

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN PRELIMINAR DE UN
PROTOTIPO ROBÓTICO PARA LA ENSEÑANZA DE INGLÉS EN
EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA DEL ECUADOR**

**DESIGN, CONSTRUCTION, AND PRELIMINARY VALIDATION OF A
ROBOTIC PROTOTYPE FOR ENGLISH LANGUAGE TEACHING IN
ECUADORIAN ELEMENTARY EDUCATION**

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN PRELIMINAR DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO PARA LA ENSEÑANZA DE INGLÉS EN EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA DEL ECUADOR

DESIGN, CONSTRUCTION, AND PRELIMINARY VALIDATION OF A ROBOTIC PROTOTYPE FOR ENGLISH LANGUAGE TEACHING IN ECUADORIAN ELEMENTARY EDUCATION

Alvarado-Cadena, Jorge¹;
Zabala-Barragán, Leticia²;
Guaño-Álvarez, Ana³.

¹ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, jorge.alvarado@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, leticia.zabala@istcarloscisneros.edu.ec

³ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, anita.guano@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

La enseñanza del inglés en la educación básica ecuatoriana enfrenta limitaciones con los métodos tradicionales. Este estudio presenta el diseño, construcción y validación preliminar de un prototipo robótico para la enseñanza de inglés en niños. El sistema integra una arquitectura basada en Raspberry Pi 4, una aplicación interactiva en Gambas y una app Android para control remoto. La validación pedagógica se realizó mediante un estudio cuasi-experimental con pretest y postest en una muestra de 31 estudiantes de primer año de educación general básica (EGB) de la Unidad Educativa Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador. Se aplicaron pruebas de vocabulario (números, colores, animales), protocolos de observación estructurada y entrevistas a docentes. Los resultados mostraron una mejora significativa en el aprendizaje de vocabulario (pretest: $M=6.29$, $DE=2.56$; postest: $M=7.81$, $DE=2.81$; $t(30) = 2.23$, $p(T \leq t) = 0.033$, $d=0.4$). El 81% de los estudiantes mostró interés y mayor atención y el 77% alta motivación durante las interacciones con el robot. Se concluye que el prototipo es una herramienta prometedora para la enseñanza de inglés en contextos escolares tempranos, aunque se requiere optimizar el diseño gráfico y la autonomía energética.

Palabras clave: Robótica educativa, aprendizaje de idiomas asistido por robot, gamificación, enseñanza de inglés, Raspberry Pi.



ABSTRACT

English language instruction in Ecuadorian basic education faces significant limitations due to the continued reliance on traditional teaching methods. This study presents the design, development, and preliminary validation of a robotic prototype aimed at supporting English language learning in young learners. The system is built upon a Raspberry Pi 4-based architecture and incorporates an interactive application developed in Gambas, along with an Android app for remote control. Pedagogical validation was conducted through a quasi-experimental design with pretest and posttest measures, involving a sample of 31 first-year students from the Basic General Education (EGB) program at Unidad Educativa Carlos Cisneros, Riobamba, Ecuador. Vocabulary assessments (numbers, colors, animals), structured observation protocols, and teacher interviews were utilized as instruments. The results indicated a statistically significant improvement in vocabulary acquisition (pretest: $M = 6.29$, $SD = 2.56$; posttest: $M = 7.81$, $SD = 2.81$; $t(30) = 2.23$, $p(T \leq t) = 0.033$, $d = 0.4$). Additionally, 81% of students exhibited increased interest and attention, while 77% demonstrated high motivation during interactions with the robot. These findings suggest that the prototype represents a promising tool for enhancing English language instruction in early educational settings, although further improvements in graphic design and energy autonomy are recommended.

Keywords: Educational robotics, robot-assisted language learning, gamification, English teaching, Raspberry Pi.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza del inglés como lengua extranjera (ILE) en la educación básica ha cobrado especial relevancia en los últimos años, tanto por disposiciones normativas como por el creciente reconocimiento de sus beneficios. En Ecuador, desde 2016 el Ministerio de Educación estableció la obligatoriedad de impartir inglés desde el segundo año de Educación General Básica (EGB) [1], aunque en la práctica muchas instituciones lo incorporan desde el primer año. Este enfoque temprano responde a evidencias sobre la plasticidad cerebral infantil, que facilita la adquisición de nuevos sonidos y estructuras gramaticales, además de fortalecer habilidades cognitivas como memoria, atención, creatividad y resolución de problemas [2], [3].

Sin embargo, los métodos tradicionales de enseñanza enfrentan limitaciones en cuanto a motivación y retención del vocabulario [4], [5]. En respuesta, la robótica educativa se posiciona como una alternativa innovadora que combina interactividad física y digital, promoviendo el aprendizaje lúdico y significativo [6], [7].

Estudios previos han demostrado que los robots sociales incrementan la atención sostenida y favorecen la repetición espontánea de vocabulario, un factor clave en la adquisición de segundas lenguas [6], [7]. Alemi et al. [8] reportaron que estudiantes de primaria que interactuaron con un robot humanoide mostraron mejores resultados en pruebas de vocabulario y una actitud más positiva hacia el aprendizaje que aquellos en clases tradicionales, lo cual se relaciona con el rol del robot como “interlocutor seguro” que reduce la ansiedad lingüística [9]. Asimismo, la incorporación de juegos en pantallas táctiles fomenta la participación activa del alumnado, quien pasa de ser un receptor pasivo a protagonista de la interacción [10].

El marco teórico de la autodeterminación sugiere que la motivación intrínseca se potencia al satisfacer necesidades de competencia, autonomía y relación [11]. Wu et al. [12] evidenciaron que los niños que recibieron retroalimentación inmediata y celebraciones de sus logros mediante un robot incrementaron su percepción de competencia lingüística y la frecuencia de turnos de habla. Este tipo de recursos también permite personalizar la dificultad de las actividades, fortaleciendo la autonomía del estudiante [13].

No obstante, la efectividad de la robótica educativa depende de factores como la formación docente, la duración de la intervención y la alineación entre capacidades del robot y objetivos pedagógicos [6], [14]. Investigaciones como la de Benitti [6] subrayan que los beneficios no aparecen de forma espontánea, sino cuando el robot se integra en secuencias didácticas claras. En este sentido, la literatura ofrece modelos y clasificaciones de roles para los robots en entornos educativos como tutor o herramienta interactiva [15], así como experiencias aplicadas en ámbitos cercanos a la enseñanza del inglés que combinan funciones físicas y contenido educativo [16], [17].

Sin embargo, la mayoría de las soluciones existentes se centran en robots comerciales de alto costo o aplicaciones aisladas, sin integrar control físico remoto con interacción táctil autónoma en un mismo dispositivo [18]. Esta investigación busca llenar ese vacío mediante el desarrollo de un prototipo de bajo costo que combine ambas modalidades de interacción. La hipótesis del estudio es que el uso del prototipo robótico mejorará significativamente la motivación, la atención y el aprendizaje de vocabulario básico en inglés en niños de primer año de educación básica, en comparación con las metodologías tradicionales.

En este marco, la presente investigación propone un prototipo de robot didáctico que combina doble modalidad de interacción: por un lado, control externo mediante una aplicación móvil, lo que refuerza el aprendizaje kinestésico; y, por otro, una pantalla táctil incorporada en el propio robot, que lo convierte en una estación de juego autónoma. Este enfoque busca superar la fragmentación actual entre robots programables y aplicaciones móviles de idiomas, aportando evidencia sobre su impacto en la motivación y la adquisición de vocabulario básico en niños de primer año de EGB.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del prototipo robótico se dividió en las siguientes fases principales:

2.1. Diseño mecánico, impresión 3D y ensamblaje estructural

Se diseñaron modelos CAD de la estructura física del robot en SolidWorks, incluyendo cabeza, torso, extremidades. Posteriormente, se realizaron las



impresiones 3D de cada componente y su ensamblaje sobre el Kit Chasis Oruga Tanque, considerando criterios de estabilidad, ergonomía y estética. En la Fig. 1. Se muestra un primer modelado de las piezas.



Fig.1: Modelado preliminar de las piezas

Otro aspecto que se consideró es la capacidad de alojar todos los componentes y cableado dentro del cuerpo. La elección de la forma y tamaño de la cabeza fue con la finalidad de alojar la pantalla táctil de 7 pulgadas, los conectores HDMI y de energía. A sí mismo, el cuerpo del robot es el lugar que alberga componentes como Raspberry Pi, tarjeta electrónica basada en microcontrolador y puente H, además de baterías.

2.2. Diseño eléctrico y electrónico.

Se definió la arquitectura de control, seleccionando componentes como la **Raspberry Pi 4**, **ESP32**, drivers, servomotores, pantalla táctil y módulos de alimentación. Se elaboró un esquema de conexión para la distribución de señales y energía como se muestra en el Anexo 1.

El diseño de la placa electrónica se enfocó en dos aspectos, la distribución de energía y el manejo de señales de control.

En primer lugar, se implementó un sistema de alimentación capaz de suministrar energía estable a todos los componentes del sistema:

- Pantalla táctil
- Raspberry Pi
- Microcontrolador ESP32
- Servomotores para los brazos
- Motoreductores para la oruga,

En segundo lugar, se estableció un esquema de control diferenciado para los actuadores. Los servomotores de los brazos operan con alimentación de 4.8-6 VDC y reciben señales PWM a 5 VDC

desde el ESP32. Para los motoreductores de la oruga, que requieren 12 VDC, se implementó un módulo Puente H que permite invertir la polaridad del voltaje para controlar el sentido de giro, según la configuración especificada en la Tabla 1.

Tabla 1: Configuración de los motores de la oruga

I1	I2	SALIDA
0	0	PARADA
0	1	DERECHA
1	0	IZQUIERDA
1	1	NO ADMITIDO

Esta arquitectura dual garantiza tanto la estabilidad energética del sistema como la precisión en el control de movimientos. Es importante resaltar que al alimentar los motoreductores con un voltaje menor a su nominal se obtiene una reducción controlada en sus revoluciones por minuto (R.P.M). Con estas consideraciones se obtuvo el diseño final de la placa electrónica para el prototipo como se muestra en el Anexo 2.

2.3. Desarrollo de la aplicación

Se diseñó una aplicación con interfaz gráfica usando el IDE Gambas (basado en lenguaje BASIC y distribuido bajo licencia GNU General Public Licence), la cual se ejecuta en una Raspberry Pi para implementar juegos educativos de vocabulario (números, colores y animales). Esta aplicación permite la interacción directa con los niños a través de una pantalla táctil integrada en el robot, ofreciendo actividades de enseñanza y retroalimentación con elementos visuales y auditivos (ver Fig. 5), incluyendo un personaje animado llamado "Sofía".

El proceso de desarrollo de la aplicación educativa se estructuró en cuatro fases secuenciales:

2.3.1. Diseño de Interfaz y Prototipado

Se realizó un análisis y diseño enfocado en los objetivos pedagógicos. Se elaboró un boceto inicial para definir la estructura básica y la jerarquía de la interfaz (distribución de botones, menús, campos, etc.). Una vez aprobado, se desarrollaron las pantallas y menús en formato gráfico (PNG/JPG) para crear un prototipo visual inicial.



2.3.2. Configuración del Entorno de Desarrollo y Ejecución

Se preparó el entorno de *hardware* y *software* para la Raspberry Pi, que incluyó:

- Instalación de Raspberry Pi OS.
- Configuración de la pantalla táctil mediante raspi-config y calibración con xinput-calibrator.
- Instalación de Gambas 3 y librerías clave:
 - gambas3-gui y gambas3-gb-form: Para la gestión de componentes gráficos y formularios.
 - gambas3-gb-sdl2: Para el manejo de audio y eventos multimedia.
 - gambas3-gb-image: Para la carga y manipulación de imágenes.
 - gambas3-gb-speech: Para la síntesis de voz.

2.3.3. Desarrollo y Lógica del Juego

Se crearon los distintos formularios en Gambas utilizando el diseñador visual. Se integraron los gráficos, botones y eventos asociados a la pantalla táctil. La lógica del juego, que integra los elementos multimedia y define la secuencia de interacción, se programó siguiendo el flujo de ejecución detallado en el Anexo 3.

2.3.4. Pruebas y Optimización

En la fase final se realizaron pruebas funcionales y de rendimiento:

- Verificación de la respuesta táctil y depuración de errores en la Raspberry Pi.
- Medición del uso de CPU y memoria para optimizar el rendimiento de imágenes y audio.
- Ajuste de tiempos de respuesta y configuración del inicio automático de la aplicación al encender el dispositivo.

La aplicación resultante (Fig. 2) permite interacción directa mediante dos modos operativos: enseñanza de vocabulario (números, colores, animales) con apoyo del personaje "Sofía" (Fig. 3), y retroalimentación con preguntas auditivas en inglés y visuales en español (Fig. 4), creando un ciclo completo de aprendizaje inmersivo.



Fig. 2: Pantalla principal de la interfaz Juego interactivo.

La interacción se estructura secuencialmente, primero el usuario selecciona una lección de vocabulario (Fig. 3) donde se presenta contenido educativo de forma inmersiva. Al completar la lección, se muestra la opción de regresar al menú principal para iniciar la fase de retroalimentación (Fig. 4). En esta etapa, la aplicación genera preguntas auditivas en inglés complementadas con apoyo visual en español, estableciendo un ciclo de aprendizaje bimodal que refuerza la adquisición del lenguaje mediante estímulos multisensoriales.



Fig. 3: Ejecución de la lección "Vocabulario"



Fig. 4. Juego de retroalimentación

2.3. Desarrollo de la aplicación móvil (Android)

Se desarrolló una aplicación Android en el MIT AppInventor para gestionar las funciones motrices del prototipo robótico. Mediante el uso de flechas de navegación ("Siguiente" y "Anterior") como se muestra en la figura 5, se accede secuencialmente a las distintas pantallas, cada pantalla está asociada a una acción física específica del robot, (elevación de brazos, desplazamiento y giros) al mismo tiempo se reproducen audios en inglés describiendo el movimiento realizado, esto con el objetivo de facilitar la integración del robot en dinámicas grupales.



Fig. 5: Interfaz móvil App Inventor

Se usó comunicación Bluetooth entre el dispositivo móvil (teléfono celular o tableta) y el módulo ESP32 del robot. Como muestra la Figura 6, la aplicación transmite comandos en forma de texto que son interpretados por el microcontrolador. Según la instrucción recibida, el ESP32 genera señales PWM para los servomotores de las extremidades o activa el puente H que controla los motores de desplazamiento, traduciendo cada comando en acciones físicas sincronizadas con retroalimentación auditiva.



Fig. 6. Porción de los bloques de programación.

2.4. Integración de subsistemas y pruebas funcionales

Se integraron los subsistemas mecánicos, electrónico y de software; se realizaron pruebas en entorno controlado y en condiciones reales de aula, con el fin de validar la funcionalidad del prototipo, detectar problemas de alimentación y comunicación, y con el fin de aplicar mejoras en la estabilidad del sistema, como se muestra en la figura 7.

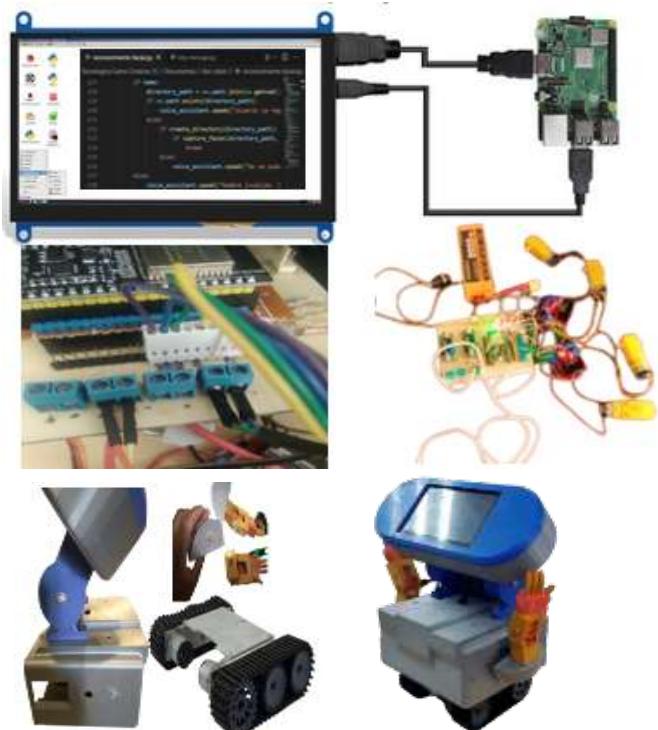


Fig. 7: Prototipo de robot desarrollado ensamblado.

2.5. Análisis energético



Se realizó un análisis de consumo energético para estimar la duración aproximada de la batería durante el uso del prototipo en clase, se han sumado los consumos típicos de corriente de cada componente importante en relación a la demanda de corriente, se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Demanda nominal de corriente de los componentes

CANTIDA D	COMPONENTE	CORRIENTE (A)
2	Servomotor	1,2
2	Motorreductor	1,9
1	ESP32	0,08
1	Raspberry Pi	1,5
1	Pantalla táctil	0,6
TOTAL		5,28

Considerando un margen de seguridad del 10% para pérdidas y consumos auxiliares, la corriente total estimada fue de 5,80 A. Con una batería LiPo de 7,4 V y 5000 mAh de capacidad, el cálculo teórico indica una autonomía de 0,86 horas (52 minutos). Las pruebas de validación en condiciones reales de operación confirmaron una autonomía efectiva superior a 45 minutos, demostrando la adecuación del sistema de potencia para sesiones prácticas completas.

2.6. Diseño de la investigación y validación pedagógica

El presente estudio adoptó un diseño cuasi-experimental con pretest y postest en un solo grupo, con el objetivo de evaluar el impacto del prototipo en la adquisición de vocabulario y la motivación de los estudiantes.

2.6.1. Participantes

La muestra consistió en 31 estudiantes (totalidad de estudiantes matriculados - edad promedio 6 años) de primer año de EGB de la Unidad Educativa Carlos Cisneros (Riobamba, Ecuador), seleccionados de manera intencional, debido a que los juegos y actividades se diseñaron para las primeras etapas de la enseñanza del idioma inglés. No se incluyó grupo de control debido a solicitud expresa de las autoridades de la institución en donde se desarrolló el estudio. Además, se contó con el consentimiento informado de los padres y autorización institucional.

2.6.2. Instrumentos y procedimiento

Para la validación pedagógica del prototipo se implementó un sistema triple de medición que combina evaluación cuantitativa del aprendizaje, observación sistemática de conductas y percepción docente:

- Pruebas de vocabulario:** Pretest y postest
Las pruebas fueron diseñadas en colaboración con docentes especializados en pedagogía, la cual consta de 10 ítems de opción múltiple y reconocimiento visual-auditivo, finalmente el contenido de la prueba fue validado por 3 expertos en enseñanza de inglés, alcanzando un índice de concordancia de 0.91 (Kendall's W). La confiabilidad interna se determinó mediante el coeficiente KR-20 (0.82), lo cual evidencia consistencia aceptable para los ítems empleados.
- Intervención pedagógica:** Implementación de 8 sesiones de instrucción que integraron el prototipo robótico en actividades estructuradas de aprendizaje (Fig. 8). Cada sesión incluyó:
 - Dinámicas interactivas con el robot
 - Canciones con acompañamiento gestual.
 - Ejercicios de repetición y reconocimiento de vocabulario
 - Registro sistemático de observaciones conductuales.



Fig. 8. Pruebas funcionales en la Unidad Educativa Carlos Cisneros.

- Protocolo de observación estructurada:** Para registrar indicadores de atención, motivación y participación activa durante sesiones clave, se desarrolló una rúbrica de observación con tres dimensiones conductuales y niveles de desempeño específicos:

Tabla 3. Sistema de categorización para observación conductual

DIMENSIÓN	ALTA	MEDIA	BAJA
Atención	Sigue instrucciones constantemente, mantiene contacto visual, concentración sostenida	Atención intermite nte con distracciones ocasionales	Distracción persistente, no atiende a estímulos
Motivación	Entusiasmo evidente, aproximación voluntaria, expresiones verbales/gestuales positivas	Participación solo bajo solicitud, interés ocasional	Actitud apática, no muestra respuesta a estímulos
Participación	Intervención espontánea, repetición voluntaria de vocabulario, imitación activa	Respuesta solo cuando es requerido, seguimiento parcial	Evita participación activa

Las observaciones se registraron durante sesiones clave (juego de retroalimentación y actividades musicales) utilizando una matriz de registro como la mostrada en la Tabla 4, permitiendo el monitoreo individualizado de los 31 participantes.

Tabla 4: Formato para el registro de las observaciones

Estudiante	Atención	Motivación	Participación
Estu. 1	Baja	Media	Media
Estu. 2	Alta	Media	Alta
...

- d. *Entrevistas semiestructuradas a docentes:* Este protocolo fue diseñado para explorar las percepciones del profesorado sobre la utilidad pedagógica del prototipo, su facilidad de integración en las dinámicas de aula, el impacto observado en la motivación y participación de los estudiantes, así como para recoger recomendaciones orientadas a la optimización del sistema y su implementación educativa.

2.6.3. Análisis de datos

Para evaluar el impacto del prototipo robótico en la adquisición de vocabulario en inglés, El procesamiento de datos empleó una estrategia metodológica mixta que integró técnicas cuantitativas y cualitativas para garantizar una evaluación comprehensiva de los resultados.

- a. *Análisis cuantitativo:* se inició con la verificación de normalidad y valores atípicos. La normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk [18] según la fórmula:

$$W = \frac{\left(\sum a_i x_{(i)} \right)^2}{\left(\sum x_i - \bar{x} \right)^2} \quad (1)$$

donde $x_{(i)}$ son los valores ordenados, a_i son coeficientes dependientes del tamaño muestral y \bar{x} es la media de la muestra.

Mediante el análisis del diagrama de distribución de puntajes (boxplot) se determinó que no existen valores atípicos.

Posteriormente, para determinar la significancia estadística de las diferencias en el aprendizaje de vocabulario, se aplicó una prueba t de Student para muestras relacionadas, utilizando la fórmula:

$$t = \frac{M_{postest} - M_{pretest}}{SE_{diferencia}} \quad (2)$$

donde M representan las medias y SE el error estándar de la diferencia entre pares de observaciones. Los análisis se realizaron con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$) utilizando el software SPSS.

Complementariamente, se calculó el tamaño del efecto mediante la d de Cohen [19] para cuantificar la magnitud de la intervención:

$$d = \frac{M_{postest} - M_{pretest}}{DE_{diff}} \quad (3)$$

donde DE_{diff} corresponde a la desviación estándar de las diferencias de puntuaciones individuales (postest - pretest). La



interpretación de los valores de d se realizó según los criterios convencionales: pequeño (0.20), mediano (0.50) y grande (0.80).

Además, se calcularon los intervalos de confianza del 95% para la diferencia de medias, usando la fórmula:

$$IC_{95\%} = M_{diff} \pm t_{critico} \times \frac{DE_{diff}}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

donde, M_{diff} es la media de las diferencias, $t_{critico}$ es el valor crítico de t para 95% de confianza y n es el tamaño de la muestra.

- b. Análisis cualitativo:** Los datos observacionales se procesaron mediante análisis descriptivo, calculando frecuencias y porcentajes para cada categoría conductual (atención, motivación y participación). Las entrevistas a docentes se analizaron mediante análisis temático, siguiendo el protocolo de Braun y Clarke [20] que incluyó: familiarización con los datos, generación de códigos iniciales, búsqueda y revisión de temas, y definición de temas finales.

Además, se calculó la potencia estadística a posteriori con base en los resultados obtenidos ($d = 0.40$, $n = 31$, $\alpha = 0.05$). El valor estimado fue $(1-\beta) = 0.61$, lo que indica una capacidad moderada para detectar efectos de esa magnitud. Este cálculo se incluyó con fines de validación complementaria del análisis y para estimar la suficiencia del tamaño muestral empleado.

La integración metodológica permitió la triangulación de fuentes de datos, estableciendo tanto la significancia estadística del cambio en el aprendizaje como la comprensión contextualizada de los procesos motivacionales y conductuales asociados a la intervención tecnológica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los datos reveló un incremento en los puntajes de vocabulario en inglés tras la implementación del prototipo robótico.

3.1. Análisis cuantitativo del aprendizaje

Los resultados del análisis pretest-postest revelaron una mejora significativa en el dominio de vocabulario inglés tras la intervención con el prototipo robótico. Como se presenta en la Tabla 5, la media de aciertos mostró un incremento de 1.52 puntos, representando una mejora relativa del 24.2% en el rendimiento académico.

Tabla 5. Resultados comparativos de evaluación de vocabulario (n=31)

MEDIDA	PRETEST	POSTEST	DIFERENCIA
Media (M)	6.29	7.81	+1.52
Desviación Estándar (DE)	2.56	2.81	-
Puntuación mínima	0	3	-
Puntuación máxima	10	10	-

La prueba de t de Student para muestras relacionadas confirmó que esta diferencia es estadísticamente significativa ($t(30) = 2.23$; $p(T \leq t) = 0.033$). El cálculo del tamaño del efecto (Cohen's $d = 0.40$) muestra que la magnitud de la mejora es moderada, lo que sugiere que el uso del prototipo tuvo un impacto educativo moderado en la adquisición de vocabulario en inglés según los criterios de Cohen [19]. Además, se calculó la potencia estadística a posteriori con base en los resultados obtenidos ($d = 0.40$, $n = 31$, $\alpha = 0.05$). El valor estimado fue $(1-\beta) = 0.61$, lo que indica una capacidad moderada para detectar efectos de esa magnitud.

La Figura 9 visualiza la comparación de medias con intervalos de confianza del 95% (los cuales se ubicaron entre 0.14 y 2.90 puntos), mientras que el análisis de distribución mediante diagramas de caja (Fig. 10) demuestra un desplazamiento generalizado hacia puntuaciones más altas en el postest. La Figura 11, que presenta las trayectorias individuales, revela que 25 de los 31 estudiantes (80.6%) experimentaron mejoras en sus puntuaciones.



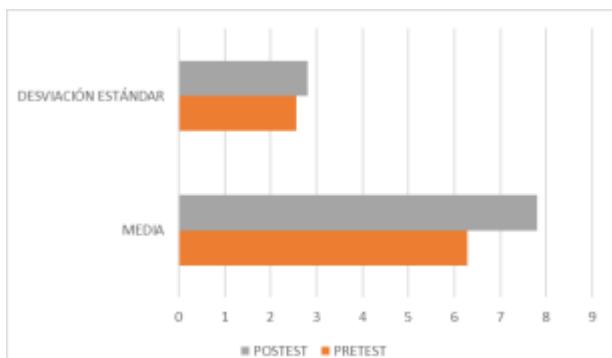


Fig. 9. Comparación de medias y desviación estándar en Pretest y Postest

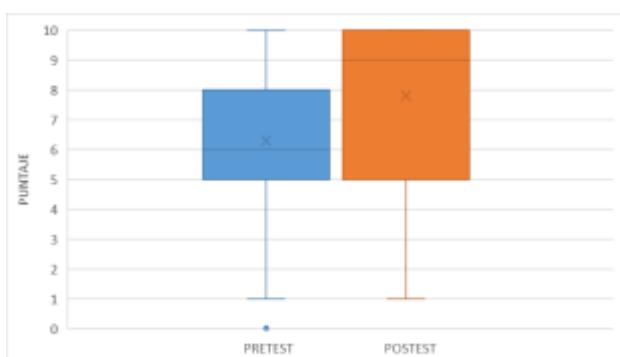


Fig. 10. Distribución de puntajes Pretest vs Postest

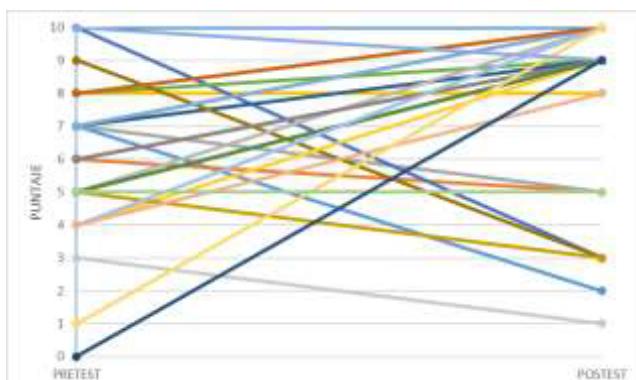


Fig. 11 Evolución individual de estudiantes pretest - postest

3.2. Resultados observacionales

Los registros de observación estructurada, realizados durante las sesiones de intervención, permitieron cuantificar el comportamiento de los estudiantes en tres dimensiones clave: **atención, motivación y participación activa**.

Tabla 5. Nivel de atención, motivación y participación durante la intervención (N = 31)

DIMENSIÓN	ALTA	MEDIA	BAJA
Atención	81%	16%	3%
Motivación	77%	19%	4%
Participación	74%	23%	3%

Los registros indicaron que 25 estudiantes (81%) mantuvieron niveles altos de atención durante las interacciones con el prototipo, mientras que 24 (77%) demostraron alta motivación mediante participación voluntaria y expresiones de entusiasmo. La participación activa mostró una notable mejora en comparación con los niveles registrados en sesiones previas de enseñanza tradicional, donde se habían establecido los parámetros iniciales de conducta.

3.3. Resultados cualitativos

Además, las entrevistas semiestructuradas realizadas a las docentes tras la intervención revelaron tres hallazgos principales:

- Incremento en la motivación intrínseca:** Los docentes reportaron que "los estudiantes mostraban genuino entusiasmo por interactuar con el robot, incluso solicitando tiempo adicional para las actividades".
- Mayor retención del vocabulario:** Se observó que "combinación de estímulos kinestésicos y auditivos facilitó la memorización a largo plazo del vocabulario, evidenciándose una mayor capacidad de recuperación de la información en evaluaciones realizadas posteriormente".
- Sugerencias de mejora:** Las docentes recomendaron "optimizar el diseño gráfico de las interfaces para adecuarlas al desarrollo cognitivo de niños de primer año, simplificando la navegación y aumentando el contraste visual".

La convergencia de evidencias mediante triangulación metodológica ha permitido integrar los hallazgos cuantitativos (mejora significativa en el aprendizaje), observacionales (incremento en atención y participación) y cualitativos (percepción docente sobre motivación y retención). Lo expuesto confirma que la intervención con el prototipo robótico generó impactos positivos tanto en el aprendizaje cuantificable como en los aspectos motivacionales y conductuales, estableciendo su potencial como herramienta educativa complementaria.



4. DISCUSIÓN

Los resultados confirman hallazgos previos sobre el potencial de la robótica educativa para fortalecer tanto los procesos motivacionales como los aprendizajes lingüísticos [8], [12]. La mejora significativa en el dominio de vocabulario ($p < 0.05$), respaldada por un tamaño del efecto moderado ($d = 0.40$), este valor es consistente con estudios previos en robótica educativa que reportan tamaños de efecto similares en intervenciones de corta duración [20], [21]. Además, coincide con lo documentado por Alemi et al. [8] en contextos de educación primaria con robots humanoides. También se debe mencionar que, los intervalos de confianza obtenidos (0.14; 2.90) confirman que el efecto positivo del prototipo en el aprendizaje no se debe al azar. Desde una perspectiva teórica, estos resultados pueden explicarse mediante la Teoría de la Autodeterminación [11], donde el prototipo al proporcionar retroalimentación inmediata y reconocimiento de logros satisface las necesidades psicológicas de competencia y autonomía, reforzando así la motivación intrínseca de los estudiantes.

Los elevados niveles de atención (81%) y motivación (77%) observados pueden asociarse al diseño multimodal del prototipo, que integra control remoto e interacción táctil, superando enfoques unidimensionales reportados en soluciones previas [21]. Esta dualidad de interacción promueve simultáneamente el aprendizaje kinestésico y la inmersión digital, configurando una experiencia educativa significativamente más enriquecida.

Si bien la ausencia de grupo de control limita la generalización de los resultados, la consistencia interna de los hallazgos avalada por la triangulación metodológica establece bases sólidas para futuras réplicas en condiciones experimentales más estrictas. Las observaciones docentes sobre el uso y manipulación coinciden con hallazgos previos en tecnología educativa [22], destacando la necesidad de optimizar iterativamente el diseño de interfaces para garantizar una adopción sostenida y maximizar la efectividad pedagógica a largo plazo.

5. CONCLUSIÓN

El estudio demuestra la viabilidad técnica y pedagógica del prototipo robótico desarrollado para la enseñanza de inglés en educación básica. Los resultados obtenidos sugieren que el uso del prototipo favorece el aprendizaje y la motivación en

los estudiantes, sin embargo, al tratarse de un diseño cuasi experimental sin grupo control y con muestra limitada, los hallazgos presentados deben interpretarse como indicativos y no concluyentes en tres dimensiones analizadas:

En el aprendizaje cognitivo: Se verificó una mejora estadísticamente significativa en la adquisición de vocabulario inglés ($p < 0.05$), con un tamaño de efecto moderado ($d = 0.4$) que evidencia la efectividad pedagógica de la intervención. Este hallazgo corrobora el potencial de los sistemas robóticos como herramientas complementarias para el desarrollo de competencias lingüísticas en contextos educativos formales.

En el ámbito motivacional y conductual: Los análisis sistemáticos documentaron niveles notablemente elevados de atención (81%) y motivación (77%), superando sustancialmente los observados en entornos de enseñanza tradicional. La combinación de interacción física (control remoto) y digital (interfaz táctil) creó una experiencia de aprendizaje multimodal que favoreció la participación activa y sostenida.

En la percepción docente: El análisis cualitativo identificó una valoración positiva del prototipo como recurso didáctico, destacándose su capacidad para fomentar la participación comprometida y mejorar la retención lexical mediante la integración de estímulos kinestésicos y auditivos.

Desde la perspectiva de desarrollo tecnológico, el principal aporte del estudio es un prototipo que integra de manera efectiva múltiples modalidades de interacción (robótica física, interfaz táctil y control remoto), representando una alternativa viable frente a soluciones comerciales de mayor complejidad y costo. Desde el punto de vista académico, el estudio aporta evidencia preliminar sobre la influencia positiva de los robots educativos en la adquisición de vocabulario en contextos de educación inicial ecuatoriana.

Como limitaciones principales, se identifica la ausencia de grupo control y el tamaño muestral reducido, aspectos que deberán abordarse en futuras investigaciones. Las líneas de desarrollo futuro incluyen: (1) optimización del diseño de interfaces para mejorar su uso y manipulación, (2) incremento de la autonomía energética, (3) expansión del contenido pedagógico alineado al currículo nacional, y (4) implementación de estudios



longitudinales que permitan evaluar la retención de aprendizajes a mediano plazo.

En conclusión, el prototipo robótico desarrollado representa una alternativa pedagógicamente efectiva y tecnológicamente viable para complementar la enseñanza del inglés en educación básica, ofreciendo perspectivas promisorias para su escalamiento e implementación en contextos educativos diversos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Educación, "Acuerdo Nro. MINEDUC-ME-2016-00020-A" Ministerio de Educación, Quito, 2016.
- [2] G. Dionisio, L. C. Pascual, and R. Ilustre, "Vocabulary Acquisition and Learning Strategies in Second Language Learning: A Review Paper" *International Journal of English Language Studies*, vol. 4, no. 3, pp. 58–62, 2022.
- [3] O. Adeniyi, A. Olowoyeye, and U. D. Onuoha, "The Effects of Interactive Multimedia on English Language Pronunciation Performance of Pupils in the Nigerian Primary Schools" *Research on Humanities and Social Sciences*, vol. 6, no. 9, pp. 71–78, 2016.
- [4] R. Rojas, "Effectiveness of Teacher-Made Manipulative Learning Materials in Improving the Word Recognition Skills of the Grade 2 Indigenous People Education (IPEd) Learners" *International Journal of Advanced Multidisciplinary Studies*, vol. 3, no. 6, pp. 311–324, 2023.
- [5] C. E. Arrobo Rivera, K. M. Espinosa Muñoz, P. Llivi Llumiquinga, J. L. Pereda Rodríguez, and L. A. Barba Mariño, "Importancia del idioma extranjero en el centro municipal de educación inicial 'Pequeños Exploradores' en Cantón Rumiñahui" *EFDeportes.com Revista digital*, no. 210, 2015.
- [6] M. Benitti, "Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review" *Computers & Education*, vol. 58, no. 3, pp. 978–988, 2012.
- [7] S. Woo, G. LeTendre, T. Pham-Shouse, and Y. Xiong, "The use of social robots in classrooms: A review of field-based studies" *Educational Research Review*, vol. 33, 100388, 2021.
- [8] M. Alemi, A. Meghdari, and M. Ghazisaedy, "Employing humanoid robots for teaching English language in Iranian junior high-schools", *International Journal of Humanoid Robot*, vol. 11, no. 03, 1450022, 2014.
- [9] S. Huang, "Design and development of educational robot teaching resources using artificial intelligence technology", *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 16, no. 5, pp. 116–129, 2021.
- [10] W. Yang et al., "Towards inclusiveness and sustainability of robot programming in early childhood: Child engagement, learning outcomes and teacher perception" *British Journal of Educational Technology*, vol. 53, no. 6, pp. 1486–1510, 2022.
- [11] E. Deci and R. Ryan, "Self-determination theory in psychology" *Psychological Inquiry*, vol. 11, no. 4, pp. 227–268, 2000.
- [12] W.-C. V. Wu et al., "Instructional design using an in-house built teaching assistant robot to enhance elementary school English-as-a-foreign-language learning" *Interactive Learning Environments*, vol. 23, no. 6, pp. 696–714, 2015.
- [13] P. Nugent et al., "Impact of robotics and geospatial technology interventions on youth STEM learning and attitudes" *Journal of Research on Technology in Education*, vol. 42, no. 4, pp. 391–408, 2010.
- [14] K. Wang, G. Sang, L. Huang, S. Li, and J. Guo, "The effectiveness of educational robots in improving learning outcomes: A meta-analysis" *MDPI Sustainability*, vol. 15, no. 5, 4637, 2023.
- [15] J. L. Ramírez-Sánchez and C. Landín-Juárez, "Modelo de Robótica Educativa con el Robot Darwin Mini para Desarrollar Competencias en Estudiantes de Licenciatura" *RIDE. Revista Iberoamericana de Investigación y Desarrollo*, vol. 8, p. 15, 2017.
- [16] G. Urquiza, J. Gavilanes, Á. Llerena, I. Vaca, and L. Villagómez, "Robot publicitario aplicado a la pedagogía infantil" *CIENCIA*, vol. 21, no. 1, 2019.
- [17] J. C. Avilés Díaz and M. S. Ávila García, "Diseño de juegos interactivos y multitáctiles para la enseñanza del inglés" *Ciencia y Tecnología*, vol. 4, 2018.



[18] S. Shapiro, M. Wilk. "An analysis of variance test for normality (complete samples)", *Biometrika* no. 52 (3-4): 591-611. 1965.

[19] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed. New York. Lawrence Erlbaum Associates. 1988.

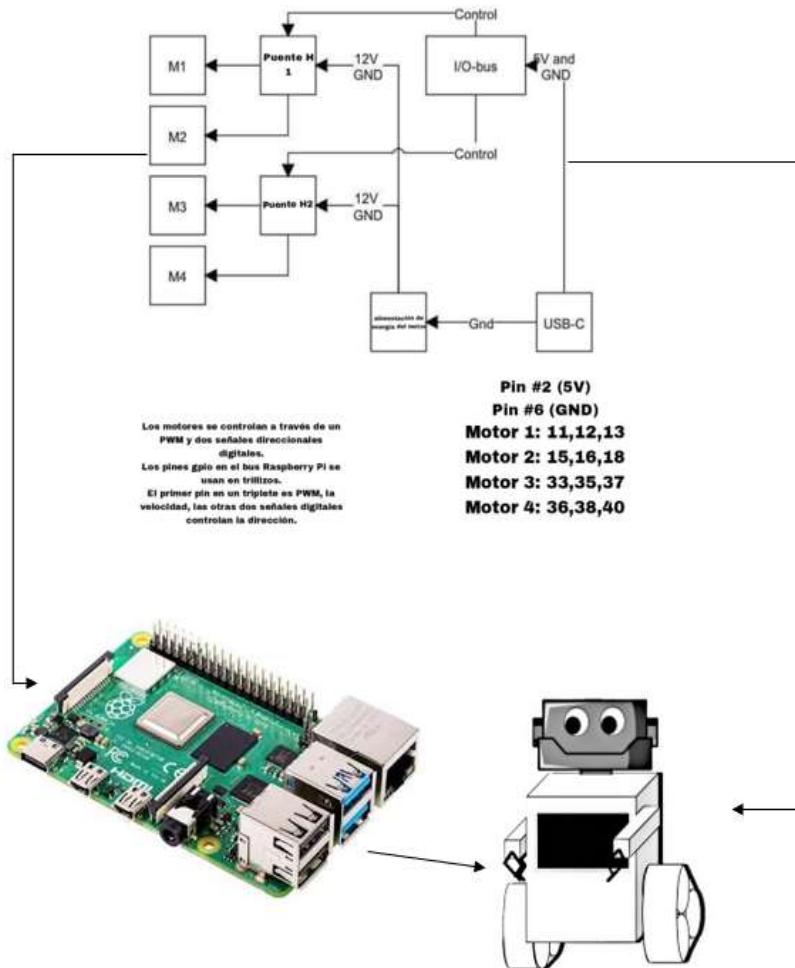
[20] V. Braun and V. Clarke, "Using thematic analysis in psychology" *Qualitative Research in Psychology*, vol. 3, no. 2, pp. 77–101, 2006.

[21] K. Tanaka, F. Takahashi, and H. Suzuki, "Design of a Dual-Mode Educational Robot for Language Learning" *IEEE Transaction of Learning Technologies*, vol. 13, no. 4, pp. 720–734, 2020.

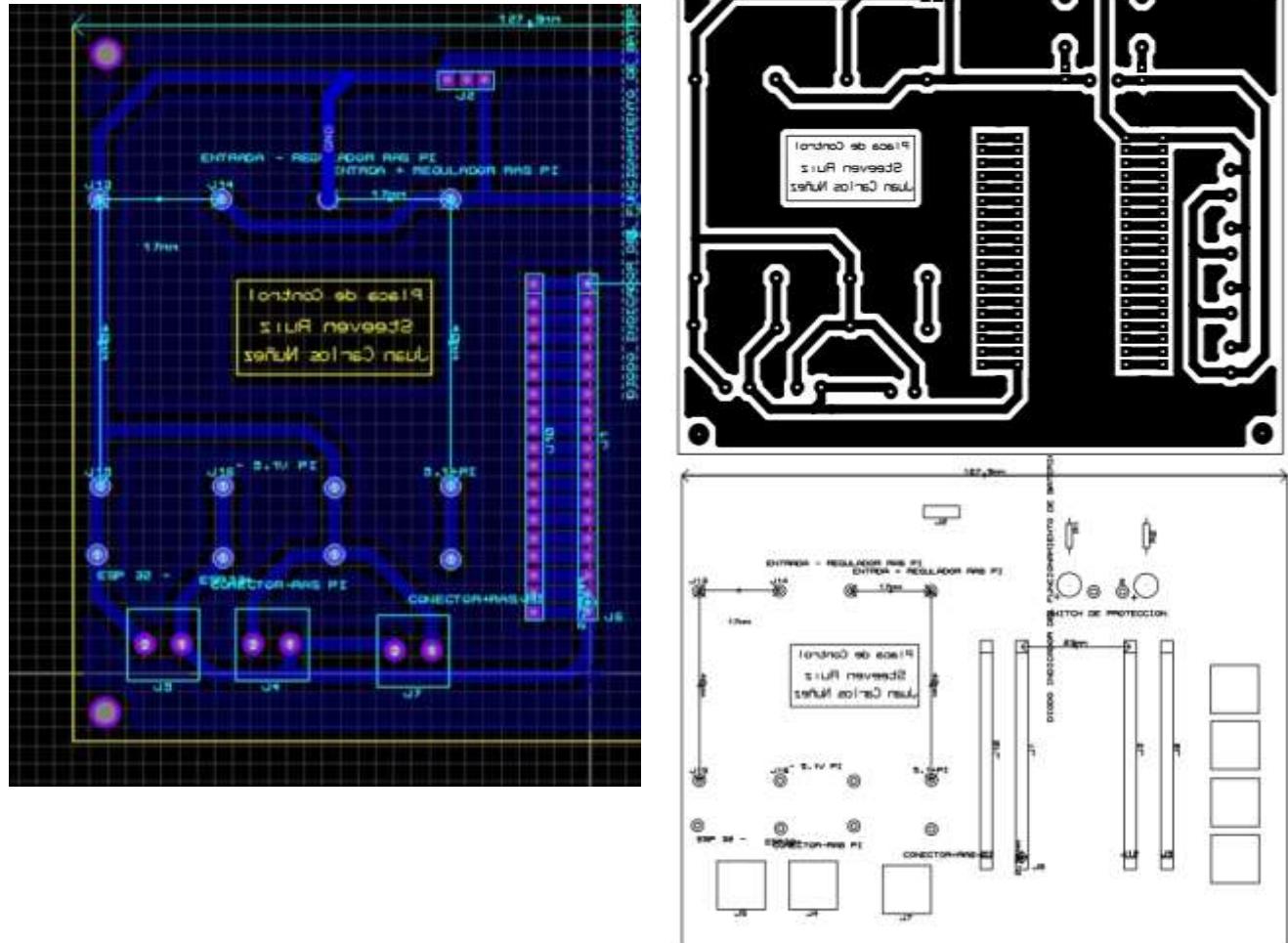
[22] R. Van den Berghe, J. Verhagen, O. Oudgenoeg-Paz, S. Van der Ven, and P. Leseman, "Social Robots for Language Learning: A Review" *Review of Educational Research.*, vol. 89, no. 2, pp. 259–295, 2019.



ANEXO 1: ESQUEMA DE CONEXIÓN



ANEXO 2: Placa electrónica del circuito



ANEXO 3: Flujograma juego interactivo del robot

