediante la técnica de la caja negra.

Descripción del caso número uno: Interacción del usuario con el sistema MULTI-SIN.

Resultado esperado (Salida): El sistema se ejecuta sin errores.

La figura 11 muestra el diagrama de caso de uso del sistema MULTI-SIN.

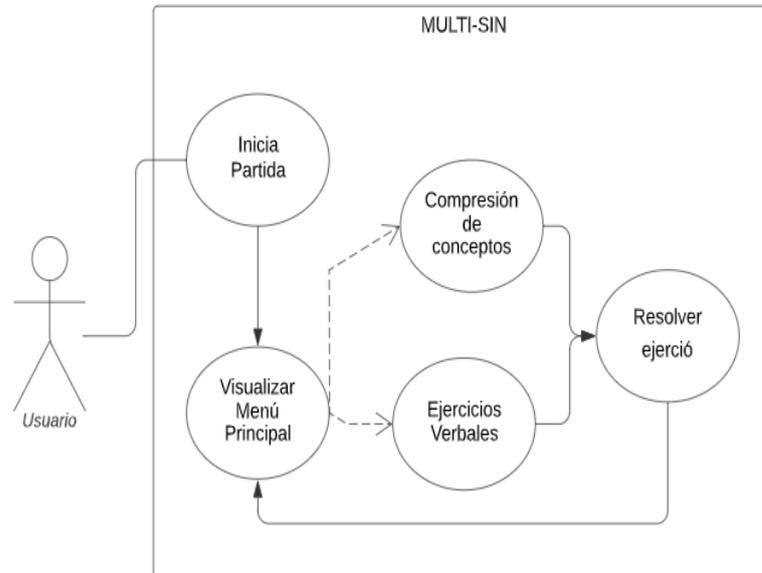


Figura 11 Diagrama de caso uso número uno del sistema MULTI-SIN.

En la figura 12 muestra sistema ejecutándose correctamente.

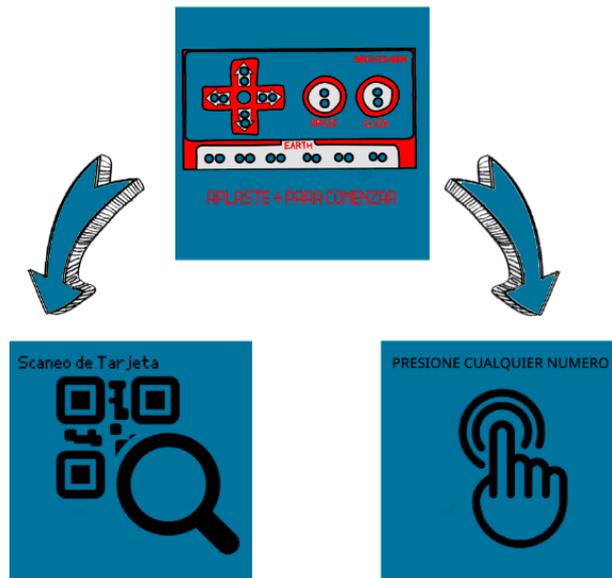


Figura 12. Captura de pantalla del sistema MULTI-SIN ejecutándose correctamente

Descripción del caso numero Dos: Interacción del usuario con el componente uno (Compresión de conceptos).

Resultado esperado (Salida): El Componente uno se ejecuta sin errores.

En la figura 13 muestra el diagrama de caso de uso del componente uno.

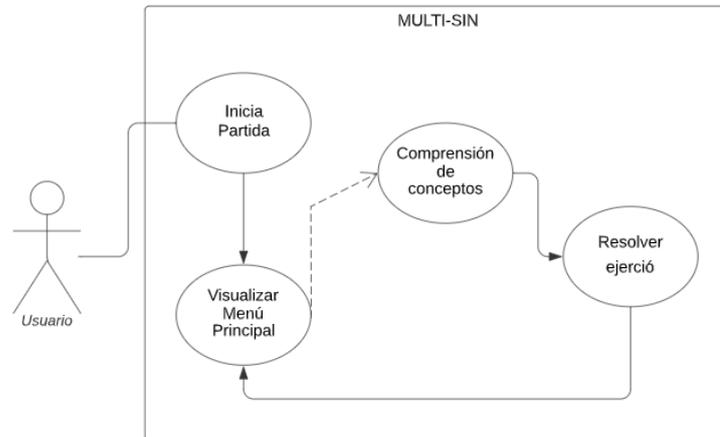


Figura 13. Diagrama de caso de uso del componente uno

En la figura 14 muestra el componente uno ejecutándose correctamente.

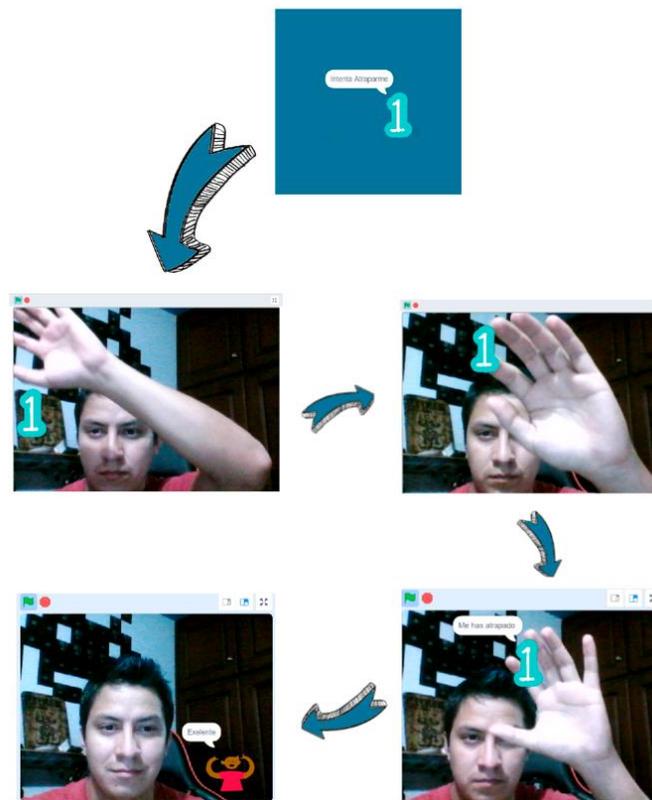


Figura 14. Captura de pantalla de ejecución del componente uno ejecutándose correctamente.

Descripción del caso número Tres: Interacción del usuario con el componente dos (Ejercicios Verbales).

Resultado esperado (Salida): El Componente Dos se ejecuta sin errores.

En la figura 15 muestra el diagrama de caso de uso del componente dos.

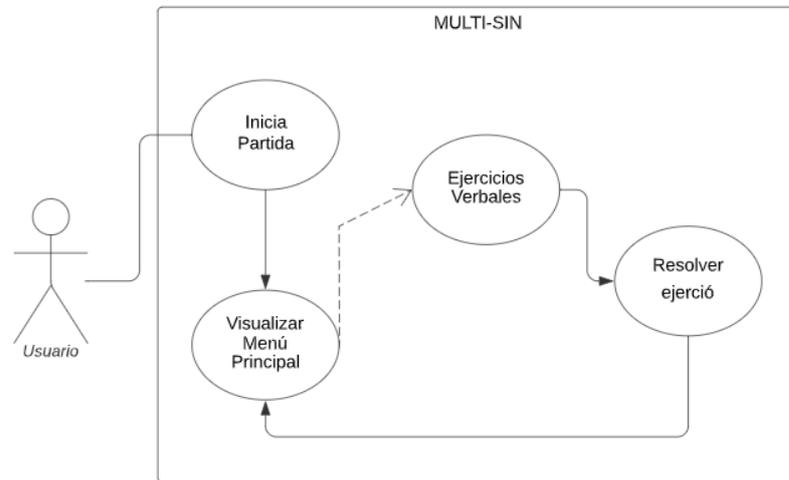


Figura 15. Diagrama de caso de uso del componente dos.

En la figura 16 muestra el componente uno ejecutándose correctamente.

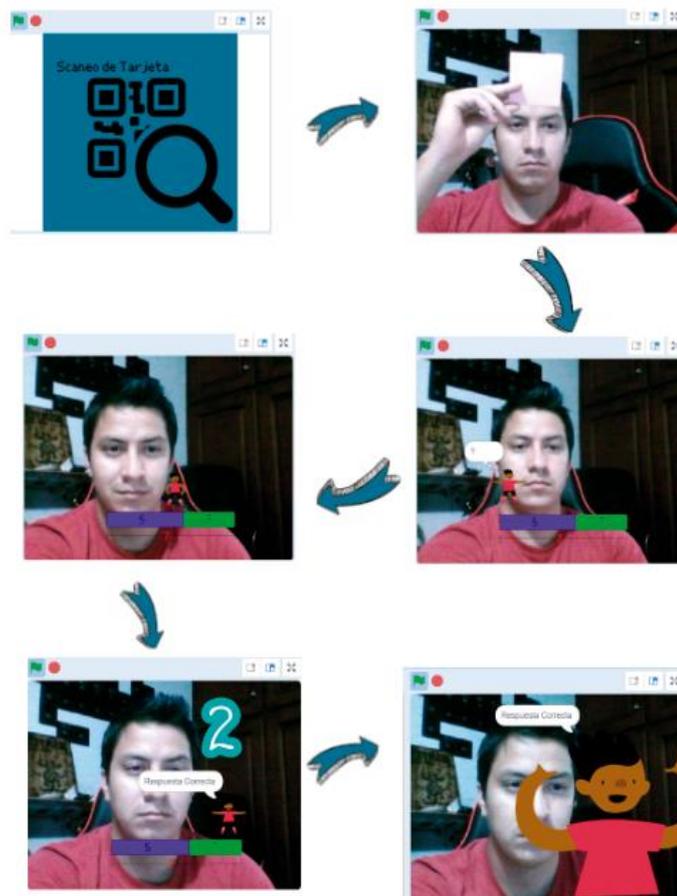


Figura 16. Captura de pantalla de ejecución del componente dos ejecutándose correctamente

CAPÍTULO 3

En este capítulo se describe los resultados obtenidos al poner en ejecución el sistema de aprendizaje multisensorial aplicando realidad aumentada. Cabe mencionar que como derivado de la investigación, se logró la publicación de un artículo científico titulado “*Multisensory Learning System Applying Augmented Reality*” en la *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2020 – Scopus (Q3)*.

En el Anexo 1 se adjunta el artículo científico publicado.

Además, MULTI-SIN ha sido inscrito en el registro de derecho de autor en el Servicio Nacional de Derechos Intelectuales - SENADI.

En el Anexo 2 se muestra el certificado del registro del SENADI (Servicio Nacional de Derechos Intelectuales).

3.1. “MULTI-SIN” sistema de aprendizaje multi sensorial

Se desarrolló el sistema en dos fases:

3.1.1. Prototipo - Hardware (Primera fase)

Se designa y se conecta cada objeto conductor con forma de numero o símbolo a un puerto de entrada de la placa Makey Makey con pinzas de cocodrilo o cable, como se muestra en la figura 17. El propósito fue generar señal cuando se cierra cada uno de los circuitos entre el conductor de tierra ("GROUND") y el puerto de entrada. Los puertos de entrada están conectado al microcontrolador y directamente a una resistencia R24 (22MΩ).

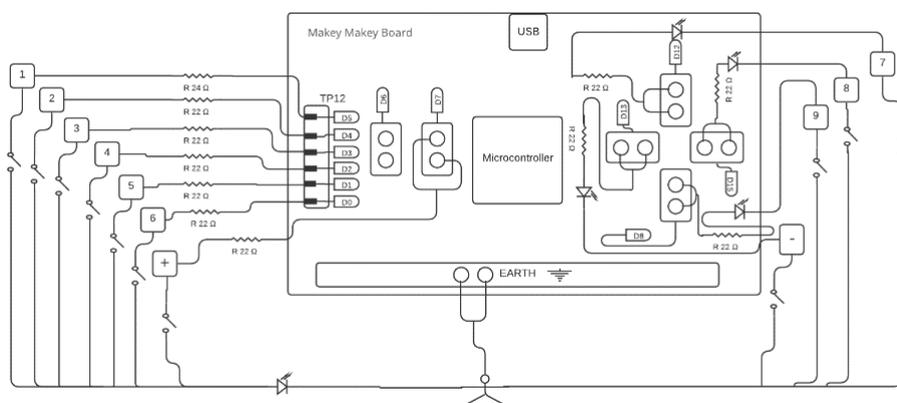


Figura 17. Diagrama de Circuito del prototipo “MULTI-SIN”.

3.1.2. Sistema - Software (Segunda fase)

MULTI-SIN es un prototipo monolítico, consta de una Interfaz lógica y física conectadas directamente. La Figura 18 muestra la conexión de la Interfaz lógica y física. La Interfaz física es la conexión al dispositivo Makey Makey y la cámara. La Interfaz lógica consta de dos componentes comprensión de conceptos y ejercicios verbales.

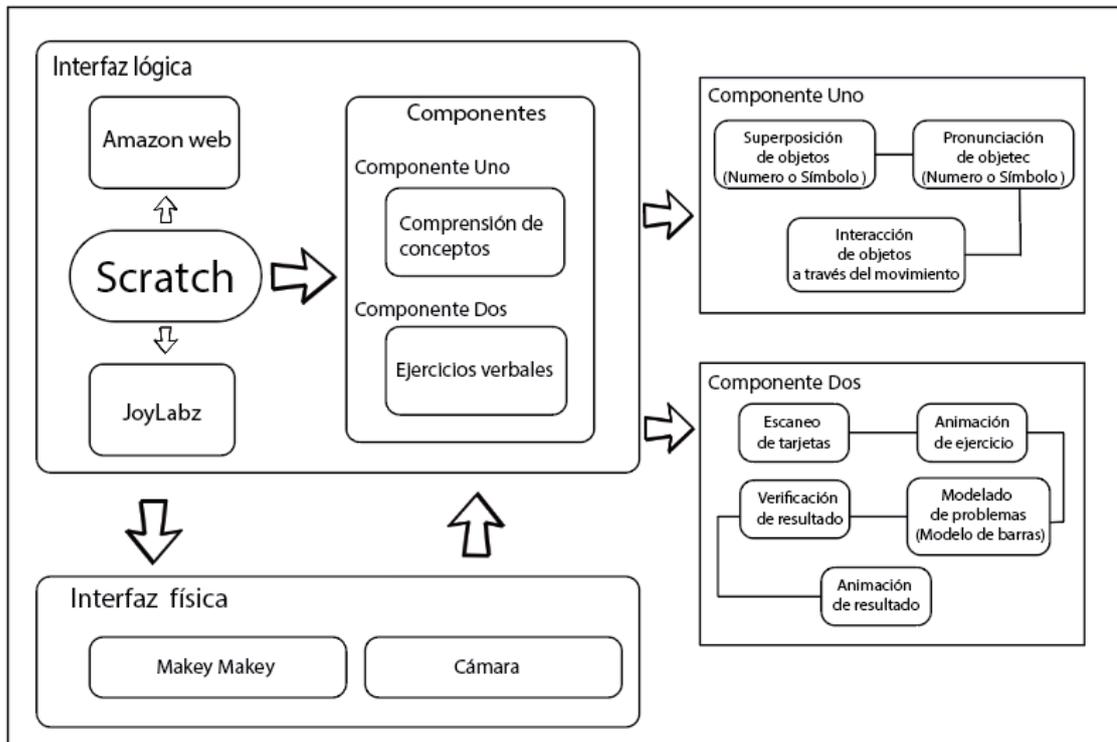


Figura 18. Diagrama de Framework del sistema informático "MULTI-SIN".

Componente uno (Comprensión de conceptos), al pulsar un numero o símbolo del prototipo hardware MULTI-SIN se genera una señal, donde el sistema MULTI-SIN muestra el objeto que fue presionado en la pantalla. En la figura 19 se muestra la interacción del prototipo hardware con el sistema.

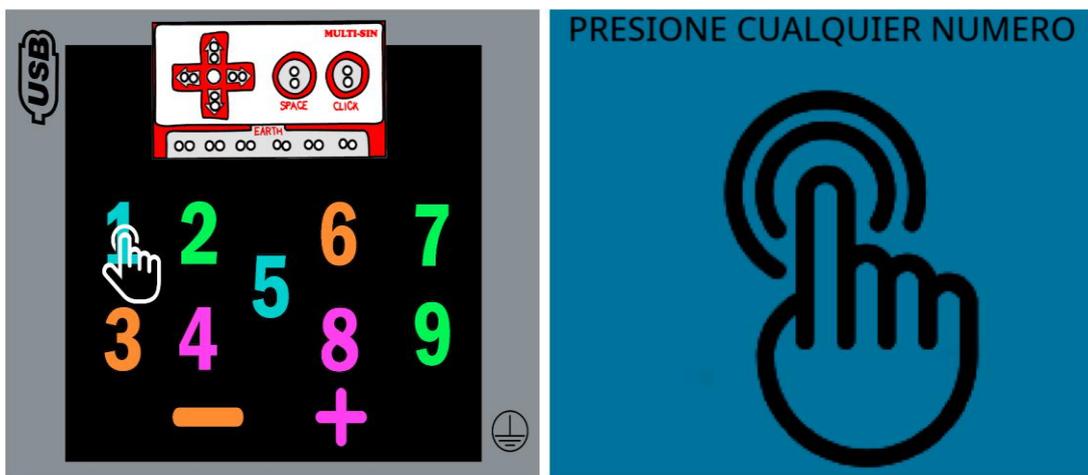


Figura 19. Captura de pantalla de la interacción prototipo hardware con el sistema.

El objeto pulsado se moverá de forma aleatoria al intentar tocarlo.

En la figura 20 muestra la interacción de sistema mediante la cámara, al detectar el movimiento de la mano sobre el objeto presentado.

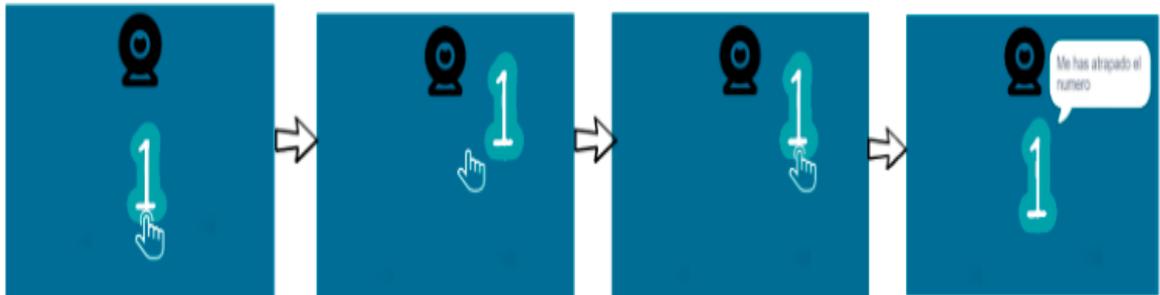


Figura 20. Captura de pantalla de la interacción del sistema mediante el moviente. Ejercicios verbales (componente dos), al mostrar la parte posterior de la tarjeta del problema verbal a la cámara. La figura 21 muestra la interacción de la tarjeta con el sistema.

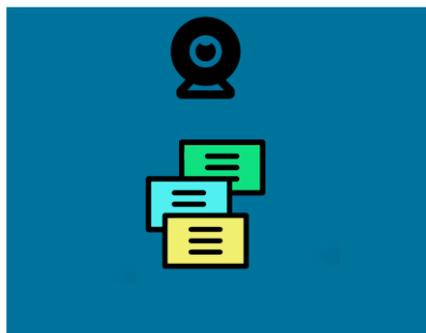


Figura 21. Captura de pantalla de la interacción del sistema a través de una tarjeta predeterminada.

MULTI-SIN muestra la animación del problema verbal y lo grafica mediante el modelo de barras. La figura 22 muestra la animación del problema verbal y su grafica de barras.

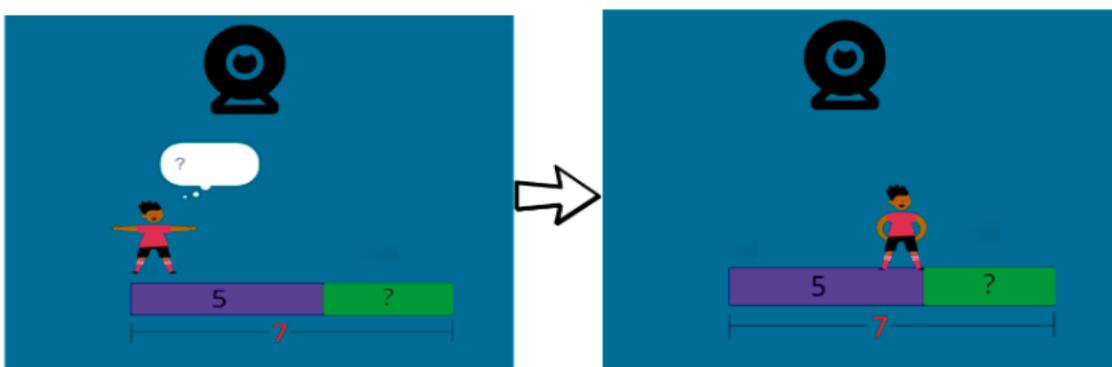


Figura 22. Captura de pantalla de la animación del problema verbal y su grafica de barras.

MULTI-SIN muestra cada componente del problema y al presionar una pieza numérica.

MULTI-SIN verifica si la respuesta es correcta, generando una animación en pantalla diferente si la respuesta es correcta o incorrecta.

La figura 23 muestra la interacción del prototipo al enviar una respuesta correcta al sistema multisensorial.

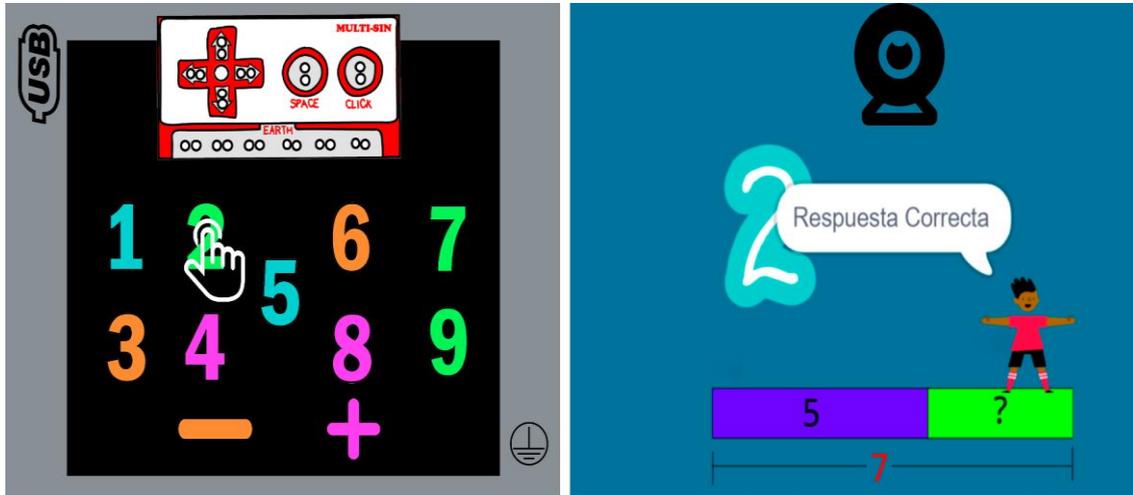


Figura 23. Captura de pantalla de la interacción del prototipo con el componente dos del sistema.

Se realizó una prueba empírica a un grupo controlado (diez estudiantes, 7 niños y 3 niñas). Se evaluó el tiempo de respuesta, aprendizaje de los usuarios, evaluación de usabilidad y de accesibilidad del sistema. Para la evaluación del tiempo de respuesta, se tomó el tiempo de atención en segundos de cada operación matemática planteada en cada módulo a cada estudiante, después se calculó la media aritmética de tiempo de atención por cada módulo y se lo grafico mediante diagrama Line Plot, como se lo muestra en la Figura 24. La tabla 3 muestra los resultados de la evaluación de tiempo de atención por modulo.

Tabla 3. Resultado de tiempo de atención por modulo del prototipo MULTI-SIN.

TIEMPO DE ATENCIÓN DE USUARIOS POR MÓDULOS		
	MOD1 (segundos)	MOD2 (segundos)
USR1	298,46	400,67
USR2	292,12	398,32
USR3	297,53	395,10
USR4	296,68	401,35
USR5	300,18	399,19
USR6	298,10	396,63
USR7	301,06	394,58
USR8	298,45	398,51
USR9	296,10	397,96
USR10	294,98	399,62

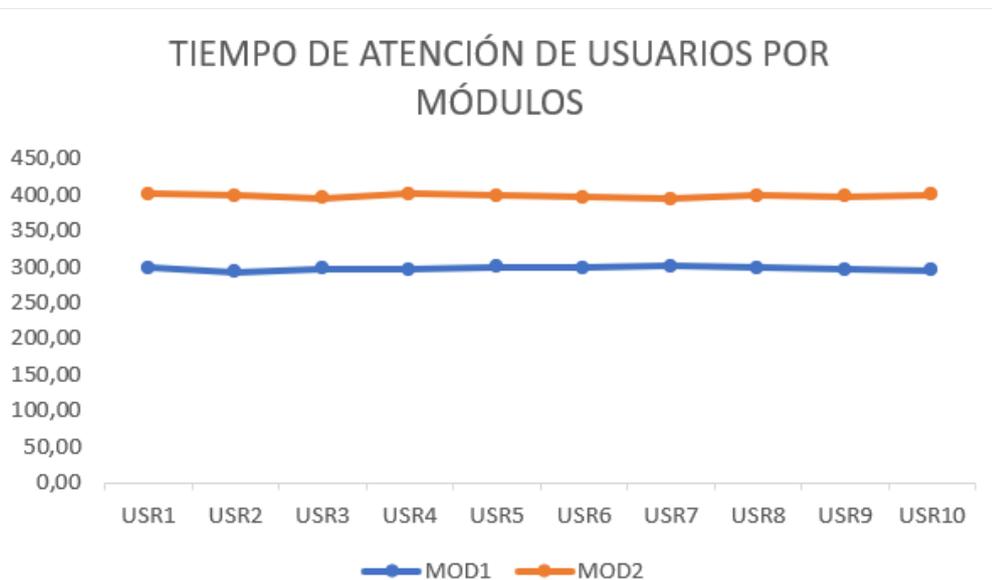


Figura 24. Diagrama lineal que ilustra la media del tiempo de atención por módulo del sistema MULTISIN.

Para la evaluación de usabilidad del sistema, se realizó encuesta sobre la usabilidad de cada módulo, con escala del 1 al 10. La tabla 3 presenta la evaluación de usabilidad del sistema MULTISIN por Modulo.

La Figura 25 muestra el resultado de usabilidad el módulo uno del sistema MULTISIN y la Figura 26 muestra el resultado de usabilidad el módulo dos del sistema MULTISIN.

Tabla 4. Resultado de usabilidad por modulo del prototipo MULTI-SIN.

USABILIDAD DE USUARIOS POR MODULO		
	MOD1	MOD2
USR1	9	10
USR2	9	9
USR3	10	9
USR4	10	10
USR5	10	9
USR6	10	10
USR7	9	10
USR8	10	10
USR9	9	10
USR10	10	10

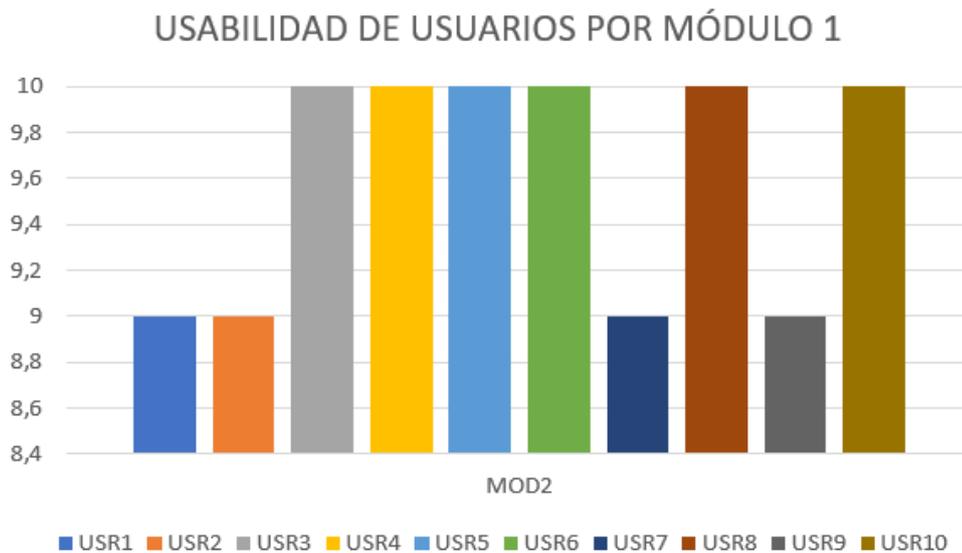


Figura 25. Diagrama de barras que ilustra el resultado de usabilidad el módulo uno del sistema MULTISIN.

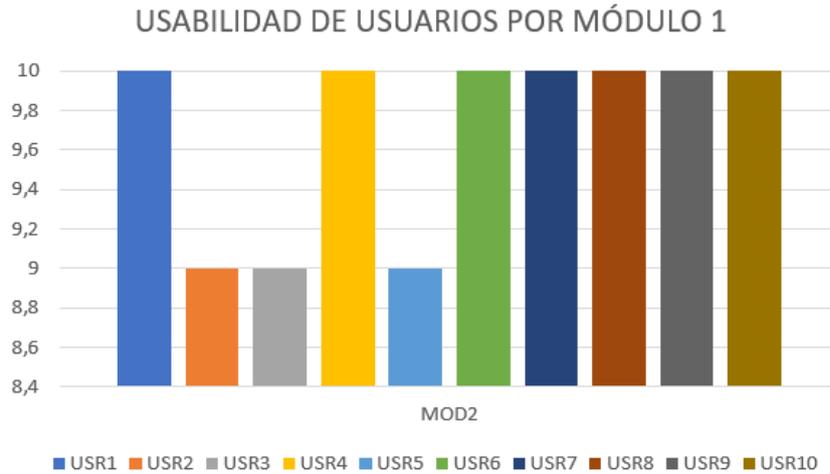


Figura 26. Diagrama de barras que ilustra el resultado de usabilidad el módulo dos del sistema MULTISIN.

Para la evaluación de evaluación del aprendizaje, se realizó dos diferentes test.

- INICIAL: Prueba de test inicial de conocimientos de matemáticas.
- PRUEBA: Test luego de la aplicación MULTISIN.

La tabla 5 presenta los resultados de la evaluación del aprendizaje del prototipo MULTISIN y en la Figura 27 muestra el resultado de la evaluación del aprendizaje

Tabla 5. Resultado del aprendizaje del prototipo MULTI-SIN.

APRENDIZAJE DE USUARIOS EN LA APLICACIÓN		
	INICIAL	PRUEBA
USR1	3	8
USR2	5	7
USR3	2	8
USR4	1	8
USR5	4	9
USR6	2	8
USR7	1	7
USR8	2	9
USR9	3	8
USR10	4	7

APRENDIZAJE DE USUARIOS EN LA APLICACIÓN

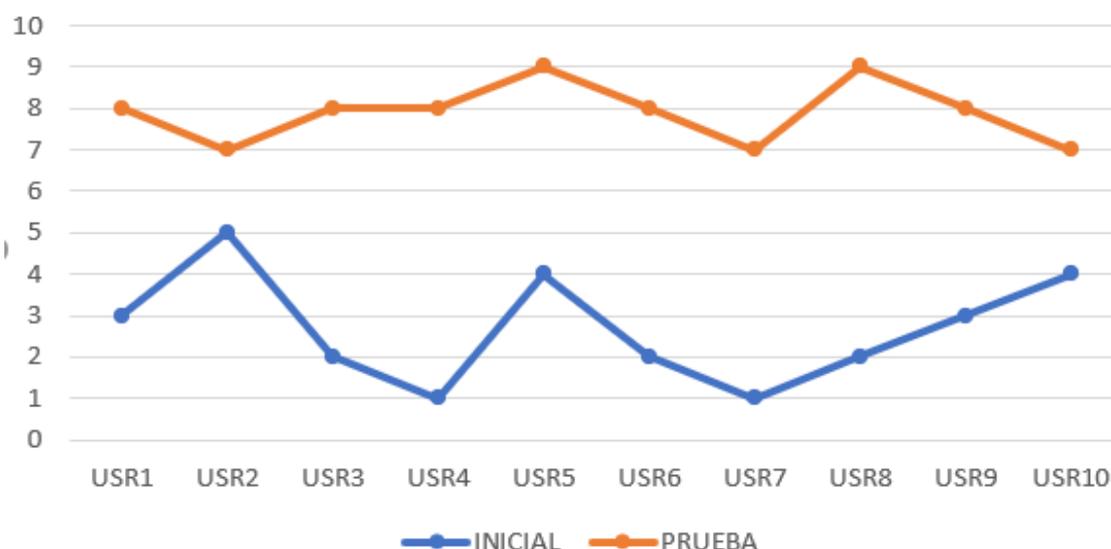


Figura 27. Diagrama de lineal que ilustra el resultado del aprendizaje inicial y prueba del prototipo MULTISIN.

Para la evaluación de la accesibilidad del sistema se establecieron las siguientes métricas de calidad.

Porcentaje de información visual distinta, se calcula en base a la relación entre la cantidad de imágenes distintas y la cantidad total de imágenes en el sistema, cuando existe una igualdad matemática entre estas dos variables, la métrica se cumple al 100%.

Porcentaje de imágenes con texto alternativo, se calcula en base a la relación entre la cantidad de imágenes con texto alternativo y la cantidad total de imágenes, cuando existe una igualdad matemática entre estas dos variables, la métrica se cumple al 100%.

Porcentaje de páginas muertas, se cuenta la cantidad de páginas muertas (No poseen ningún enlace), si esta variable es igual a 0, la métrica se cumple al 100%.

Porcentaje de número de enlaces rotos internos, se cuenta la cantidad de número de enlaces rotos internos (enlaces internos inexistentes). Si esta variable es igual a 0, la métrica se cumple al 100% [64]. La tabla 3 muestra los resultados de la evaluación MULTI-SIN.

Tabla 6. Resultado de accesibilidad del prototipo MULTI-SIN.

Métrica	Porcentaje
Porcentaje de información visual distinta [65].	100%
Porcentaje de imágenes con texto alternativo [66].	100%
Porcentaje de páginas muertas [67].	100%
Porcentaje de número de enlaces rotos internos [68].	100%

Los resultados obtenidos en tiempo de atención fueron similares con el de trabajo realizado por [6], dado que mejoraron el aprendizaje en la fase de abstracción del problema en tiempos cortos. Otro trabajo relevante en los resultados fue el presentado por [20], ya que en ambos casos se aumentaron la motivación e interés al autoaprendizaje, aumentando un 52.00% al utilizar el prototipo MULTI-SIN.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El uso de la metodología Singapur, ayuda a mejorar la comprensión de conceptos matemáticos y orienta a la resolución de problema de manera intuitiva. Sin embargo, la aplicación de esta metodología requiere un vasto conocimiento para su aplicación.

El uso de Scratch nos permite publicar nuestro proyecto en el internet de manera gratuita. También Scratch tiene una interfaz intuitiva y de fácil comprensión de sus componentes. Además, Scratch permite conectarse a diferentes servicios Web para mejorar la interacción humano-computador. La ejecución de Scratch depende de la velocidad de conexión, debido a que se ejecuta desde un navegador web. El navegador recomendado para ejecución Scratch es Google Chrome.

Makey Makey nos permite observar diferentes experiencias que se pueden realizar y adaptar en cualquier parte. Además, es portable y se puede conectar mediante usb a cualquier computador.

La Realidad Aumentada es una tecnología futurista, que es adaptable en diferentes ámbitos como la educación. La Realidad Aumentada ofrece un aprendizaje fácil e intuitivo. Una desventaja de la Realidad Aumentada es que está todavía en fase experimental y existe desconocimiento de esta tecnología.

La combinación y utilización de Scratch, metodología Singapur, Makey Makey y la Realidad Aumentada fueron óptimos, dado que en la evaluación de tiempo de atención de los estudiantes con el sistema fue menor a un minuto en cada operación verbal, esto mejoro el aprendizaje en la fase de abstracción del problema y disminuyo la frustración de los estudiantes y aumento un 52.00% de aprendizaje al utilizar el prototipo MULTI-SIN.

Además, MULTI-SIN cumple con métricas de accesibilidad, con el objetivo de ser un sistema de calidad.

RECOMENDACIONES

De la experiencia adquirida durante el proceso de estudio y como trabajo futuro de investigación, se plantea añadir nuevas áreas de estudio del aprendizaje como el artículo publicado por [69].

Por ejemplo, en el área del lenguaje, aprendizaje del abecedario y nombre de objetos en diferentes idiomas. En el área la música aprender y reconocer notas musicales. En el área de Computación, crear juegos sencillos para el entendimiento de conceptos básicos de programación y entre otras. Al aplicar diferentes metodologías se estimula a los estudiantes a enriquecer el aprendizaje.

El Framework de MULTI-SIN es flexible y permite la combinación e integración de otras áreas de estudio con diferentes métodos de aprendizaje.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. C. Young, M. B. Kristanda, and S. Hansun, "ARmatika: 3D game for arithmetic learning with Augmented Reality technology," in *2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, 2016, pp. 355–360, doi: 10.1109/IAC.2016.7905744.
- [2] C. Y. C. Yeh, H. N. H. Cheng, Z. H. Chen, C. C. Y. Liao, and T. W. Chan, "Enhancing achievement and interest in mathematics learning through Math-Island," *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, vol. 14, no. 1, pp. 1–19, Dec. 2019, doi: 10.1186/s41039-019-0100-9.
- [3] X. Wei *et al.*, "Effect of the flipped classroom on the mathematics performance of middle school students," *Educational Technology Research and Development*, vol. 68, no. 3, pp. 1461–1484, Jun. 2020, doi: 10.1007/s11423-020-09752-x.
- [4] R. Neira, L. Barba-Guaman, and A. González-Eras, "MateBrun: Serious game as a strategy to teach basic arithmetic operations for six-years-old children," *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 1–4, Sep. 2019, doi: 10.1145/3358961.3358974.
- [5] I. Arroyo, M. Micciollo, J. Casano, E. Ottmar, T. Hulse, and Ma. M. Rodrigo, "Wearable learning: Multiplayer embodied games for math," in *CHI PLAY 2017 - Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, Oct. 2017, pp. 205–216, doi: 10.1145/3116595.3116637.
- [6] B. Kaur, "The why, what and how of the 'Model' method: a tool for representing and visualising relationships when solving whole number arithmetic word problems," *ZDM*, vol. 51, no. 1, pp. 151–168, Apr. 2019, doi: 10.1007/s11858-018-1000-y.
- [7] O. L. Men, Z. Ismail, and M. Abidin, "Using Maths Model Method In Solving Pre-Algebraic Problems Among Year Five Students," in *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, Dec. 2018, pp. 222–227, doi: 10.1109/TALE.2018.8615364.
- [8] L. Medina Herrera, J. Castro Pérez, and S. Juárez Ordóñez, "Developing spatial mathematical skills through 3D tools: augmented reality, virtual environments and 3D printing," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 13, no. 4, pp. 1385–1399, Dec. 2019, doi: 10.1007/s12008-019-00595-2.
- [9] OCDE, "Acerca de la OCDE - OECD," *pagina oficial en México*, 2020. <https://www.oecd.org/acerca/> (accessed Aug. 15, 2020).
- [10] PISA, "Base de datos 2018," 2018. <https://www.oecd.org/pisa/data/2018database/> (accessed Aug. 15, 2020).
- [11] UNESCO, "Estudio TERCE 2013." <https://es.unesco.org/fieldoffice/santiago/lece/TERCE2013> (accessed Aug. 31, 2020).

- [12] UNESCO, "Informe de resultados TERCE: logros de aprendizaje - UNESCO Biblioteca Digital," *Biblioteca Digital Unesdoc*, 2015. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000243532> (accessed Sep. 06, 2020).
- [13] OECD, "Sobre la Evaluación de competencias de adultos (PIAAC) - OECD." <https://www.oecd.org/skills/evaluaciones-de-competencias/evaluaciondecompetenciasdeadultospiaac.htm> (accessed Sep. 14, 2020).
- [14] B. Kitchenham, O. Pearl Brereton, D. Budgen, M. Turner, J. Bailey, and S. Linkman, "Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review," *Information and Software Technology*, vol. 51, no. 1. Elsevier, pp. 7–15, Jan. 01, 2009, doi: 10.1016/j.infsof.2008.09.009.
- [15] F. A. Pritami and I. Muhimmah, "Digital game based learning using augmented reality for mathematics learning," *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 254–258, Feb. 2018, doi: 10.1145/3185089.3185143.
- [16] J. Cerqueira, C. Sylla, J. M. Moura, and L. Ferreira, "Learning Basic Mathematical Functions with Augmented Reality," *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, vol. 265, pp. 508–513, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-06134-0_53.
- [17] A. van der Stappen, Y. Liu, J. Xu, X. Yu, J. Li, and E. D. van der Spek, "MathBuilder: A collaborative AR math game for elementary school students," in *CHI PLAY 2019 - Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, Oct. 2019, vol. 19, pp. 731–738, doi: 10.1145/3341215.3356295.
- [18] Manisha and A. Mantri, "An augmented reality application for basic mathematics: Teaching and assessing kids' learning efficiency," in *Proceedings - 2019 5th International Conference on Computing, Communication Control and Automation, ICCUBEA 2019*, Sep. 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICCUBEA47591.2019.9129083.
- [19] W. H. Chao, C. Y. Yang, and R. C. Chang, "A Study of the Interactive Mathematics Mobile Application Development," in *1st IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention, ICKII 2018*, Dec. 2018, pp. 248–249, doi: 10.1109/ICKII.2018.8569126.
- [20] J. Li, E. Van Der Spek, J. Hu, and L. Feijs, "SEE ME ROAR: Self-determination enhanced engagement for math education relying on augmented reality," in *CHI PLAY 2017 Extended Abstracts - Extended Abstracts Publication of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, Oct. 2017, pp. 345–351, doi: 10.1145/3130859.3131316.
- [21] S. Price, S. Duffy, and M. Gori, "Developing a pedagogical framework for designing a multisensory serious gaming environment," in *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI International Workshop on Multimodal Interaction for Education - MIE 2017*, 2017, pp. 1–9, doi: 10.1145/3139513.3139517.

- [22] M. B. Ibáñez and C. Delgado-Kloos, “Augmented reality for STEM learning: A systematic review,” *Computers and Education*, vol. 123, pp. 109–123, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.compedu.2018.05.002.
- [23] R. Palmarini, J. A. Erkoyuncu, R. Roy, and H. Torabmostaedi, “A systematic review of augmented reality applications in maintenance,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 49. Elsevier Ltd, pp. 215–228, Feb. 01, 2018, doi: 10.1016/j.rcim.2017.06.002.
- [24] T. Drummond, “Edu Trends Realidad Aumentada y Realidad Virtual,” *Observatorio de Innovación Educativa*, pp. 70–72, 2007, Accessed: Nov. 11, 2020. [Online]. Available: <https://observatorio.tec.mx/edu-trends-realidad-virtual-y-realidad-aumentada>.
- [25] N. P. Ololube, P. J. Kpolovie, and L. N. Makewa, *Handbook of Research on Enhancing Teacher Education with Advanced Instructional Technologies*. IGI Global, 2015.
- [26] D. Navarro Lores and M. Samón Matos, “Redefinición de los conceptos método de enseñanza y método de aprendizaje,” *EduSol*, vol. 17, no. 60, p. 3, 2017, Accessed: Nov. 04, 2020. [Online]. Available: https://www.redalyc.org/pdf/4757/Resumenes/Resumen_475753184013_1.pdf.
- [27] “Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán.” <http://www.frt.utn.edu.ar/eventos/semanaingenieria2015/?s=1264> (accessed Nov. 11, 2020).
- [28] UNAM, “EduTrends Gamificación — Observatorio de Innovación Educativa,” 2016. <https://observatorio.tec.mx/edutrendsgamificacion> (accessed Nov. 12, 2020).
- [29] J. Bassen *et al.*, “Reinforcement Learning for the Adaptive Scheduling of Educational Activities,” in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Apr. 2020, pp. 1–12, doi: 10.1145/3313831.3376518.
- [30] Y. Madani, H. Ezzikouri, M. Erritali, and B. Hssina, “Finding optimal pedagogical content in an adaptive e-learning platform using a new recommendation approach and reinforcement learning,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, no. 10, pp. 3921–3936, Oct. 2020, doi: 10.1007/s12652-019-01627-1.
- [31] D. Shawky and A. Badawi, “Towards a personalized learning experience using reinforcement learning,” in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 801, Springer Verlag, 2019, pp. 169–187.
- [32] “Edu Trends Evaluación Desempeño — Observatorio de Innovación Educativa.” <https://observatorio.tec.mx/edutrendsevaluacindesempeo> (accessed Nov. 12, 2020).
- [33] J. B. W. Yeo, B. H. Choy, L. G. P. Lim, and L. F. Wong, “Innovative Pedagogical Practices,” 2019, pp. 165–193.
- [34] P. Plaza *et al.*, “Visual block programming languages and their use in educational robotics,” in *2020 IEEE Global Engineering Education Conference*

- (EDUCON), Apr. 2020, vol. 2020-April, pp. 457–464, doi: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125219.
- [35] O. Erol and A. A. Kurt, “The effects of teaching programming with scratch on pre-service information technology teachers’ motivation and achievement,” *Computers in Human Behavior*, vol. 77, pp. 11–18, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.chb.2017.08.017.
- [36] E. Aivaloglou and F. Hermans, “How Kids Code and How We Know,” in *Proceedings of the 2016 ACM Conference on International Computing Education Research*, Aug. 2016, pp. 53–61, doi: 10.1145/2960310.2960325.
- [37] Scratch, “Scratch 3.0- Scratch School.” <https://www.scratch.school/aprender/descargar-scratch-3-0-a-nuestro-pc/> (accessed Nov. 10, 2020).
- [38] C. W. J. Chen and K. M. J. Lo, “From Teacher-Designer to Student-Researcher: a Study of Attitude Change Regarding Creativity in STEAM Education by Using Makey Makey as a Platform for Human-Centred Design Instrument,” *Journal for STEM Education Research*, vol. 2, no. 1, pp. 75–91, Apr. 2019, doi: 10.1007/s41979-018-0010-6.
- [39] E. Ziagkas, V. I. Zilidou, A. Loukovitis, N. Politopoulos, S. Douka, and T. Tsiatsos, “The Effects of 8-Week Plyometric Training on Tennis Agility Performance, Improving Evaluation Throw the Makey Makey,” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, vol. 917, pp. 280–286, doi: 10.1007/978-3-030-11935-5_27.
- [40] M. Makey, “Makey Makey - Joylabz Tienda oficial Makey Makey.” <https://makeymakey.com/> (accessed Nov. 12, 2020).
- [41] D. Behar, *Metodología de la investigación*. Editorial Shalom, 2008.
- [42] R. Sampieri, C. Collado, and P. Lucio, *Metodología de la investigación*, Sexta. Mexico: INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V, 2006.
- [43] E. G. de Ravé, F. J. Jiménez-Hornero, A. B. Ariza-Villaverde, and J. Taguas-Ruiz, “DiedricAR: a mobile augmented reality system designed for the ubiquitous descriptive geometry learning,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, no. 16, pp. 9641–9663, Aug. 2016, doi: 10.1007/s11042-016-3384-4.
- [44] T. H. Laine, E. Nygren, A. Dirin, and H. J. Suk, “Science Spots AR: a platform for science learning games with augmented reality,” *Educational Technology Research and Development*, vol. 64, no. 3, pp. 507–531, Jun. 2016, doi: 10.1007/s11423-015-9419-0.
- [45] C. Y. Lin *et al.*, “Augmented reality in educational activities for children with disabilities,” *Displays*, vol. 42, pp. 51–54, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.displa.2015.02.004.
- [46] J. C. Young, M. B. Kristanda, and S. Hansun, “ARmatika: 3D game for arithmetic learning with Augmented Reality technology,” in *2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, 2016, pp. 355–360, doi: 10.1109/IAC.2016.7905744.

- [47] M. J. Ibarra, W. Soto, P. Ataucusi, and E. Ataucusi, "MathFraction: Educational serious game for students motivation for math learning," in *Proceedings - 2016 11th Latin American Conference on Learning Objects and Technology, LACLO 2016*, Nov. 2016, pp. 1–9, doi: 10.1109/LACLO.2016.7751777.
- [48] M. Roglic, V. Bobic, M. Djuric-Jovicic, M. Djordjevic, N. Dragasevic, and B. Nikolic, "Serious gaming based on Kinect technology for autistic children in Serbia," in *2016 13th Symposium on Neural Networks and Applications, NEUREL 2016*, Dec. 2016, pp. 1–4, doi: 10.1109/NEUREL.2016.7800105.
- [49] O. Dele-Ajayi, J. Sanderson, R. Strachan, and A. Pickard, "Learning mathematics through serious games: An engagement framework," in *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, Nov. 2016, vol. 2016-November, pp. 1–5, doi: 10.1109/FIE.2016.7757401.
- [50] A. Solano, F. Ugalde, J. Gómez, and L. Sánchez, "An augmented reality application to enhance the children's engagement in an early development method for mathematics literacy," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, vol. 607, pp. 405–414, doi: 10.1007/978-3-319-60492-3_39.
- [51] S. Ghisio, P. Alborn, E. Volta, M. Gori, and G. Volpe, "A multimodal serious-game to teach fractions in primary school," in *MIE 2017 - Proceedings of the 1st ACM SIGCHI International Workshop on Multimodal Interaction for Education, Co-located with ICMI 2017*, Nov. 2017, vol. 2017-November, pp. 67–70, doi: 10.1145/3139513.3139524.
- [52] D. F. Avila-Pesantez, L. A. Vaca-Cardenas, R. Delgadillo Avila, N. Padilla Padilla, and L. A. Rivera, "Design of an augmented reality serious game for children with dyscalculia: A case study," in *Communications in Computer and Information Science*, Aug. 2019, vol. 895, pp. 165–175, doi: 10.1007/978-3-030-05532-5_12.
- [53] E. Liu, Y. Li, S. Cai, and X. Li, "The Effect of Augmented Reality in Solid Geometry Class on Students' Learning Performance and Attitudes," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 47, Springer, 2019, pp. 549–558.
- [54] R. Lamrani, E. H. Abdelwahed, S. Chraibi, S. Qassimi, and M. Hafidi, "Gamification and serious games based learning for early childhood in rural areas," in *Communications in Computer and Information Science*, Oct. 2018, vol. 929, pp. 79–90, doi: 10.1007/978-3-030-02852-7_7.
- [55] B. Cahyono, M. B. Firdaus, E. Budiman, and M. Wati, "Augmented Reality Applied to Geometry Education," in *Proceedings - 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology: Internet of Things for Industry, EIconCIT 2018*, Nov. 2018, pp. 299–303, doi: 10.1109/EIconCIT.2018.8878553.
- [56] P. Sarkar, J. S. Pillai, and A. Gupta, "Scholar: A collaborative learning experience for rural schools using augmented reality application," in *Proceedings - IEEE 9th International Conference on Technology for Education, T4E 2018*, Dec. 2018, pp. 8–15, doi: 10.1109/T4E.2018.00010.

- [57] C. Gouin-Vallerand, S. M. Ferreira, and R. Hotte, "Towards a mobile serious game environment for children self-learning," in *ACM International Conference Proceeding Series*, Nov. 2018, pp. 100–105, doi: 10.1145/3284869.3284901.
- [58] B. Kaur, "The why, what and how of the 'Model' method: a tool for representing and visualising relationships when solving whole number arithmetic word problems," *ZDM*, vol. 51, no. 1, pp. 151–168, Apr. 2019, doi: 10.1007/s11858-018-1000-y.
- [59] L. Medina Herrera, J. Castro Pérez, and S. Juárez Ordóñez, "Developing spatial mathematical skills through 3D tools: augmented reality, virtual environments and 3D printing," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 13, no. 4, pp. 1385–1399, Dec. 2019, doi: 10.1007/s12008-019-00595-2.
- [60] L. Deng, J. Tian, C. Cornwell, V. Phillips, L. Chen, and A. Alsuwaida, "Towards an Augmented Reality-Based Mobile Math Learning Game System," in *Communications in Computer and Information Science*, Jul. 2019, vol. 1034, pp. 217–225, doi: 10.1007/978-3-030-23525-3_28.
- [61] J. Li, E. D. van der Spek, X. Yu, J. Hu, and L. Feijs, "Exploring an augmented reality social learning game for elementary school students," in *Proceedings of the Interaction Design and Children Conference, IDC 2020*, Jun. 2020, pp. 508–518, doi: 10.1145/3392063.3394422.
- [62] S. Gargrish, A. Mantri, and D. P. Kaur, "Augmented reality-based learning environment to enhance teaching-learning experience in geometry education," in *Procedia Computer Science*, Jan. 2020, vol. 172, pp. 1039–1046, doi: 10.1016/j.procs.2020.05.152.
- [63] M. A. Rahman, L. S. Ling, and O. S. Yin, "Augmented Reality for Learning Calculus: A Research Framework of Interactive Learning System," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020, vol. 603, pp. 491–499, doi: 10.1007/978-981-15-0058-9_47.
- [64] G. Closa, J. Masó, B. Proß, and X. Pons, "W3C PROV to describe provenance at the dataset, feature and attribute levels in a distributed environment," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 64, pp. 103–117, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.008.
- [65] W. J. Kim, I. K. Kim, M. J. Kim, and E. Lee, "Effect of UX Design Guideline on the information accessibility for the visually impaired in the mobile health apps," in *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine, BIBM 2018*, Jan. 2019, pp. 1103–1106, doi: 10.1109/BIBM.2018.8621471.
- [66] A. S. Nengroo and K. S. Kuppusamy, "Accessible images (AIMS): a model to build self-describing images for assisting screen reader users," *Universal Access in the Information Society*, vol. 17, no. 3, pp. 607–619, Aug. 2018, doi: 10.1007/s10209-017-0607-z.
- [67] M. Bilal, Z. Yu, S. Song, and C. Wang, "Evaluate Accessibility and Usability Issues of Particular China and Pakistan Government Websites," in *2019 2nd*

International Conference on Artificial Intelligence and Big Data, ICAIBD 2019, May 2019, pp. 316–322, doi: 10.1109/ICAIBD.2019.8836990.

- [68] M. T. Jeba, F. Sadia, T. Rahman, K. M. I. Hossain, and T. Bhuiyan, “Usability and Accessibility Testing: A Study on Public Sector and Government Websites of Bangladesh,” in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020, vol. 605, pp. 666–674, doi: 10.1007/978-3-030-30577-2_59.
- [69] C. Arcos *et al.*, “Playful and interactive environment-based augmented reality to stimulate learning of children,” Jun. 2016, doi: 10.1109/MELCON.2016.7495421.

ANEXOS

Índice Anexos

Anexo 1. ARTICULO CIENTÍFICO.....	60
Anexo 2. CERTIFICADO DE SENADI.....	66

Anexo 1. ARTICULO CIENTÍFICO.



Multisensory Learning System Applying Augmented Reality

International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics

AHFE 2020: Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences pp 336-342 | Cite as

- Cesar Guevara (1) Email author (cesarguevara@uti.edu.ec)
- Dennys Mauricio Vallejo Coronel (2)

1. Research Center Mechatronics and Interactive Systems MIST, Universidad Tecnológica Indoamérica, , Quito, Ecuador
2. Centro de Posgrados, Universidad Tecnológica de Machala, , Machala, Ecuador

Conference paper
First Online: 01 July 2020

- [1 Mentions](#)
- [279 Downloads](#)

Part of the [Advances in Intelligent Systems and Computing](#) book series (AISC, volume 1211)

Abstract

Mathematics is essential in our daily life. However, traditional teaching methods are mainly limited to the use of textbooks, generating demotivation and low interest in learning the subject. The present study proposes the development of an augmented reality system for the multi-sensory learning of students in the field of mathematics. For the creation of this proposal, we have used a human-computer interface tool called Makey Makey. Besides, the Singapore method, which has produced excellent results in the learning of mathematics, is applied. Scratch, a programming language that allows people to develop applications without having deep knowledge of the code, was used for the development of the application. Scratch allows us to combine Singapore, Makey Makey, and Augmented Reality optimally for learning.

Keywords

Increased Reality Multisensory learning Singapore methodology Makey Makey
This is a preview of subscription content, [log in](#) to check access.

References

1. Young, J.C., Kristanda, M.B., Hansun, S.: ARmatika: 3D game for arithmetic learning with augmented reality technology. In: 2016 International Conference

on Informatics and Computing (ICIC), pp. 355–360 (2016)

[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Young%2C%20J.C.%2C%20Kristanda%2C%20M.B.%2C%20Hansun%2C%20S.%3A%20ARmatika%3A%203D%20game%20for%20arithmetic%20learning%20with%20augmented%20reality%20technology.%20In%3A%202016%20International%20Conference%20on%20Informatics%20and%20Computing%20%28ICIC%29%2C%20pp.%20355%E2%80%93360%20%282016%29) (<https://scholar.google.com/scholar?q=Young%2C%20J.C.%2C%20Kristanda%2C%20M.B.%2C%20Hansun%2C%20S.%3A%20ARmatika%3A%203D%20game%20for%20arithmetic%20learning%20with%20augmented%20reality%20technology.%20In%3A%202016%20International%20Conference%20on%20Informatics%20and%20Computing%20%28ICIC%29%2C%20pp.%20355%E2%80%93360%20%282016%29>)

2. **Chao, W.H., Yang, C.Y., Chang, R.C.:** A study of the interactive mathematics mobile application development. In: 1st IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention, ICKII 2018, pp. 248–249 (2018)
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Chao%2C%20W.H.%2C%20Yang%2C%20C.Y.%2C%20Chang%2C%20R.C.%3A%20A%20study%20of%20the%20interactive%20mathematics%20mobile%20application%20development.%20In%3A%201st%20IEEE%20International%20Conference%20on%20Knowledge%20Innovation%20and%20Invention%2C%20ICKII%202018%2C%20pp.%20248%E2%80%93249%20%282018%29) (<https://scholar.google.com/scholar?q=Chao%2C%20W.H.%2C%20Yang%2C%20C.Y.%2C%20Chang%2C%20R.C.%3A%20A%20study%20of%20the%20interactive%20mathematics%20mobile%20application%20development.%20In%3A%201st%20IEEE%20International%20Conference%20on%20Knowledge%20Innovation%20and%20Invention%2C%20ICKII%202018%2C%20pp.%20248%E2%80%93249%20%282018%29>)
3. **Li, J., Van Der Spek, E., Hu, J., Feijs, L.:** SEE ME ROAR: self-determination enhanced engagement for math education relying on augmented reality. In: CHI PLAY 2017 Extended Abstracts - Extended Abstracts Publication of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, pp. 345–351 (2017)
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Li%2C%20J.%2C%20Van%20Der%20Spek%2C%20E.%2C%20Hu%2C%20J.%2C%20Feijs%2C%20L.%3A%20SEE%20ME%20ROAR%3A%20self-determination%20enhanced%20engagement%20for%20math%20education%20relying%20on%20augmented%20reality.%20In%3A%20CHI%20PLAY%202017%20Extended%20Abstracts%20-%20Extended%20Abstracts%20Publication%20of%20the%20Annual%20Symposium%20on%20Computer-Human%20Interaction%20in%20Play%2C%20pp.%20345%E2%80%93351%20%282017%29) (<https://scholar.google.com/scholar?q=Li%2C%20J.%2C%20Van%20Der%20Spek%2C%20E.%2C%20Hu%2C%20J.%2C%20Feijs%2C%20L.%3A%20SEE%20ME%20ROAR%3A%20self-determination%20enhanced%20engagement%20for%20math%20education%20relying%20on%20augmented%20reality.%20In%3A%20CHI%20PLAY%202017%20Extended%20Abstracts%20-%20Extended%20Abstracts%20Publication%20of%20the%20Annual%20Symposium%20on%20Computer-Human%20Interaction%20in%20Play%2C%20pp.%20345%E2%80%93351%20%282017%29>)
4. **Men, O.L., Ismail, Z., Abidin, M.:** Using maths model method in solving pre-algebraic problems among year five students. In: 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), pp. 222–227 (2018)
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Men%2C%20O.L.%2C%20Ismail%2C%20Z.%2C%20Abidin%2C%20M.%3A%20Using%20maths%20model%20method%20in%20solving%20pre-algebraic%20problems%20among%20year%20five%20students.%20In%3A%202018%20IEEE%20International%20Conference%20on%20Teaching%2C%20Assessment%2C%20and%20Learning%20for%20Engineering%20%28TALE%29%2C%20pp.%20222%E2%80%93227%20%282018%29) (<https://scholar.google.com/scholar?q=Men%2C%20O.L.%2C%20Ismail%2C%20Z.%2C%20Abidin%2C%20M.%3A%20Using%20maths%20model%20method%20in%20solving%20pre-algebraic%20problems%20among%20year%20five%20students.%20In%3A%202018%20IEEE%20International%20Conference%20on%20Teaching%2C%20Assessment%2C%20and%20Learning%20for%20Engineering%20%28TALE%29%2C%20pp.%20222%E2%80%93227%20%282018%29>)
5. **Kaur, B.:** The why, what and how of the ‘Model’ method: a tool for representing and visualising relationships when solving whole number arithmetic word problems. *ZDM* **51**(1), 151–168 (2018)
[CrossRef](https://doi.org/10.1007/s11858-018-1000-y) (<https://doi.org/10.1007/s11858-018-1000-y>)
[Google Scholar](http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=The%20why%2C%20what%20and%20how%20of%20the%20%E2%80%93Model%E2%80%99%20method%3A%20a%20tool%20for%20representing%20and%20visualising%20relationships%20when%20solving%20whole%20number%20arithmetic%20word%20problems&author=B.%20Kaur&journal=ZDM&volume=51&issue=1&pages=151-168&publication_year=2018) (http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=The%20why%2C%20what%20and%20how%20of%20the%20%E2%80%93Model%E2%80%99%20method%3A%20a%20tool%20for%20representing%20and%20visualising%20relationships%20when%20solving%20whole%20number%20arithmetic%20word%20problems&author=B.%20Kaur&journal=ZDM&volume=51&issue=1&pages=151-168&publication_year=2018)

6. Price, S., Duffy, S., Gori, M.: Developing a pedagogical framework for designing a multisensory serious gaming environment. In: Proceedings of the 1st ACM SIGCHI International Workshop on Multimodal Interaction for Education - MIE 2017, pp. 1–9 (2017)
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Price%2C%20S.%2C%20Duffy%2C%20S.%2C%20Gori%2C%20M.%3A%20Developing%20a%20pedagogical%20framework%20for%20designing%20a%20multisensory%20serious%20gaming%20environment.%20In%3A%20Proceedings%20of%20the%201st%20ACM%20SIGCHI%20International%20Workshop%20on%20Multimodal%20Interaction%20for%20Education%20-%20MIE%202017%2C%20pp.%201%E2%80%939%20%282017%29) (<https://scholar.google.com/scholar?q=Price%2C%20S.%2C%20Duffy%2C%20S.%2C%20Gori%2C%20M.%3A%20Developing%20a%20pedagogical%20framework%20for%20designing%20a%20multisensory%20serious%20gaming%20environment.%20In%3A%20Proceedings%20of%20the%201st%20ACM%20SIGCHI%20International%20Workshop%20on%20Multimodal%20Interaction%20for%20Education%20-%20MIE%202017%2C%20pp.%201%E2%80%939%20%282017%29>)
7. Chen, C.W.J., Lo, K.M.J.: From teacher-designer to student-researcher: a study of attitude change regarding creativity in STEAM education by using Makey Makey as a platform for human-centred design instrument. *J. STEM Educ. Res.* **2**(1), 75–91 (2019)
[CrossRef](https://doi.org/10.1007/s41979-018-0010-6) (<https://doi.org/10.1007/s41979-018-0010-6>)
[Google Scholar](http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=From%20teacher-designer%20to%20student-researcher%3A%20a%20study%20of%20attitude%20change%20regarding%20creativity%20in%20STEAM%20education%20by%20using%20Makey%20Makey%20as%20a%20platform%20for%20human-centred%20design%20instrument&author=CWJ.%20Chen&author=KMJ.%20Lo&journal=J.%20STEM%20Educ.%20Res.&volume=2&issue=1&pages=75-91&publication_year=2019) (http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=From%20teacher-designer%20to%20student-researcher%3A%20a%20study%20of%20attitude%20change%20regarding%20creativity%20in%20STEAM%20education%20by%20using%20Makey%20Makey%20as%20a%20platform%20for%20human-centred%20design%20instrument&author=CWJ.%20Chen&author=KMJ.%20Lo&journal=J.%20STEM%20Educ.%20Res.&volume=2&issue=1&pages=75-91&publication_year=2019)
8. Fokides, E., Papoutsis, A.: Using Makey-Makey for teaching electricity to primary school students. A pilot study. *Educ. Inf. Technol.* **25**(2), 1193–1215 (2019)
[CrossRef](https://doi.org/10.1007/s10639-019-10013-5) (<https://doi.org/10.1007/s10639-019-10013-5>)
[Google Scholar](http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Using%20Makey-Makey%20for%20teaching%20electricity%20to%20primary%20school%20students.%20A%20pilot%20study&author=E.%20Fokides&author=A.%20Papoutsis&journal=Educ.%20Inf.%20Technol.&volume=25&issue=2&pages=1193-1215&publication_year=2019) (http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Using%20Makey-Makey%20for%20teaching%20electricity%20to%20primary%20school%20students.%20A%20pilot%20study&author=E.%20Fokides&author=A.%20Papoutsis&journal=Educ.%20Inf.%20Technol.&volume=25&issue=2&pages=1193-1215&publication_year=2019)
9. Ziagkas, E., Zilidou, V.I., Loukovitis, A., Politopoulos, N., Douka, S., Tsiatsos, T.: The effects of 8-week plyometric training on tennis agility performance, improving evaluation throw the Makey Makey. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 917, pp. 280–286 (2019)
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Ziagkas%2C%20E.%2C%20Zilidou%2C%20V.I.%2C%20Loukovitis%2C%20A.%2C%20Politopoulos%2C%20N.%2C%20Douka%2C%20S.%2C%20Tsiatsos%2C%20T.%3A%20The%20effects%20of%208-week%20plyometric%20training%20on%20tennis%20agility%20performance%2C%20improving%20evaluation%20throw%20the%20Makey%20Makey.%20In%3A%20Advances%20in%20Intelligent%20Systems%20and%20Computing%2C%20vol.%20917%2C%20pp.%20280%E2%80%93286%20%282019%29) (<https://scholar.google.com/scholar?q=Ziagkas%2C%20E.%2C%20Zilidou%2C%20V.I.%2C%20Loukovitis%2C%20A.%2C%20Politopoulos%2C%20N.%2C%20Douka%2C%20S.%2C%20Tsiatsos%2C%20T.%3A%20The%20effects%20of%208-week%20plyometric%20training%20on%20tennis%20agility%20performance%2C%20improving%20evaluation%20throw%20the%20Makey%20Makey.%20In%3A%20Advances%20in%20Intelligent%20Systems%20and%20Computing%2C%20vol.%20917%2C%20pp.%20280%E2%80%93286%20%282019%29>)
10. Ito, K.: Mobile pictogramming. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 935, pp. 547–553 (2019)
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Ito%2C%20K.%3A%20Mobile%20pictogramming.%20In%3A%20Advances%20in%20Intelligent%20Systems%20and%20Computing%2C%20vol.%20935%2C%20pp.%20547%E2%80%93553%20%282019%29) (<https://scholar.google.com/scholar?q=Ito%2C%20K.%3A%20Mobile%20pictogramming.%20In%3A%20Advances%20in%20Intelligent%20Systems%20and%20Computing%2C%20vol.%20935%2C%20pp.%20547%E2%80%93553%20%282019%29>)

11. Erol, O., Kurt, A.A.: The effects of teaching programming with scratch on pre-service information technology teachers' motivation and achievement. *Comput. Hum. Behav.* **77**, 11–18 (2017)
CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.08.017>)
Google Scholar (http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=The%20effects%20of%20teaching%20programming%20with%20scratch%20on%20pre-service%20information%20technology%20teachers%27%20motivation%20and%20achievement&author=O.%20Erol&author=AA.%20Kurt&journal=Comput.%20Hum.%20Behav.&volume=77&pages=11-18&publication_year=2017)
12. Ibáñez, M.B., Delgado-Kloos, C.: Augmented reality for STEM learning: a systematic review. *Comput. Educ.* **123**, 109–123 (2018)
CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>)
Google Scholar (http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Augmented%20reality%20for%20STEM%20learning%3A%20a%20systematic%20review&author=MB.%20Ib%C3%A1%C3%B1ez&author=C.%20Delgado-Kloos&journal=Comput.%20Educ.&volume=123&pages=109-123&publication_year=2018)
13. Palmarini, R., Erkoyuncu, J.A., Roy, R., Torabmostaedi, H.: A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* **49**, 215–228 (2018)
CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>)
Google Scholar (http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20systematic%20review%20of%20augmented%20reality%20applications%20in%20maintenance&author=R.%20Palmarini&author=JA.%20Erkoyuncu&author=R.%20Roy&author=H.%20Torabmostaedi&journal=Robot.%20Comput.-Integr.%20Manuf.&volume=49&pages=215-228&publication_year=2018)
14. Yeo, J.B.W., Choy, B.H., Lim, L.G.P., Wong, L.F.: Innovative pedagogical practices, pp. 165–193 (2019)
Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?q=Yeo%2C%20J.B.W.%2C%20Choy%2C%20B.H.%2C%20Lim%2C%20L.G.P.%2C%20Wong%2C%20L.F.%3A%20Innovative%20pedagogical%20practices%2C%20pp.%20165%20-%20193%20%282019%29>)
15. Closa, G., Masó, J., Proß, B., Pons, X.: W3C PROV to describe provenance at the dataset, feature and attribute levels in a distributed environment. *Comput. Environ. Urban Syst.* **64**, 103–117 (2017)
CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.008>)
Google Scholar (http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=W3C%20PROV%20to%20describe%20provenance%20at%20the%20dataset%20feature%20and%20attribute%20levels%20in%20a%20distributed%20environment&author=G.%20Closa&author=J.%20Mas%C3%B3&author=B.%20Pro%C3%9F&author=X.%20Pons&journal=Comput.%20Environ.%20Urban%20Syst.&volume=64&pages=103-117&publication_year=2017)
16. Kim, W.J., Kim, L.K., Kim, M.J., Lee, E.: Effect of UX design guideline on the information accessibility for the visually impaired in the mobile health apps. In: *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine, BIBM 2018*, pp. 1103–1106 (2019)
Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?q=Kim%2C%20W.J.%2C%20Kim%2C%20L.K.%2C%20Kim%2C%20M.J.%2C%20Lee%2C%20E.%3A%20Effect%20of%20UX%20design%20guideline%20o>

n%20the%20information%20accessibility%20for%20the%20visually%20impai red%20in%20the%20mobile%20health%20apps.%20In%3A%20Proceedings% 20- %202018%20IEEE%20International%20Conference%20on%20Bioinformatics %20and%20Biomedicine%2C%20BIBM%202018%2C%20pp.%201103%E2%8 0%931106%20%282019%29)

17. Nengroo, A.S., Kuppusamy, K.S.: Accessible images (AIMS): a model to build self-describing images for assisting screen reader users. *Univers. Access Inf. Soc.* **17**(3), 607–619 (2017)
CrossRef (<https://doi.org/10.1007/s10209-017-0607-z>)
Google Scholar (http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Accessible%20images%20%28AIMS%29%3A%20a%20model%20to%20b uild%20self- describing%20images%20for%20assisting%20screen%20reader%20users&aut hor=AS.%20Nengroo&author=KS.%20Kuppusamy&journal=Univers.%20Acce ss%20Inf.%20Soc.&volume=17&issue=3&pages=607- 619&publication_year=2017)
18. Bilal, M., Yu, Z., Song, S., Wang, C.: Evaluate accessibility and usability issues of particular China and Pakistan government websites. In: 2019 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Big Data, ICAIBD 2019, pp. 316–322 (2019)
Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?q=Bilal%2C%20M.%2C%20Yu%2C%20Z.%2C%20Song%2C%20S.%2C%20Wa ng%2C%20C.%3A%20Evaluate%20accessibility%20and%20usability%20issues %20of%20particular%20China%20and%20Pakistan%20government%20websi tes.%20In%3A%202019%202nd%20International%20Conference%20on%20A rtificial%20Intelligence%20and%20Big%20Data%2C%20ICAIBD%202019%2C %20pp.%20316%E2%80%93322%20%282019%29>)
19. Jeba, M.T., Sadia, F., Rahman, T., Hossain, K.M.I., Bhuiyan, T.: Usability and accessibility testing: a study on public sector and government websites of Bangladesh. In: *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 605, pp. 666–674 (2020)
Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?q=Jeba%2C%20M.T.%2C%20Sadia%2C%20F.%2C%20Rahman%2C%20T.%2 C%20Hossain%2C%20K.M.I.%2C%20Bhuiyan%2C%20T.%3A%20Usability%2 0and%20accessibility%20testing%3A%20a%20study%20on%20public%20sect or%20and%20government%20websites%20of%20Bangladesh.%20In%3A%20 Lecture%20Notes%20in%20Electrical%20Engineering%2C%20vol.%20605%2 C%20pp.%20666%E2%80%93674%20%282020%29>)

Copyright information

© The Editor(s) (if applicable) and The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG 2020

About this paper

Cite this paper as:

Guevara C., Coronel D.M.V. (2020) Multisensory Learning System Applying Augmented Reality. In: Nazir S., Ahram T., Karwowski W. (eds) *Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences*.

AHFE 2020. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1211. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-50896-8_48

- First Online 01 July 2020
- DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-50896-8_48
- Publisher Name Springer, Cham
- Print ISBN 978-3-030-50895-1
- Online ISBN 978-3-030-50896-8
- eBook Packages [Intelligent Technologies and Robotics](#) [Intelligent Technologies and Robotics \(RO\)](#)
- [Buy this book on publisher's site](#)
- [Reprints and Permissions](#)

Personalised recommendations

SPRINGER NATURE

© 2020 Springer Nature Switzerland AG. Part of [Springer Nature](#).

Not logged in Not affiliated 191.99.137.240

Anexo 2. CERTIFICADO DE SENADI.

SERVICIO NACIONAL DE
DERECHOS INTELECTUALES

Dirección Nacional de Derecho de Autor y Derechos Conexos

Certificado N° QUI-058658

Trámite N° 000778-2020

La Dirección Nacional de Derecho de Autor y Derechos Conexos, en atención a la solicitud presentada el 13 julio del año 2020, **EXPIDE** el certificado de registro:

AUTOR(es): GUEVARA MALDONADO, CÉSAR BYRON y CORONEL VALLEJO, DENNYS MAURICIO

TITULAR(es): UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA y UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

CLASE DE OBRA: LITERARIA (Publicada)

TÍTULO DE LA(s) OBRA(s): Sistema de aprendizaje multi sensorial aplicando realidad aumentada – MULTI-SIN (Programa de Ordenador) (Software).

Quito, a 14 de julio del año 2020



MARIA ANTONIETA
BURBANO CLERQUE

Ab. María Antonieta Burbano Clerque
**Delegada del Director Nacional de
Derecho de Autor y Derechos Conexos**

Mediante Resolución N° 001-2019-DG-NI-SENADI de 01 de marzo de 2019.

El artículo 5 del Convenio de Berna determina que el goce de los derechos de autor no están sujetos a formalidad alguna, de tal forma que el presente certificado no constituye tal derecho. Salvo prueba en contrario, la inscripción de obras en el registro de derechos de autor presume la certeza de la información que en ella se haga constar.

MAB/pf.