DESDE 2013
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive
Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI
ISSN: 2007-6363

Publicación Semestral Pädi Vol. 14 No. Especial 3 (2026) 88-97

Diseño e implementación de un asistente animatrónico inteligente para fines educativos mediante interacción multimodal
Design and implementation of an intelligent animatronic assistant for educational purposes using multimodal interaction

A. E. Nochebuena Navarrete [a], M. A. Ojeda-Misses [a], V. López-Morales [a], L. F. Jiménez-Islas [a]

[a] *Área Académica de Computación y Electrónica, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.*

Resumen

Este trabajo presenta el diseño, desarrollo e implementación de un asistente animatrónico inteligente orientado a aplicaciones educativas mediante interacción multimodal basada en voz, Inteligencia Artificial (IA) y movimientos físicos sincronizados. El sistema integra una arquitectura híbrida compuesta por un equipo de cómputo encargado del procesamiento de información y la comunicación con Microsoft Copilot, una tarjeta Arduino UNO responsable del control de actuadores, una tarjeta Audio-Servo desarrollada específicamente para sincronizar el movimiento mandibular con la señal de audio y un conjunto de servomotores destinados al movimiento de ojos, párpados, mandíbula y cuello. El software implementado permite el reconocimiento de comandos de voz, la generación automática de respuestas mediante Inteligencia Artificial y la ejecución de movimientos autónomos programados para incrementar el realismo de la interacción humano-máquina. La integración de hardware y software permite establecer una comunicación natural entre el usuario y el sistema, favoreciendo procesos de consulta, aprendizaje y divulgación tecnológica. El estudio piloto exploratorio y prueba de concepto se realizó mediante una prueba piloto con niños de entre 8 y 10 años. Los resultados mostraron altos niveles de atención, curiosidad e interés por interactuar con el sistema, además de un incremento en la motivación hacia áreas relacionadas con la robótica, la Inteligencia Artificial y los sistemas embebidos.

Palabras Clave: Asistente, animatrónico, inteligente, educativo, multimodal.

Abstract

This paper presents the design, development, and implementation of an intelligent animatronic assistant intended for educational applications through multimodal interaction based on voice, Artificial Intelligence (AI), and synchronized physical movements. The system integrates a hybrid architecture consisting of a computer responsible for information processing and communication with Microsoft Copilot, an Arduino UNO board for actuator control, a custom-designed Audio-Servo board developed to synchronize jaw movement with the audio signal, and a set of servomotors responsible for controlling the movements of the eyes, eyelids, jaw, and neck. The implemented software enables voice command recognition, automatic response generation through Artificial Intelligence, and the execution of programmed autonomous movements to enhance the realism of human–machine interaction. The integration of hardware and software provides natural communication between the user and the system, supporting information retrieval, learning activities, and technology outreach. An exploratory pilot study and proof-of-concept evaluation was conducted with children between 8 and 10 years of age. Preliminary findings indicated high levels of attention, curiosity, and interest in interacting with the system, as well as increased motivation toward robotics, Artificial Intelligence, and embedded systems. These findings should be interpreted as exploratory and are intended to demonstrate the technical feasibility of the proposed platform, providing a foundation for future studies involving larger samples and standardized educational assessment methods

Keywords: Assistant, animatronic, intelligent, educational, multimodal.

1. Introducción

En la actualidad, el rápido avance de la Inteligencia Artificial, los sistemas embebidos y la automatización ha

*Autor para la correspondencia: luisjimislas2002@gmail.com
Correo electrónico: angelemiliano12345678910@gmail.com (A. E. Nochebuena Navarrete), manuel_ojeda@uaeh.edu.mx (M. A. Ojeda-Misses), virgilio@uaeh.edu.mx (V. López-Morales), luisjimislas2002@gmail.com (L. F. Jiménez-Islas).

Historial del manuscrito: recibido el 08/06/2026, última versión revisada recibida el 01/09/2026, aceptado el 07/09/2026, publicado el 06/11/2026. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial3.18102

permitido desarrollar nuevas formas de interacción entre las personas y los sistemas digitales. Tecnologías como el reconocimiento de voz, el procesamiento de lenguaje natural y la robótica inteligente han comenzado a incorporarse en diferentes áreas de la vida cotidiana, especialmente en sectores como educación, salud, entretenimiento e industria (Russell & Norvig, 2021; Goodfellow et al., 2016). Estos avances han dado lugar al desarrollo de asistentes inteligentes capaces de responder preguntas, automatizar tareas y proporcionar información de manera interactiva mediante voz, texto o incluso movimientos físicos.

Dentro de este contexto, asistentes virtuales como Siri, Alexa, Google Assistant y Cortana han revolucionado la forma en que los usuarios interactúan con dispositivos electrónicos. Estos sistemas utilizan algoritmos de Inteligencia Artificial, reconocimiento automático de voz y aprendizaje automático para interpretar comandos y responder a las solicitudes del usuario de manera eficiente (Jurafsky & Martin, 2024). Gracias a ello, actualmente es posible consultar información, reproducir contenido multimedia, controlar dispositivos electrónicos e incluso apoyar actividades educativas mediante interacción conversacional.

Sin embargo, aunque los asistentes virtuales tradicionales han demostrado gran utilidad, presentan limitaciones importantes relacionadas con la ausencia de presencia física y comunicación visual. La interacción basada únicamente en voz o texto reduce la percepción social y emocional entre el usuario y el sistema (Esfandbod et al., 2022), especialmente en aplicaciones educativas donde la atención, la motivación y la interacción visual juegan un papel fundamental en el aprendizaje (Breazeal, 2003).

Por otra parte, el desarrollo de robots sociales y sistemas animatrónicos ha permitido incorporar mecanismos físicos capaces de generar movimientos, expresiones y comunicación corporal (Rezende et al., 2021). Estos sistemas combinan electrónica, mecánica y programación para simular comportamientos similares a los humanos mediante movimientos faciales, gestos y respuestas auditivas (Fong et al., 2003). En ambientes educativos, diversos estudios han demostrado que la interacción física con robots incrementa la participación, atención y retención de información por parte de los estudiantes (Belpaeme et al., 2018).

La robótica educativa ha adquirido gran relevancia debido a su capacidad para integrar conocimientos multidisciplinarios relacionados con electrónica, programación, automatización, control y diseño mecánico. Asimismo, plataformas de hardware libre como Arduino y Raspberry Pi han facilitado el desarrollo de sistemas robóticos de bajo costo capaces de implementar sensores, actuadores, servomotores y módulos de reconocimiento de voz (Banzi & Shiloh, 2022).

Dentro de los entornos educativos existe el reto de mantener el interés, la atención y la participación de los estudiantes durante las clases o el tiempo de estudio en casa, especialmente cuando los contenidos son presentados mediante métodos convencionales. Esta situación puede limitar la interacción del alumno con los temas abordados y disminuir su interés durante el proceso educativo.

Ante esta necesidad, el proyecto surge como una propuesta de asistente animatrónico inteligente orientado al aprendizaje, capaz de captar la atención de los estudiantes como una consulta educativa mediante interacción multimodal basada en voz y movimientos físicos sincronizados. Sus orígenes se remontan a marzo de 2022, cuando inicialmente se desarrolló un sistema capaz de ejecutar acciones en una computadora mediante comandos de voz utilizando el software “Jarvis”. Posteriormente, el proyecto evolucionó hacia un personaje animatrónico capaz de responder a solicitudes mediante movimientos faciales y corporales coordinados. La primera versión incorporó servomotores para controlar ojos, párpados y mandíbula utilizando placas Arduino UNO y joysticks para el control manual. Más adelante, se implementó una tarjeta Audio-Servo encargada de sincronizar el movimiento mandibular con las respuestas sonoras generadas por el sistema.

De esta manera, el asistente animatrónico inteligente tiene las ventajas de los asistentes virtuales con las capacidades expresivas de los sistemas robóticos para desarrollar una plataforma educativa interactiva enfocada en consulta académica, aprendizaje y enseñanza de áreas como sistemas embebidos, robótica, automatización e Inteligencia Artificial.

La aplicación del proyecto está orientada principalmente a entornos educativos de nivel básico, donde mediante la incorporación de un personaje con características visuales llamativas y capacidad de respuesta, se busca generar una interacción más cercana entre el estudiante y el proyecto, favoreciendo la curiosidad y el interés durante el aprendizaje.

2. Estado del arte

En los últimos años, los asistentes inteligentes, los agentes conversacionales y los robots educativos han adquirido una gran relevancia en distintos contextos tecnológicos debido a su capacidad para mejorar la interacción humano-máquina mediante voz, automatización y procesamiento inteligente de información. El desarrollo de estas tecnologías ha permitido crear plataformas capaces de responder preguntas, ejecutar tareas, proporcionar información en tiempo real y apoyar procesos de aprendizaje mediante interfaces más dinámicas e interactivas. En particular, los agentes conversacionales han sido estudiados como herramientas capaces de apoyar la educación mediante tutorías, retroalimentación automatizada y acompañamiento durante actividades académicas (Pérez et al., 2020).

Los asistentes inteligentes pueden clasificarse de acuerdo con su arquitectura y forma de interacción en; asistentes virtuales, asistentes físicos o robóticos y asistentes híbridos. Los asistentes virtuales son sistemas basados principalmente en software que interactúan mediante voz o texto, sin poseer una representación física. En esta categoría se encuentran aplicaciones comerciales como Siri, Alexa, Google Assistant y Cortana, las cuales permiten al usuario consultar información, ejecutar comandos, organizar actividades y controlar dispositivos digitales. En el contexto educativo, este tipo de tecnologías se ha relacionado con el desarrollo de experiencias de aprendizaje más accesibles, personalizadas y flexibles, especialmente cuando se integran como agentes conversacionales orientados a la resolución de dudas y apoyo al aprendizaje autónomo (Fryer et al., 2020).

No obstante, aunque los asistentes virtuales ofrecen ventajas importantes, también presentan limitaciones relacionadas con la ausencia de presencia física, gestos, expresiones y comunicación corporal. En procesos educativos, la interacción únicamente auditiva o textual puede reducir la percepción social del sistema, así como la atención y el

compromiso del usuario. Por esta razón, las investigaciones en interacción humano-robot han destacado la importancia de incorporar elementos físicos y expresivos que favorezcan una comunicación más natural entre las personas y los sistemas inteligentes (Leite et al., 2013).

En respuesta a estas limitaciones surgieron los asistentes físicos o robóticos, los cuales incorporan una estructura mecánica capaz de interactuar mediante movimientos, gestos y expresiones. En el ámbito educativo, la robótica ha sido considerada una herramienta con alto potencial para fortalecer el aprendizaje, ya que permite integrar conocimientos de programación, electrónica, mecánica, automatización y resolución de problemas. Benitti (2012) señala que la robótica educativa puede contribuir al aprendizaje escolar al favorecer la motivación, la participación y el desarrollo de habilidades tecnológicas mediante actividades prácticas.

Asimismo, Mubin et al. (2013) indican que los robots utilizados en educación pueden desempeñar diferentes roles, tales como tutores, herramientas de aprendizaje o compañeros de interacción. Esta clasificación resulta relevante porque permite comprender que un robot educativo no solo funciona como un dispositivo mecánico, sino como una plataforma pedagógica capaz de facilitar la comunicación, la experimentación y la construcción activa del conocimiento. En este sentido, los robots educativos se han utilizado principalmente en áreas como ciencia, tecnología, ingeniería, matemáticas y aprendizaje de idiomas.

Diversos estudios sistemáticos han mostrado que la robótica educativa puede favorecer el interés de los estudiantes, el trabajo colaborativo, la comprensión de conceptos técnicos y el desarrollo de habilidades de pensamiento computacional. Anwar et al. (2019) realizaron una revisión de estudios sobre robótica educativa en niveles K-12 y encontraron que estas plataformas se han utilizado para fortalecer tanto el aprendizaje conceptual como habilidades transferibles relacionadas con la creatividad, la colaboración y la solución de problemas. De manera similar, Ching et al. (2018) destacan que las tecnologías educativas, incluida la robótica, pueden apoyar el desarrollo del pensamiento computacional en estudiantes jóvenes mediante experiencias prácticas y activas.

La combinación de asistentes virtuales con sistemas robóticos físicos dio origen a los asistentes híbridos, los cuales integran procesamiento inteligente de información, reconocimiento de voz, sensores, actuadores y mecanismos electromecánicos dentro de una misma plataforma. Estos sistemas buscan generar una experiencia más natural mediante interacción multimodal basada en voz, movimiento, expresiones y retroalimentación física. En este tipo de plataformas, la presencia corporal del robot puede incrementar la sensación de cercanía e interacción social, mientras que los módulos de Inteligencia Artificial permiten responder preguntas y adaptar la comunicación a las necesidades del usuario (Li, 2015).

Dentro del contexto educativo, los asistentes híbridos pueden representar una alternativa innovadora para apoyar procesos de enseñanza-aprendizaje, ya que combinan la capacidad de consulta de los asistentes digitales con la interacción expresiva de los robots físicos. Esta integración permite generar experiencias más atractivas para los estudiantes, especialmente cuando el sistema es capaz de acompañar sus respuestas con movimientos faciales, corporales o gestuales. Además, los robots educativos pueden ser diseñados como plataformas de bajo costo mediante el uso de sistemas embebidos, servomotores y módulos de comunicación, lo cual facilita su implementación en instituciones educativas con recursos limitados.

En este sentido, los sistemas animatrónicos educativos constituyen una variante particular de los asistentes híbridos, ya que integran mecanismos físicos destinados a simular expresiones faciales, movimientos de mandíbula, orientación visual y gestos corporales. A diferencia de los asistentes virtuales convencionales, un animatrónico permite que la respuesta auditiva esté acompañada por movimientos visibles, lo que incrementa la percepción de interacción social y favorece una comunicación más atractiva. Este tipo de sistemas resulta especialmente útil en actividades de divulgación, enseñanza de tecnología, museos interactivos, laboratorios educativos y demostraciones de robótica aplicada.

En este artículo se presenta un asistente animatrónico inteligente orientado al aprendizaje y consulta educativa mediante interacción multimodal. El sistema se enmarca en la categoría de asistentes híbridos educativos, ya que combina reconocimiento de voz, automatización, sistemas embebidos y mecanismos electromecánicos para generar respuestas acompañadas de movimientos físicos. La plataforma integra equipo de cómputo para el procesamiento de información, una tarjeta Arduino UNO para el control de actuadores, servomotores encargados de los movimientos faciales y una tarjeta Audio-Servo que sincroniza automáticamente el movimiento de la mandíbula con las respuestas de voz emitidas por el sistema.

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se identifica una oportunidad importante para el desarrollo de asistentes animatrónicos educativos capaces de combinar Inteligencia Artificial, interacción física, voz y sistemas embebidos dentro de plataformas orientadas al aprendizaje interactivo. En este sentido, el asistente animatrónico inteligente se propone como una alternativa tecnológica que integra voz, movimiento y automatización para mejorar la experiencia educativa mediante una interacción más natural, participativa y visualmente atractiva.

3. Desarrollo

La metodología utilizada para el desarrollo del asistente animatrónico inteligente se estructuró en distintas etapas relacionadas con el diseño mecánico, electrónico y de software del sistema. El objetivo principal fue integrar reconocimiento de voz, automatización y mecanismos electromecánicos dentro de una plataforma capaz de interactuar con los usuarios mediante movimientos físicos y respuestas auditivas sincronizadas.

El sistema fue diseñado bajo una arquitectura modular compuesta por cuatro módulos principales: módulo de reconocimiento de voz, módulo de control mecánico, módulo de automatización y módulo de interacción educativa. Esta arquitectura permitió desarrollar cada componente de manera independiente para posteriormente integrarlos dentro de un único sistema interactivo.

3.1 Diseño mecánico del asistente animatrónico

El diseño mecánico del sistema se enfocó en desarrollar una estructura capaz de generar movimientos faciales que

permitieran mejorar la interacción visual con los usuarios. Inicialmente, se diseñó un mecanismo facial utilizando servomotores para controlar el movimiento de ojos, párpados y mandíbula. Estos movimientos permitieron generar expresiones básicas y sincronizar la interacción visual con las respuestas auditivas emitidas por el asistente animatrónico inteligente.

Posteriormente, el sistema fue actualizado mediante la integración de un nuevo diseño mecánico elaborado en impresión 3D para el mecanismo ocular y de párpados (

Fig. 1). Este rediseño permitió mejorar la precisión, estabilidad y realismo de los movimientos faciales. El sistema ocular fue desarrollado con movimiento en dos ejes, utilizando un servomotor independiente para cada eje, lo que permitió realizar desplazamientos horizontales y verticales de la mirada.

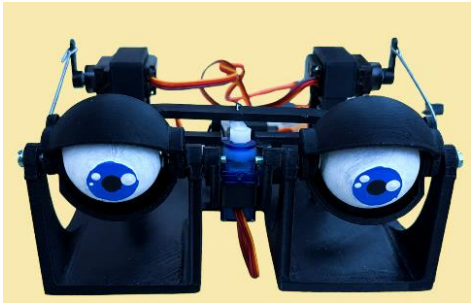


Fig. 1. Mecanismo 3D del movimiento de ojos y párpados del asistente animatrónico inteligente.

En el caso de los párpados, se implementó un servomotor independiente para cada ojo, permitiendo ejecutar movimientos de apertura y cierre de manera más natural y sincronizada, integrando así cuatro servomotores para el mecanismo ocular completo, respondiendo al controlador Arduino UNO. Asimismo, la mandíbula fue rediseñada utilizando componentes fabricados en impresión 3D (Fig. 2), con el objetivo de mejorar la integración mecánica y la sincronización con el sistema de audio.

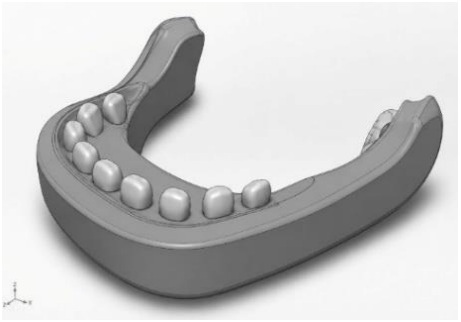


Fig. 2. Mandíbula del asistente animatrónico inteligente creada en programa de diseño asistido por computadora.

La estructura para el movimiento del cuello fue diseñada considerando una rotación en la base permitiendo que tenga soporte, estabilidad y un giro natural que acompaña al dinamismo y personalidad del animatrónico (Fig. 3).

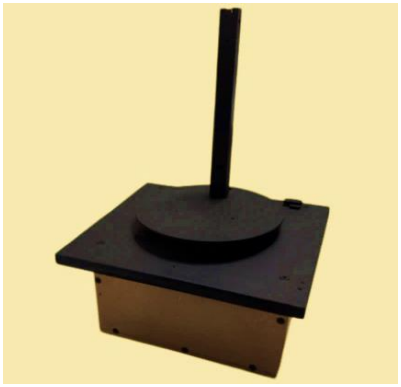


Fig. 3. Mecanismo físico del cuello.

A diferencia de las primeras etapas del desarrollo, donde el control de movimientos se realizaba manualmente mediante joysticks conectados a microcontroladores, la versión actual implementa un sistema automatizado de movimientos mediante la programación directa en el controlador Arduino UNO. De esta manera, al encender el asistente animatrónico, el sistema ejecuta secuencias automáticas de movimiento facial y corporal previamente programadas, incrementando la autonomía y naturalidad de la interacción.

Asimismo, el desarrollo de una máscara del asistente animatrónico inteligente es adaptado para tener un diseño visual hacia una identidad educativa, diseñado en software de diseño asistido por computadora y fabricado mediante impresora 3D, tal como puede observarse en la Fig. 4.

La elección de este personaje inspirado en un videojuego no respondió únicamente a criterios estéticos, sino que diversos estudios han demostrado que los personajes virtuales y los agentes pedagógicos pueden incrementar la motivación, la atención y el interés de los estudiantes durante las actividades de aprendizaje. Chen et al. (2009) señalan que estos personajes favorecen la interacción y el compromiso del alumno, mientras que Heidig et al. (2020) destacan que elementos como la apariencia, las expresiones y el diseño visual influyen positivamente en la experiencia de aprendizaje. Asimismo, revisiones recientes indican que la incorporación de este tipo de personajes dentro de estrategias educativas contribuye a mejorar la participación y el involucramiento de los estudiantes (Dai et al., 2022; Schroeder et al., 2025). Con base en estos antecedentes, el diseño del animatrónico buscó aprovechar la familiaridad que un personaje de este tipo puede generar, con el propósito de despertar curiosidad y favorecer la interacción durante el proceso educativo.



Fig. 4. Máscara del asistente animatrónico inteligente creada en programa de diseño asistido por computadora.

Respecto al uso de la identidad visual se usa con fines educativos y de motivación para el desarrollo de la máscara del asistente animatrónico inteligente, se considera que su aplicación dentro de este trabajo corresponde únicamente a fines académicos y de investigación, con el objetivo de favorecer la interacción y el interés de los estudiantes. El prototipo utiliza la referencia visual como un recurso de apoyo para la evaluación de su impacto en el área educativa

3.2 Diseño electrónico

El sistema electrónico fue desarrollado utilizando tecnologías de hardware libre debido a su flexibilidad, bajo costo y facilidad de integración con sensores y actuadores.

Para el control de movimientos faciales y corporales se utilizaron placas Arduino UNO encargadas de generar las señales PWM necesarias para controlar los servomotores. Estos microcontroladores permitieron coordinar los movimientos en tiempo real y ejecutar las secuencias automatizadas programadas para el asistente animatrónico.

La Figura 5 muestra el esquema general de conexión entre Arduino UNO y los servomotores empleados para controlar los movimientos faciales y corporales del animatrónico.

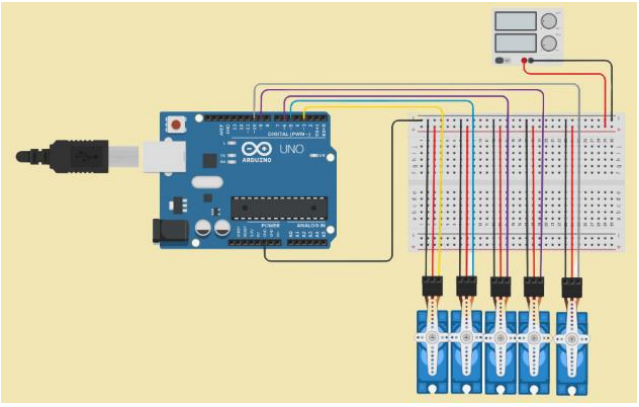


Fig. 5. Conexiones de Arduino UNO con servomotores para movimientos corporales.

El funcionamiento del movimiento ocular y del cuello consiste en que el movimiento de los ojos que se genera de forma autónoma utilizando valores aleatorios dentro de límites definidos, lo que simula un comportamiento natural.

Para evitar movimientos bruscos, el código no cambia directamente a la posición objetivo, sino que interpola gradualmente la posición actual hacia la deseada. Además, se introducen pequeñas variaciones aleatorias (micro movimientos) para aumentar el realismo. Los tiempos entre movimientos también son variables, lo que evita patrones repetitivos. El siguiente pseudo código explica de manera verbal y condicional el algoritmo empleado:

```
INICIO
  Configurar servomotores:
    Ojo X
    Ojo Y
    Párpado izquierdo
    Párpado derecho
    Cuello
  Inicializar posiciones:
    Ojos al centro
    Párpados abiertos
    Cuello al centro
  Inicializar temporizadores
  Inicializar números aleatorios
  MIENTRAS el sistema esté encendido HACER
    Ejecutar movimiento de ojos
      Si llegó el tiempo de un nuevo movimiento entonces
        Generar posición aleatoria para Ojo X
        Generar posición aleatoria para Ojo Y
        Definir próximo tiempo de movimiento
      Fin Si
      Mover suavemente los ojos hacia la posición objetivo
      Agregar pequeñas variaciones aleatorias
    Ejecutar movimiento de cuello
      Si llegó el tiempo de un nuevo movimiento entonces

        Con probabilidad del 75%
          Elegir posición moderada
        Si no
          Elegir posición completa entre 0 y 180°
        Definir próximo tiempo de movimiento
      Fin Si
      Mover suavemente el cuello hacia la posición objetivo
    Ejecutar parpadeo
      Si no está parpadeando y llegó el tiempo de parpadear
      entonces
        Iniciar secuencia de parpadeo
      Fin Si
      Si está parpadeando entonces
        Fase 0:
          Cerrar párpados
        Fase 1:
          Esperar entre 80 y 160 ms
        Fase 2:
          Abrir párpados
          Programar siguiente parpadeo
      Fin Si
  FIN MIENTRAS
FIN
```

Por otro lado, el parpadeo se controla mediante una máquina de estados simple, donde se alterna entre cerrar y abrir los párpados con tiempos aleatorios. Este proceso incluye tres fases: cierre, espera y apertura, lo que simula un parpadeo natural. Asimismo, se incorporan variaciones en los intervalos de parpadeo para imitar comportamientos humanos, incluyendo parpadeos rápidos ocasionales.

Dentro de la arquitectura electrónica se diseña e integra una tarjeta Audio-Servo (Fig. 6), cuyo objetivo consiste en convertir una señal de audio analógica en una señal PWM compatible con servomotores. Su propósito es generar movimientos sincronizados con la amplitud del sonido recibido, siendo especialmente útil en aplicaciones de animatrónica para simular el movimiento de la mandíbula de manera sincronizada con la voz generada por el asistente. El sistema está compuesto por tres etapas principales: acondicionamiento de señal, detección de envolvente y generación de pulsos PWM.

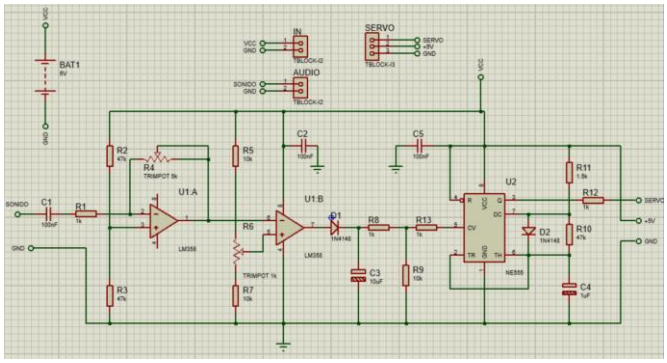


Fig. 6. Circuito audio-servo en simulación.

3.2.1 Acondicionamiento y amplificación de la señal de audio

La señal de audio proveniente de una computadora o reproductor ingresa al circuito y es filtrada para eliminar componentes de corriente continua. Posteriormente, mediante un amplificador operacional LM358, la señal es amplificada hasta un nivel adecuado para su procesamiento, permitiendo ajustar la sensibilidad del sistema según la intensidad del audio de entrada.

3.2.2 Detección de envolvente

La señal amplificada es comparada con un umbral de referencia y posteriormente rectificada. Mediante una red formada por un diodo, resistencias y capacitores, se obtiene la envolvente de la señal de audio, es decir, un voltaje continuo proporcional a la amplitud o intensidad del sonido. Esta etapa permite transformar las variaciones de volumen de la voz en una señal de control.

3.2.3 Generación de PWM y control del servomotor

La señal de envolvente obtenida se aplica al pin de control de un temporizador NE555 configurado como generador PWM. Las variaciones de amplitud del audio modifican el ancho de los pulsos generados, los cuales son enviados al servomotor. Como resultado, el servomotor realiza movimientos proporcionales a la intensidad de la voz, permitiendo simular el movimiento de la mandíbula sincronizada con el habla.

Se procede a la generación del diseño de la placa a través Proteus: PCB layout (Fig. 7). Esta pieza es clave en el desarrollo del animatrónico que permite la conexión entre software y hardware, lo que permite aumentar considerablemente el realismo de la interacción humano-máquina.

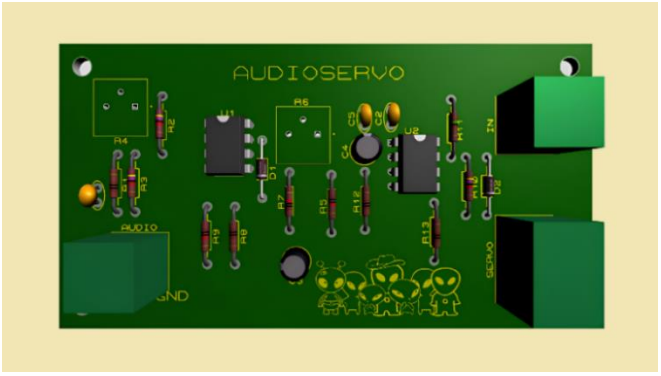


Fig. 7. Layout del circuito Audio-Servo.

3.3 Sistema de reconocimiento de voz

El reconocimiento de voz se implementa mediante el software adicionado con IA Microsoft Copilot, encargado de interpretar comandos de voz, emitidos por los usuarios y generar respuestas automáticas.

El sistema se acciona mediante el comando “Hey, Copilot”, habilitando el modo conversación, introduciendo al usuario a consultar información en base a un entorno educativo. Una vez analizada la solicitud del usuario, el sistema genera una respuesta auditiva la cual es procesada a través de la tarjeta Audio-Servo para sincronizar el movimiento de la mandíbula con el audio generado.

El uso de reconocimiento de voz permite desarrollar una interfaz natural de interacción entre el usuario y el asistente animatrónico, facilitando la consulta de información y la comunicación verbal dentro de ambientes educativos.

3.4 Integración del sistema educativo interactivo

Finalmente, todos los módulos desarrollados fueron integrados dentro de un sistema educativo interactivo orientado a procesos de aprendizaje y consulta académica.

El asistente Copilot (Fig. 8) se utiliza para responder preguntas básicas, proporcionar información educativa y generar interacción visual y auditiva mediante movimientos faciales y corporales sincronizados.



Fig. 8. IA Microsoft Copilot.

Copilot combina Inteligencia Artificial (IA) generativa con el ecosistema Microsoft 365. Su fortaleza está en entender el contexto, automatizar tareas repetitivas y respetar la seguridad de los datos corporativos, el cual su entendimiento de manera más técnica se puede desarrollar de la siguiente forma:

3.4.1 Entrada del usuario

El proceso comienza cuando el usuario escribe o dicta una instrucción en lenguaje natural, por ejemplo: “Resume este correo” o “Haz una tabla con los gastos del mes”.

3.4.2 Comprensión de la intención

El modelo de lenguaje (basado en GPT-4 y posteriores) analiza la solicitud, identifica la intención y traduce la instrucción en una tarea concreta.

3.4.3 Acceso a Microsoft Graph

Copilot consulta Microsoft Graph, que conecta correos, documentos, calendarios, chats y reuniones. Solo accede a la información a la que el usuario ha concedido permiso.

3.4.4 Procesamiento contextual

El sistema combina la intención del usuario con los datos relevantes, aplicando reglas de seguridad y políticas corporativas para garantizar privacidad y cumplimiento.

3.4.5 Generación de respuesta

El modelo de IA produce un borrador, análisis o presentación. Puede ser un texto, una tabla, un resumen o incluso diapositivas, dependiendo de la aplicación en uso.

3.4.6 Entrega editable

El resultado se muestra directamente en Word, Excel, Outlook o Teams. No es definitivo: el usuario puede revisarlo, ajustarlo y personalizarlo antes de usarlo.

3.4.7 Iteración continua

Copilot aprende del contexto de cada interacción, refinando sus respuestas en tiempo real para adaptarse mejor a las necesidades del usuario.

La integración de reconocimiento de voz, automatización y mecanismos electromecánicos permitió desarrollar un sistema multimodal capaz de mejorar la experiencia de aprendizaje mediante interacción física y conversacional.

Además de su funcionalidad educativa, el asistente animatrónico inteligente representa una oportunidad para el aprendizaje práctico de robótica, sistemas embebidos y automatización, permitiendo aplicar conocimientos multidisciplinarios dentro de un entorno interactivo y tecnológico.

Con todo este sistema se completa el proyecto, donde cada uno aporta funciones para cada etapa y así poder poner en funcionamiento el proyecto una vez ensamblado (

Fig. *9*).



Fig. 9. Prototipo final del asistente animatrónico inteligente.

Finalmente, la naturaleza multimodal del asistente animatrónico desarrollado se fundamenta en la integración simultánea de múltiples canales de interacción y comunicación entre el usuario y el sistema. En particular, el asistente combina modalidades de entrada y salida que incluyen reconocimiento de voz, procesamiento de lenguaje natural mediante Inteligencia Artificial, generación de audio y movimientos físicos sincronizados. La modalidad de entrada se realiza a través de comandos de voz emitidos por el usuario, los cuales son capturados y procesados para interpretar la intención de la consulta.

Posteriormente, la información es enviada a Microsoft Copilot, donde se genera una respuesta contextualizada utilizando Inteligencia Artificial generativa. Finalmente, la respuesta se presenta mediante una modalidad de salida dual compuesta por audio sintetizado y movimientos mecánicos coordinados de mandíbula, ojos, párpados y cuello. Esta combinación de comunicación verbal, auditiva y visual permite que el sistema reproduzca comportamientos similares a los observados en la interacción humana, incrementando el realismo, la expresividad y la capacidad de atención del usuario. Por tanto, el sistema cumple con las características de una interfaz multimodal al integrar de manera simultánea diferentes formas de percepción y comunicación, facilitando una experiencia educativa más natural, intuitiva e inmersiva.

4. Resultados del estudio piloto exploratorio y prueba de concepto

Los resultados se obtienen mediante un estudio piloto exploratorio y prueba de concepto del animatrónico. Se realizó con el objetivo de analizar su efectividad como herramienta educativa, para ello, se llevó a cabo una prueba piloto con un grupo pequeño de seis niños con edades de entre 8 y 10 años. La selección de los participantes se estableció considerando que este rango de edad corresponde al público objetivo para el cual fue diseñado el animatrónico, debido a que durante esta etapa los estudiantes presentan una mayor interacción con recursos visuales, personajes animados y herramientas tecnológicas dentro de ambientes educativos.

Debido al carácter exploratorio del estudio piloto y al tamaño reducido de la muestra (n = 6), únicamente se presentan estadísticas descriptivas, reservando análisis inferenciales para estudios posteriores con muestras representativas. Durante la sesión, cinco de los seis participantes (83 %) mantuvieron atención constante en el sistema, mientras que cuatro (67 %) mostraron reacciones espontáneas como sorpresa, risa o curiosidad. Estos resultados permiten identificar que ayudaron a captar el interés de los participantes. Asimismo, cuatro participantes (67 %) identificaron que el sistema respondía al sonido (

Fig. *10*).

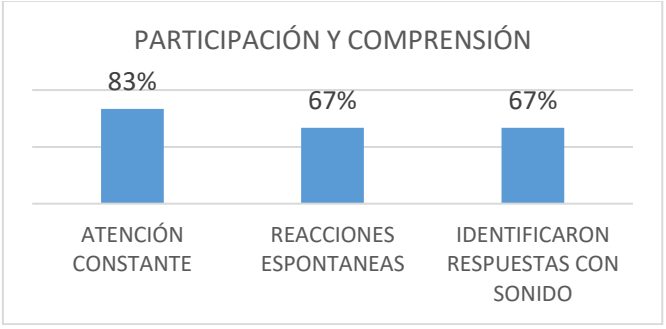


Fig. 10. Participación y comprensión del estudio piloto exploratorio y prueba de concepto.

En la fase de interacción, todos los participantes (100%) activaron el sistema por comando de voz “Hey Copilot”, observando la sincronización de los movimientos del animatrónico con el sonido emitido. Como resultado de esta interacción, cinco de los seis participantes (83%) describieron el comportamiento del sistema como “igual al del juego”, “divertido” o “similar a un ser vivo”, destacando el parpadeo y el movimiento de la mandíbula como los elementos que más llamaron su atención. La Fig. 11 muestra que la mayoría de los participantes percibió el comportamiento del animatrónico como realista o similar al de un ser vivo.

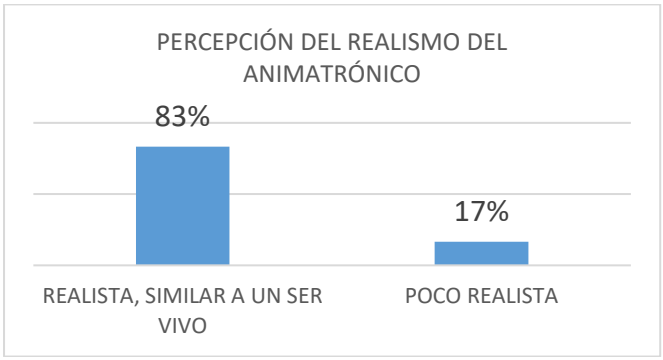


Fig. 11. Percepción del realismo obtenido durante el estudio piloto exploratorio y prueba de concepto del asistente animatrónico inteligente.

Lo anterior permitió identificar como los participantes notaron de manera inmediata la referencia visual al personaje, mostrando curiosidad y entusiasmo antes de iniciar la actividad. Los participantes se acercaron al prototipo con confianza y curiosidad, en la que hicieron comentarios respecto a que habían probado el videojuego o que conocían al personaje. Estas observaciones nos muestran que la familiaridad con el diseño logra favorecer la atención de los participantes durante la interacción, ya que el animatrónico logró captar su interés desde el inicio y motivó a los niños a querer interactuar con él.

Durante la fase de interacción verbal, los participantes realizaron preguntas relacionadas con temas educativos y de cultura general. Entre las preguntas formuladas se encontraron: “¿Cuántos días tiene una semana?”, “¿Por qué el cielo es azul?”, “¿Cuántas patas tiene una araña?”, “¿Qué es un planeta?”, “¿Cuántos continentes existen?”, “¿Cuál es la capital de México?”, “¿Cuánto es 10-3?”, “¿Cuántos días tiene un año?”, “¿Cuál es el animal más grande del mundo?” y “¿Quién fue el primer presidente de México?”. De las diez preguntas realizadas, todas (100%) fueron respondidas correctamente, gracias al uso de Copilot, que consulta rápidamente la información de lo que se cuestiona. Esto permitió observar una aceptación general positiva hacia el sistema y reforzó el interés de los usuarios por continuar interactuando con el animatrónico.

Al finalizar la actividad, cinco de los seis participantes (83%) manifestaron interés en aprender más sobre robótica y la totalidad de los participantes (100%) expresó deseos de volver a interactuar con el sistema. Asimismo, cuatro participantes (67%) mostraron interés por conocer más acerca de la Inteligencia Artificial, y cuatro participantes (67%) relacionaron la experiencia con conceptos previamente vistos en el entorno escolar (

Fig. *12*). En conjunto, estos resultados presentan una respuesta favorable de los participantes y demuestran que el prototipo puede contribuir a despertar el interés por áreas relacionadas con la robótica y la Inteligencia Artificial desde edades tempranas.

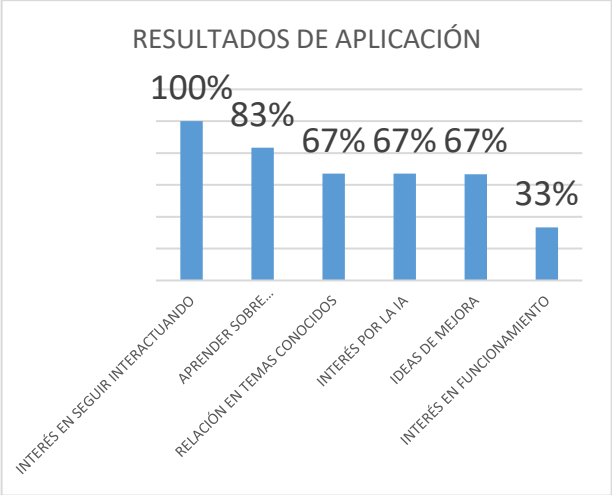


Fig. 12. Impacto educativo percibido tras la interacción del asistente animatrónico inteligente obtenido durante el estudio piloto exploratorio y prueba de concepto.

Finalmente, se anexa el video con una prueba con el asistente animatrónico inteligente en el siguiente link “video.MP4”, en el que se muestra el funcionamiento. Durante las pruebas experimentales, el sistema mantiene conversaciones con los usuarios sobre diversos temas de interés general, demostrando capacidades de interacción humano-máquina mediante la sincronización de movimientos mecánicos y respuestas generadas de manera automática. El prototipo ejecuta orientación visual, movimientos de apertura y cierre de mandíbula que contribuyen a una interacción más natural y atractiva para el usuario.

El video presenta una serie de demostraciones realizadas con el animatrónico desarrollado, evidenciando su potencial como herramienta educativa y de divulgación tecnológica. A través de conversaciones relacionadas con situaciones de la vida cotidiana, el sistema proporciona información y recomendaciones sobre distintos temas, permitiendo establecer una comunicación dinámica con el público. La integración de movimientos expresivos y respuestas verbales favorece una experiencia interactiva que puede ser aprovechada en museos, exposiciones científicas, instituciones educativas y actividades de difusión del conocimiento.

Uno de los ejemplos mostrados en el video corresponde a una conversación orientada a la transformación de ciudades más limpias y sostenibles. Durante esta interacción, el animatrónico destaca la importancia de adoptar prácticas responsables como el reciclaje, la separación adecuada de residuos, la reducción del consumo innecesario de recursos y la participación ciudadana en el cuidado del entorno urbano. Este tipo de contenido demuestra que el sistema no solo es

capaz de responder preguntas generales, sino también de promover la concientización ambiental y fomentar una cultura de sostenibilidad entre los usuarios.

5. Discusión de los resultados

Los resultados muestran que el animatrónico logró captar la atención de los niños gracias a sus movimientos realistas de ojos, párpados y cuello, pero sobre todo el diseño del asistente animatrónico inteligente favoreció la confianza e interacción de los niños al iniciar la actividad. La mayoría pudo comprender que el sistema responde al sonido que proviene de la computadora, e incluso los aspectos más técnicos fueron entendidos, gracias al uso de la IA, que dio las respuestas directas y claras.

La interacción mediante preguntas, apoyada por Inteligencia Artificial, aumentó el interés, ya que los niños percibieron al sistema como divertido y fácil de usar, aun cuando algunas respuestas no fueron totalmente precisas. Además, la relación entre los sonidos generados y la respuesta del animatrónico permitió entender de forma intuitiva el principio de cada función.

Aunque algunos participantes identificaron inmediatamente al personaje, futuros desarrollos contemplan el rediseño de una identidad visual propia con rasgos más amigables para ampliar su aceptación en distintos grupos infantiles e incluso de tareas y/o actividades educativas planificadas para el aprendizaje de algún tema en particular.

En general, el sistema demostró ser útil para despertar curiosidad y motivación hacia la tecnología, funcionando principalmente como una herramienta educativa muy completa que, para niños es muy práctica gracias a su interacción del movimiento.

La elección del diseño visual no respondió únicamente a una preferencia estética ni a la intención de reproducir un personaje comercial, sino a la búsqueda de una apariencia familiar capaz de facilitar la interacción inicial entre el usuario y el sistema. Diversos estudios han demostrado que los personajes virtuales, agentes pedagógicos y diseños visualmente familiares favorecen la motivación, la atención y el compromiso durante actividades de aprendizaje. Con base en estos antecedentes, se adoptó una referencia visual ampliamente reconocible como punto de partida para evaluar el impacto que la familiaridad del personaje podría tener sobre la interacción educativa.

Respecto a la identidad visual utilizada durante el desarrollo del prototipo, el diseño corresponde a una referencia conceptual empleada exclusivamente con fines académicos y de investigación para evaluar el impacto de la familiaridad visual durante la interacción educativa. El sistema desarrollado no reproduce elementos oficiales del personaje original ni tiene fines comerciales. Asimismo, el presente trabajo se centra en la arquitectura mecatrónica, electrónica y de interacción multimodal del asistente, independientemente de su apariencia externa. Como parte del trabajo futuro, se contempla el desarrollo de una identidad visual completamente original que preserve las características pedagógicas observadas, eliminando cualquier posible dependencia de una propiedad intelectual existente.

Es importante señalar que la evaluación presentada corresponde a un estudio piloto de carácter exploratorio, realizado con una muestra reducida de seis participantes, por lo que sus resultados deben interpretarse únicamente como evidencia preliminar sobre el funcionamiento y la interacción con el prototipo. En consecuencia, los hallazgos obtenidos no permiten establecer inferencias estadísticas ni generalizar conclusiones respecto a la efectividad educativa del sistema. Asimismo, la evaluación se centró en observaciones descriptivas de la interacción y la percepción de los participantes, sin incorporar indicadores pedagógicos estandarizados ni análisis estadísticos inferenciales que permitieran cuantificar el impacto educativo de la plataforma.

En este sentido, la principal aportación del presente trabajo radica en demostrar la viabilidad técnica de integrar reconocimiento de voz, Inteligencia Artificial, sistemas embebidos y mecanismos electromecánicos en un asistente animatrónico multimodal funcional. Los resultados obtenidos constituyen una prueba de concepto que proporciona una base para investigaciones posteriores orientadas a evaluar el potencial educativo del sistema mediante diseños experimentales más robustos, muestras representativas e instrumentos de evaluación validados que permitan medir indicadores de aprendizaje, motivación e interacción, complementados con análisis estadísticos inferenciales.

6. Conclusiones

En este trabajo se diseñó, desarrolló e implementó un asistente animatrónico inteligente que integra reconocimiento de voz, Inteligencia Artificial, sistemas embebidos y mecanismos electromecánicos dentro de una arquitectura multimodal. La implementación permitió sincronizar movimientos faciales y corporales con respuestas generadas mediante Inteligencia Artificial, evidenciando la viabilidad técnica de integrar estos componentes en un único sistema interactivo destinado a aplicaciones educativas.

Desde el punto de vista tecnológico, el desarrollo de la tarjeta Audio-Servo, junto con los mecanismos de control para ojos, párpados, mandíbula y cuello, permitió obtener una interacción coordinada entre audio y movimiento, aportando una plataforma funcional para la experimentación en robótica, sistemas embebidos e interacción humano-máquina. Asimismo, la arquitectura propuesta puede adaptarse a diferentes diseños físicos del animatrónico sin modificar su funcionamiento esencial, lo que facilita su reutilización en otros desarrollos tecnológicos.

El estudio piloto realizado con una muestra reducida de participantes permitió obtener hallazgos exploratorios acerca de la interacción entre los usuarios y el prototipo. Durante las pruebas se observaron respuestas favorables relacionadas con la atención, la curiosidad, la participación y el interés por continuar interactuando con el sistema. Sin embargo, debido al carácter exploratorio del estudio y al tamaño limitado de la muestra, estos resultados deben interpretarse únicamente como evidencia preliminar y no permiten establecer conclusiones generalizables sobre la efectividad educativa del sistema.

En consecuencia, la principal contribución de este trabajo radica en el desarrollo e integración de una plataforma animatrónica multimodal funcional que sirve como prueba de concepto para futuras investigaciones. Como trabajo futuro se plantea realizar evaluaciones con muestras significativamente más amplias, incorporar instrumentos estandarizados para medir variables educativas y aplicar análisis estadísticos inferenciales que permitan valorar, con mayor rigor

metodológico, el impacto del sistema en distintos contextos de aprendizaje. Asimismo, se prevé incorporar modelos de Inteligencia Artificial ejecutados localmente, visión artificial y nuevas modalidades de interacción para ampliar las capacidades del prototipo.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial generativa y tecnologías asistidas por IA

Durante la preparación del presente manuscrito, los autores no utilizaron herramientas de Inteligencia Artificial generativa o tecnologías asistidas por IA.

Referencias

Anwar, S., Bascou, N. A., Menekse, M., & Kardgar, A. (2019). A systematic review of studies on educational robotics. Journal of Pre-College Engineering Education Research, 9(2), Article 2. https://doi.org/10.7771/2157-9288.1223

Banzi, M., & Shiloh, M. (2022). Getting started with Arduino (4th ed.). Maker Media.

Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B., & Tanaka, F. (2018). Social robots for education: A review. Science Robotics, 3(21), eaat5954. https://doi.org/10.1126/scirobotics.aat5954

Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. Computers & Education, 58(3), 978–988. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006

Breazeal, C. (2003). Toward sociable robots. Robotics and Autonomous Systems, 42(3–4), 167–175. https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00373-1

Chen, Z. H., Anderson, T. A. F., Cheng, H. N. H., & Chan, T. W. (2009). Character-driven learning: Facilitating students' learning by educational virtual characters. Proceedings of the 17th International Conference on Computers in Education (ICCE 2009), 748–750.

Ching, Y. H., Hsu, Y. C., & Baldwin, S. (2018). Developing computational thinking with educational technologies for young learners. TechTrends, 62, 563–573. https://doi.org/10.1007/s11528-018-0292-7

Dai, L., Jung, M. M., Postma, M., & Louwerse, M. M. (2022). A systematic review of pedagogical agent research: Similarities, differences and unexplored aspects. Computers & Education, 190, 104607. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104607

Esfandbod, A., Nourbala, A., Rokhi, Z., Meghdari, A. F., Taheri, A., & Alemi, M. (2022). Design, Manufacture, and Acceptance Evaluation of APO: A Lip-syncing Social Robot Developed for Lip-reading Training Programs. International Journal of Social Robotics, 15, 225–239. https://doi.org/10.1007/s12369-022-00933-7

Fong, T., Nourbakhsh, I., & Dautenhahn, K. (2003). A survey of socially interactive robots. Robotics and Autonomous Systems, 42(3–4), 143–166. https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00372-X

Fryer, L. K., Nakao, K., & Thompson, A. (2020). Chatbot learning partners: Connecting learning experiences, interest and competence. Computers in Human Behavior, 107, 106271. https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106271

Heidig, S., Müller, J., & Reichelt, M. (2020). Emotional design in multimedia learning: Effects of design features on students' motivation and learning outcomes. Learning and Instruction, 70, 101194. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.01.005

Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2024). Speech and language processing (3rd ed. draft). Pearson.

Leite, I., Martinho, C., & Paiva, A. (2013). Social robots for long-term interaction: A survey. International Journal of Social Robotics, 5, 291–308. https://doi.org/10.1007/s12369-013-0178-y

Li, J. (2015). The benefit of being physically present: A survey of experimental works comparing copresent robots, telepresent robots and virtual agents. International Journal of Human-Computer Studies, 77, 23–37. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2015.01.001

Mubin, O., Stevens, C. J., Shahid, S., Al Mahmud, A., & Dong, J. J. (2013). A review of the applicability of robots in education. Technology for Education and Learning, 1(1), 1–7. https://doi.org/10.2316/Journal.209.2013.1.209-0015

Pérez, J. Q., Daradoumis, T., & Puig, J. M. M. (2020). Rediscovering the use of chatbots in education: A systematic literature review. Computer Applications in Engineering Education, 28(6), 1549–1565. https://doi.org/10.1002/cae.22326

Rezende, E. J. C., Godin, J., Cruz, E. N., Silva, S. A., & Steagall, M. (2021). Art, Design and Technology in Education: Development of Animatronics as Learning Objects for the Study of Robotics. LINK Conference Proceedings. https://doi.org/10.24135/link2021.v2i1.94

Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.). Pearson.

Schroeder, N. L., Davis, R. O., & Yang, E. (2025). Designing and learning with pedagogical agents: An umbrella review. Journal of Educational Computing Research. https://doi.org/10.1177/07356331241288476

Tanaka, F., Cicourel, A., & Movellan, J. R. (2007). Socialization between toddlers and robots at an early childhood education center. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(46), 17954–17958. https://doi.org/10.1073/pnas.0707769104