



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Desarrollo de Aztec: un robot experimental para la
intervención en niños
con autismo utilizando el método TEACCH

Trabajo Fin de Grado

Grado en Tecnologías Interactivas

AUTOR/A: Santos Lopez, Raul

Tutor/a: Pérez Pascual, M^a Asunción

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



Resumen

Aztec, un innovador robot terapéutico diseñado para mejorar las intervenciones educativas para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA), construido sobre el framework de Robot Operating System 2 (ROS 2). Este robot, apoyado en las últimas tecnologías de Inteligencia Artificial, como los grandes modelos de lenguaje. Aztec se basa en la metodología TEACCH, reconocida por su efectividad para adaptarse a las habilidades y necesidades específicas de cada niño con TEA.

En el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas, mi proyecto se alinea específicamente con tres de ellos:

ODS 3 (Salud y Bienestar): Aztec contribuye a este objetivo al fomentar la salud mental y emocional de los niños con TEA, y al motivar la actividad física, ayudando a mejorar su bienestar físico y por consiguiente también el mental.

ODS 4 (Educación de Calidad): A través de Aztec, busco mejorar la calidad de la educación para los niños con TEA, proporcionando una intervención terapéutica personalizada y efectiva.

ODS 10 (Reducción de las desigualdades): Con Aztec, mi objetivo es disminuir las desigualdades en el ámbito educativo para los niños con TEA, facilitando su inclusión social y económica.

Aztec representa un prometedor primer paso en la exploración de cómo la robótica y la inteligencia artificial pueden ser herramientas poderosas para mejorar la calidad de vida de los niños con TEA.

Palabras clave: ROS2, Autismo, I.A., Robótica Terapéutica, Grandes Modelos de Lenguaje, Interacción Humano-Robot, Tecnología Asistencial, Robots Sociales.

Abstract

Aztec, an innovative therapeutic robot designed to enhance educational interventions for children with Autism Spectrum Disorder (ASD), built upon the Robot Operating System 2 (ROS 2) framework. This robot, supported by the latest Artificial Intelligence technologies, such as large language models. Aztec is based on the TEACCH methodology, renowned for its effectiveness in adapting to the specific skills and needs of each child with ASD.

In the context of the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs), my project specifically aligns with three of them:

SDG 3 (Health and Well-being): Aztec contributes to this goal by fostering the mental and emotional health of children with ASD, and by encouraging physical activity, helping to improve their physical and consequently mental well-being.

SDG 4 (Quality Education): Through Aztec, I aim to enhance the quality of education for children with ASD, providing an effective and personalized therapeutic intervention.

SDG 10 (Reduced Inequalities): With Aztec, my goal is to reduce educational inequalities for children with ASD, facilitating their social and economic inclusion.

Aztec represents a promising first step in exploring how robotics and artificial intelligence can be powerful tools to improve the quality of life for children with ASD.

Keywords: ROS2, Autism, A.I., Therapeutic Robotics, Large Language Models, Human-Robot Interaction, Assistive Technology, Social Robots.

Índice

- 1 - Introducción
- 2 - Objetivos
 - 2.1 - Objetivo Principal
 - 2.2 - Objetivos Secundarios
- 3 - Metodología y Tecnologías utilizadas.
 - 3.1 - Descripción del Robot Aztec
 - 3.1.1 - Aspecto y diseño general
 - 3.2 - Metodología propuesta para trabajar con el robot
 - 3.2.1 - Método TEACCH
 - 3.2.2 - Recolección de datos
 - 3.2.3 - Configuración de Aztec para sesiones de terapia
 - 3.2.4 - Evaluación y mejora
 - 3.3 Tecnologías utilizadas para implementar el robot
 - 3.3.1 Hardware
 - 3.3.2 Software
 - 3.4 Implementación del robot Aztec
- 4 - Tests
- 5 - Feedback de usuarios
- 6 - Objetivos de Desarrollo Sostenible
- 7 - Conclusiones y Trabajo Futuro
- 8 - Referencias
- 9 - Anexos


1 - Introducción

El autismo es un trastorno del desarrollo neurológico que se manifiesta en la infancia y se prolonga a lo largo de la vida del individuo. Este trastorno impacta la comunicación, la interacción social y el comportamiento de los individuos que lo padecen. Dada la prevalencia creciente del autismo en las últimas décadas, se subraya la necesidad de desarrollar estrategias de intervención efectivas para mejorar la calidad de vida de las personas con autismo [3].

La intervención temprana y el apoyo continuo son esenciales para ayudar a los niños con autismo a desarrollar habilidades esenciales y adaptarse a la sociedad. En este contexto, el método TEACCH (Treatment and Education of Autistic and related Communication-handicapped CHildren), desarrollado en la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill, ha demostrado ser una estrategia de intervención efectiva [1], ha demostrado ser un enfoque educativo y terapéutico valioso, centrado en las habilidades y necesidades individuales de cada niño con autismo. Sin embargo, la implementación de este método puede ser desafiante debido a las variadas necesidades y habilidades de cada niño.

El autismo, un trastorno del espectro autista (TEA), presenta desafíos únicos en la comunicación, la interacción social, y los patrones de comportamiento, que pueden ser restrictivos y repetitivos [2]. Aunque los factores exactos que dan origen al autismo siguen siendo objeto de investigación, se ha demostrado que tanto los componentes genéticos como los ambientales juegan roles significativos.

Con una prevalencia que ha aumentado a lo largo de las últimas décadas, existe una demanda creciente para intervenciones efectivas que mejoren la calidad de vida de las personas con autismo [3]. Aquí es donde entran las estrategias de intervención como el método TEACCH.



Inventado por el Dr. Eric Schopler en la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill, el método TEACCH se centra en el aprendizaje visual y utiliza diversas ayudas visuales para facilitar la adquisición de habilidades y conceptos [4]. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes de TEACCH es su falta de un componente interactivo robusto [5].

El mundo de la tecnología ha proporcionado soluciones a esta limitación, en particular, la robótica. La interactividad y previsibilidad de los robots los convierten en herramientas beneficiosas para los niños con autismo, que a menudo encuentran dificultades en la imprevisibilidad de las interacciones humanas [6].


Algunos estudios han demostrado que los niños con autismo sienten una atracción natural hacia la tecnología, y los robots, con su naturaleza interactiva y dinámica, pueden ser especialmente cautivadores [7]. Además, se ha encontrado que la interacción con robots puede fomentar el desarrollo de habilidades sociales y comunicativas en los niños con autismo [8].

Aztec, el robot experimental para intervención en niños con autismo, surge como una respuesta innovadora a este desafío. Combina el enfoque pedagógico del método TEACCH con la interactividad de la robótica, ofreciendo un entorno de intervención más personalizado y efectivo para los niños con autismo. Con sus características avanzadas, como la capacidad para mantener conversaciones y un sistema de almacenamiento de datos integral, Aztec se postula como una prometedora herramienta para la intervención en el autismo. No obstante, su eficacia aún necesita ser validada a través de investigación rigurosa.

2 - Objetivos

2.1 Objetivo Principal:

El objetivo principal de este trabajo es diseñar, implementar y evaluar un robot, Aztec, que integre las técnicas pedagógicas específicas del método TEACCH,



adaptadas al contexto de la interactividad y previsibilidad de la robótica, con el propósito de mejorar la calidad de intervención en niños con autismo. Este objetivo también incluye el desarrollo y análisis detallado de las capacidades de comunicación de Aztec, así como su potencial para personalizar las intervenciones basándose en la información recolectada durante las sesiones.

2.2 Objetivos Secundarios:

1- El primer objetivo es diseñar e implementar un sistema de procesamiento de voz en Aztec que permita mantener conversaciones fluidas y coherentes con los niños. Para ello, se emplea la inteligencia artificial del modelo de lenguaje GPT-4 [17] (Chat-based Generative Pre-trained Transformer) de OpenAI. Se destaca la elección de OpenAI por su compromiso ético en el entrenamiento de modelos del lenguaje, que se enfoca en utilizar contenido apropiado para todos los públicos y que no accede a Internet por defecto, asegurando así la seguridad y eficiencia en su interacción con los niños. Este objetivo también abarca la experimentación con distintos modelos y técnicas de procesamiento de lenguaje natural para optimizar la capacidad de Aztec para comprender y responder de manera apropiada a los niños.

2- Diseñar un sistema de almacenamiento de datos sólido y protegido que permita a Aztec capturar y analizar información procedente de las interacciones, con el fin de enriquecer la personalización de la intervención. Este objetivo engloba la construcción de un sistema que responda a las leyes de protección de datos y privacidad, e incluye la aplicación de medidas de seguridad adicionales, como la encriptación, para asegurar la protección máxima de los datos recopilados. Asimismo, se garantizará que los padres de los niños sean plenamente conscientes del tipo de datos que se recolectarán y el propósito de dicha recolección. Es crucial mencionar que los datos recolectados no serán cedidos a terceros.

Como una línea de investigación futura que permita la evolución continua de Aztec, se plantea el tercer objetivo:

3- Recoger y analizar las retroalimentaciones de los niños y los adultos que participan en las intervenciones con Aztec, con el propósito de mejorar y adaptar constantemente las habilidades y funcionalidades del robot. Este objetivo considera la incorporación de las opiniones recibidas en el proceso de diseño e implementación, con el objetivo de garantizar que Aztec se ajuste de la mejor forma posible a las necesidades y expectativas de sus usuarios.

3 - Metodología y Tecnologías utilizadas.

3.1 Descripción del Robot Aztec

Aztec es un robot diseñado como un recurso experimental para interactuar con niños diagnosticados con trastorno del espectro autista (TEA). Este robot toma inspiración de icónicos personajes de la cultura popular como el robot WALL-E y Cortocircuito, con el objetivo de crear un diseño amigable y accesible que facilite una conexión más fuerte con los niños.





Figura 1. Fotografía del robot Aztec

3.1.1 Aspecto y diseño general


Aztec tiene una estructura de caja cuadrada que facilita su manejo y la implementación de diversos componentes internos. La caja utilizada como chasis es de plástico reciclado, lo que destaca el compromiso del proyecto con la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.

En la cara frontal de Aztec, se sitúa una pantalla de 64x16 WS2812B Neopixel [15], que proporciona una interfaz de usuario donde se pueden mostrar pictogramas los cuales son visibles con luz directa del sol gracias a su potencia lumínica. Además, cuenta con una cabeza móvil que puede realizar movimientos de paneo (pan) e inclinación (tilt) gracias a la incorporación de dos servos[21]. Esta capacidad de movimiento añade una dimensión de interactividad y dinamismo a las interacciones con Aztec.

Para su desplazamiento, Aztec está equipado con dos ruedas WHEELTEC [30] de 65 x 26 mm y una rueda Carter [31] de uso genérico, que aunque no está expresamente diseñada para la robótica, ofrece un rendimiento más que adecuado. La gestión y coordinación de estas ruedas se llevan a cabo mediante un controlador diferencial, que a pesar de ser más sencillo que el modelo Ackermann, otorga a Aztec una total capacidad de maniobra, permitiendo giros de 360 grados en su propio eje y el libre movimiento en cualquier dirección.

La cara de Aztec es una pantalla de 5.5 pulgadas que muestra dos ojos, diseñados con la plataforma de creación de videojuegos Unity y compilados para Android. Esta característica le da a Aztec un aspecto más humano, que puede ayudar a mejorar su aceptación y a fomentar el compromiso por parte de los niños.

Continuando con su compromiso con la sostenibilidad y la reutilización, Aztec está compuesto en su mayoría por componentes de segunda mano. Este enfoque tiene varias ventajas. Primero, contribuye a la economía circular, reduciendo la



necesidad de producir nuevos componentes y disminuyendo así el impacto ambiental asociado con su fabricación. Segundo, permite la creación de un robot avanzado y funcional a un costo reducido, haciendo que la tecnología sea más accesible.

La reutilización de componentes de segunda mano no impide en ningún momento que Aztec cumpla con su función. Cada componente ha sido cuidadosamente seleccionado y probado para garantizar que cumpla con los requisitos necesarios para su papel en el robot. Esta estrategia ha permitido construir un robot eficaz y ambientalmente amigable, sin sacrificar su rendimiento o funcionalidad.

3.2 Metodología propuesta para trabajar con el robot

Aztec tiene como propósito principal ser una valiosa herramienta en las intervenciones con niños diagnosticados con autismo. Para conseguir esto, se ha elegido emplear una metodología inspirada en el método de enseñanza estructurada para niños con autismo, conocida como TEACCH. El diseño e implementación del robot están intrínsecamente ligados a esta metodología, y por eso, antes de adentrarnos en los detalles técnicos de cómo se ha desarrollado Aztec, es crucial entender esta metodología.

3.2.1 Método TEACCH

El Método TEACCH (Treatment and Education of Autistic and related Communication-handicapped CHildren) se centra en el uso de las fortalezas y preferencias individuales de cada niño para promover el aprendizaje y el desarrollo. Se reconocen y respetan las diferencias de cada niño y se busca proporcionar intervenciones individualizadas que sean apropiadas para sus necesidades y habilidades únicas.

Las intervenciones se basan en la estructura y la rutina, con un enfoque visual fuerte, ya que muchos niños con autismo son aprendices visuales fuertes. Se utiliza



un enfoque de enseñanza en pasos pequeños, con mucho refuerzo positivo y apoyo para fomentar el aprendizaje.

Aztec implementará actividades basadas en este método para la intervención. La interactividad y el aspecto amigable del robot se utilizarán para atraer y mantener la atención de los niños durante estas actividades. El robot también proporcionará refuerzos positivos y apoyo durante las sesiones de intervención.

3.2.2 Recolección de datos

Un componente esencial de la metodología es la recolección de datos durante las intervenciones. Aztec está equipado para grabar y almacenar conversaciones, junto con los datos recopilados por sus múltiples sensores. Estos datos brindan un panorama detallado de la interacción entre el niño y el robot y pueden ser utilizados para análisis posteriores. En el apartado 3.2.4, se detallan los datos específicos que Aztec guarda.

El análisis de los datos recogidos por Aztec se realizará mediante un enfoque combinado de métodos cuantitativos y cualitativos.

El análisis cualitativo se centrará en el contenido y la naturaleza de las interacciones, explorando las respuestas emocionales, las formas de lenguaje utilizadas y la calidad de las interacciones entre el niño y Aztec.

Por otro lado, el análisis cuantitativo se concentrará en medidas numéricas y estadísticas, como la frecuencia y la duración de las interacciones y la cantidad de veces que se utilizan ciertos comandos o acciones.

Estos dos enfoques proporcionarán una imagen completa de cómo Aztec interactúa con los niños y cómo estas interacciones pueden mejorarse para beneficiar más eficazmente a los niños con autismo.

3.2.3 Configuración de Aztec para sesiones de terapia

La configuración de Aztec para las sesiones de terapia inicia con la definición de un contexto en Langchain[22]. Este paso esencial proporciona a Aztec una "conciencia", informándole acerca de su identidad, su ubicación y con quién va a interactuar.

El contexto predeterminado de Aztec es el siguiente:


"Eres Aztec, un robot que interactúa con niños. Tu trabajo se desarrolla en una asociación para niños. Evita mencionar la palabra 'autista'. Tus respuestas son cortas y consideradas, ya que te encuentras en un entorno con niños pequeños. Eres amigable, agradable y simpático, siempre dispuesto a ayudar a los demás."

Este contexto puede ser enriquecido con cualquier información relevante adicional.

La navegación autónoma de Aztec se gestiona mediante la opción 'Goal pose' en el programa RVIZ2 [23]. Este recurso permite a Aztec moverse de forma autónoma dentro de un espacio predefinido. Cuando Aztec se aproxima al niño, se utiliza un mando analógico de PS3 para un control más preciso. Con este mando, el stick analógico izquierdo controla los movimientos de la cabeza de Aztec, mientras que el stick analógico derecho dirige el movimiento de la base del robot. Así, Aztec puede interactuar de manera segura y efectiva con el niño durante las sesiones de terapia.

3.2.4 Evaluación y mejora

Los sensores incorporados en Aztec recolectan una variedad de datos que son críticos para evaluar la eficacia de las intervenciones y para identificar áreas de mejora. Estos incluyen, pero no se limitan a:



1- Datos de visión: Provenientes de la cámara de visión por computadora OAK-D-PRO de Luxonis [10]. Estos datos pueden proporcionar información sobre las respuestas faciales y corporales de los niños durante la interacción, como expresiones faciales y movimientos del cuerpo.

2- Datos de profundidad y proximidad: Recogidos por el sensor 3D Time of Flight (ToF) CS20 [14]. Pueden ser utilizados para evaluar la proximidad del niño al robot, lo cual podría ser un indicativo del nivel de confort o interés del niño.

3- Datos de audio: Los datos de audio, que son recogidos por el micrófono INMP441 de TDK [15], son fundamentales en el análisis de las respuestas verbales y los sonidos emitidos por los niños. Esta información adquiere relevancia especialmente al poder ser empleada en otros proyectos como "Implementación de un Algoritmo de Detección de Emociones para Aplicaciones de Terapia en Niños", supervisado por la tutora académica M^a Asunción Pérez Pascual, finalizado el 21/09/22. La interpretación de estos datos de audio ofrece una perspectiva más profunda de las emociones de los niños durante las interacciones, lo cual permite desarrollar una terapia más eficiente y personalizada.

4- Datos de LIDAR: Recopilados por el LIDAR MS200 [11] de Orbbec Technology Group. Estos datos pueden ser útiles para determinar los patrones de movimiento del niño en el entorno del robot.

Estos datos recogidos pueden proporcionar una visión valiosa sobre cómo los niños con autismo interactúan con Aztec. Por ejemplo, los patrones consistentes en los datos de profundidad y proximidad podrían sugerir que un niño se siente más cómodo cuando interactúa con Aztec a una cierta distancia. De igual manera, los cambios en las expresiones faciales y movimientos del cuerpo, captados por la cámara de visión por computadora, podrían indicar respuestas positivas o negativas a ciertas intervenciones.

Estos datos pueden ser utilizados para ajustar y mejorar las futuras intervenciones, como personalizar la proximidad a la que Aztec interactúa con cada niño, o ajustar las intervenciones basándose en las respuestas faciales y corporales detectadas.

Además, también puede ser posible utilizar estos datos para entrenar modelos de aprendizaje automático, permitiendo una interacción más autónoma y personalizada con los niños en el futuro. Esto proporcionará una sólida base para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la intervención en el autismo, y podría conducir a avances significativos en la manera en que se realizan estas intervenciones.

3.3 Tecnologías utilizadas para implementar el robot

Aztec se ha diseñado con una combinación de tecnologías avanzadas de hardware y software, incluyendo sistemas de procesamiento, sensores, motores, plataformas de software y algoritmos de aprendizaje automático.

3.3.1 Hardware

La configuración del hardware de Aztec es una composición de diversos componentes avanzados que aseguran su funcionalidad y eficacia al interactuar con los usuarios.

La tabla 1 muestra el hardware utilizado, incluyendo una descripción del mismo y referencias bibliográficas.

Producto	Descripción
OAK-D-PRO [10]	Dispositivo avanzado de visión por computadora equipado con cámaras de profundidad y RGB, además de un proyector de puntos IR. Con el chip Myriad X, permite la ejecución de modelos de aprendizaje profundo en tiempo real. Ideal para análisis de imagen y detección de objetos en proyectos de IA.

Myriad X [16]	El chip VPU (Vision Processor Unit) de Intel, incorporado en el OAK-D-Pro, permite la realización de inferencias de inteligencia artificial a alta velocidad. Este dispositivo de visión por computadora hace uso eficiente de este componente para analizar y procesar imágenes en tiempo real para aplicaciones de IA.
3D ToF CS20 [14]	LIDAR de estado sólido, capaz de ofrecer una resolución de 640x480 a 30 fps, es un dispositivo crucial para la captura precisa de datos en 3D. Este sensor utiliza pulsos de luz para mapear entornos y objetos con gran detalle.
Mic INMP441 [15]	Micrófono de MEMS de alta precisión y bajo ruido con salida digital I2S, ideal para aplicaciones de reconocimiento de voz y audio.
LIDAR MS200 [11]	El MS200 LIDAR es un sensor de avanzada tecnología láser que emplea luz y métodos de triangulación para generar representaciones tridimensionales detalladas de entornos y objetos. Se destaca por su alta precisión y velocidad, elementos esenciales para la realización de tareas como el mapeo, la navegación autónoma y la detección de objetos.
LG G4 [12]	Smartphone que destaca por su pantalla OLED de 5.5 pulgadas ligeramente curvada. Ofrece una experiencia visual de calidad, junto con otras características sólidas que lo hacen un dispositivo móvil competitivo y versátil.
Pololu Motors [12]	El motor-reductor metálico 37Dx68L mm 12V con encoder de 64 CPR y piñón helicoidal ofrece una relación de 19:1. Es ideal para aplicaciones que requieren un control preciso de la velocidad y la posición, combinado con una alta durabilidad y rendimiento. Se utiliza para controlar el movimiento de las ruedas del robot.

Intel i7-6700 Skylake [17]	Procesador de cuatro núcleos y ocho hilos con una frecuencia base de 3.4GHz, capaz de alcanzar hasta 4.0GHz con Turbo Boost. Admite memoria DDR4, tiene una caché de 8MB y una tecnología de proceso de 14nm. Ideal para aplicaciones y juegos exigentes.
2x8 GB DDR4 Corsair [18]	Dos módulos Corsair DDR4 de 8GB cada uno proporcionan un alto rendimiento, estabilidad y eficiencia energética. Ofrecen velocidades rápidas de transferencia de datos y se utilizan para tareas de computación intensiva.
NVME de 250GB [19]	unidad de estado sólido (SSD) de alto rendimiento, que ofrece velocidades de lectura/escritura de hasta 3500/2300 MB/s. Tiene tecnología V-NAND y se utilizan para tareas intensivas de lectura/escritura de datos.
36 x baterías 21700 Litio de 3270 mAh de Samsung [13]	36 baterías de iones de Litio en formato cilíndrico 21700 de Samsung, cada una con una capacidad de 3270 mAh.
3 x ESP32 [20]	Potente microcontrolador de doble núcleo con capacidades WiFi y Bluetooth integradas. Admite una amplia variedad de periféricos y protocolos de comunicación, y tiene un bajo consumo de energía. Se utiliza para proyectos de IoT, robótica y wearables.
2 x Lithium charger [32]	Módulo de carga de batería de Litio 2A 4.2V 8.4V 12.6V, DC-DC de rectificación síncrona con baja generación de calor y alta eficiencia.
JBL Speaker [33]	Altavoz JBL flip 5, largo 8cm, ancho 4.4cm, imán de neodimio 3cm.

Tabla 1: Hardware del robot Aztec.

3.3.2 Software

A continuación, se muestra una tabla describiendo todas las tecnologías software que se han utilizado en la realización del proyecto.

Nombre	Descripción
Lenguajes de programación	C++ para ESP32, Python para interacción verbal y C++ junto con Python en ROS2.
ROS2	ROS2, o Robot Operating System 2, es una plataforma de software que proporciona un conjunto de servicios esenciales para la creación de aplicaciones de robótica. Ofrece herramientas y bibliotecas que permiten desarrollar sistemas robóticos de manera eficiente, segura y altamente interoperable.
ROS2 NAV2	Navigation 2 (NAV2) es un paquete de ROS2 de código abierto que implementa la plataforma de navegación. Como parte de ROS2, proporciona una serie de características avanzadas para la navegación, incluyendo planificación de trayectorias, control de movimiento y seguimiento de objetivos. Todo ello con un énfasis en la robustez, la flexibilidad y la interoperabilidad.
ROS2 CONTROL	ROS2 Control, elemento esencial en el ecosistema ROS2, proporciona una interfaz estandarizada para relacionarse con hardware robótico. Su estructura permite a los desarrolladores manipular con facilidad los controladores y sensores, permitiéndoles concentrarse en la lógica de control de alto nivel, lo que se traduce en una mayor eficiencia y promoción de la reutilización de código. Como parte de este proyecto de fin de grado, se adaptó también el hardware de control de bajo nivel para la implementación de un control PID en el microcontrolador ESP32. Este se usa para manejar los motores Pololu, también se efectuaron mediciones y cálculos en MATLAB para obtener la ecuación diferencial que relaciona la tensión de entrada con la velocidad angular de salida del motor.

Whisper (Inferencia en CPU local)	Sistema desarrollado por OpenAI que emplea inteligencia artificial para entrenar modelos de transcripción de voz a texto de manera precisa y eficiente. Cabe destacar que para poder hacer la inferencia en la CPU que incorpora Aztec, se usa una versión del modelo cuantizado a números enteros de 8 bits.
VAD	Detección de Actividad de Voz, es un algoritmo que identifica la presencia o ausencia de voz humana en señales de audio, ayudando a mejorar la eficiencia en aplicaciones de procesamiento de voz.
GPT-4 (Inferencia en servidores de OpenAI)	Diseñado con el objetivo principal de producir texto, éste largo modelo del lenguaje ha sido entrenado utilizando una vasta colección de datos de Internet. Es relevante subrayar que decidí usar OpenAI por sus valores éticos en el proceso de entrenamiento: se utiliza exclusivamente contenido apropiado para todos los públicos y por defecto no tiene acceso por defecto a Internet para actuar como buscador. En mi opinión, este aspecto es clave para asegurar que Aztec pueda desempeñar sus funciones con los niños de una manera segura y eficiente.
Langchain	Proyecto de código abierto que optimiza la interacción con GPT-4. Ofrece funciones avanzadas para el procesamiento del lenguaje natural, tales como respuestas enriquecidas y contexto detallado. Además, proporciona capacidades de memoria a corto y largo plazo.
Tacotron 2 (Inferencia en CPU local)	Es un Modelo de texto a voz que convierte texto en espectrogramas de Mel. Trabaja junto con un vocoder, como MelGAN, para generar voz sintética de alta calidad.
MelGAN (Inferencia en CPU local)	Es un Modelo generativo que transforma espectrogramas de Mel en audio, produciendo voz sintetizada de alta calidad en tiempo real.
Ubuntu 22.04	Ubuntu es un sistema operativo basado en Linux, reconocido por su facilidad de uso. Es gratuito, de código abierto y altamente personalizable.
Unity	Es un motor de desarrollo de juegos 3D y 2D altamente versátil y accesible. Ofrece una plataforma robusta para crear experiencias interactivas, utilizada por desarrolladores indie y estudios de juegos grandes. Soporta múltiples plataformas.

Tabla 2: Software del robot Aztec.

3.4 Implementación del robot Aztec

Fase 1:

Empecé haciendo diseños en Unity con los ficheros STL de las piezas de Gobilda, pero decidí empezar con un prototipo con piezas que tenía en casa como una madera, una caja y una pistola de silicona térmica, que además son las mismas que tiene ahora, poco después conocimos a Articubot One, un Robot Australiano que también tiene de chasis una caja de plástico, del que Aztec y yo nos nutrimos de su ROS2 listo para usar. Después empecé a investigar el autismo, esto es algo de lo que todavía sigo aprendiendo.

Fase 2:

ROS2 NAV2 Y ROS2 CONTROL, Aztec se desplazaba sin problemas con el Joystick pero no lo hacía bien con la esperada navegación autónoma, muchas pruebas con el paquete ROS2 Perception para aprovechar la información de profundidad de sus sensores, pruebas con distintos motores, todo esto se alargó 4 meses hasta que por fin di con el fallo, el problema era un simple error en odometría.

Fase 3:

Después de varios diseños de la protoboard hasta encontrar el diseño más apropiado, pruebas con distintos hardware, 2 cortocircuitos con fuego y un síncope por agotamiento, el hardware y software básico para Aztec estaba listo.



Fase 4:

La llegada de GPT-4, para mí GPT-4 es lo más cerca que estaré en mi vida de conocer vida inteligente extraterrestre, para Aztec, mi robot, es la llegada de un Mesías. Desde este momento Aztec ha sido un desarrollo conjunto entre GPT-4 y yo que nos ha permitido dejar al robot Aztec en el KM 0 de un posible camino para la mejora en la implementación del método de TEACCH.

El diagrama que se muestra a continuación muestra el hardware de Aztec y sus conexiones:

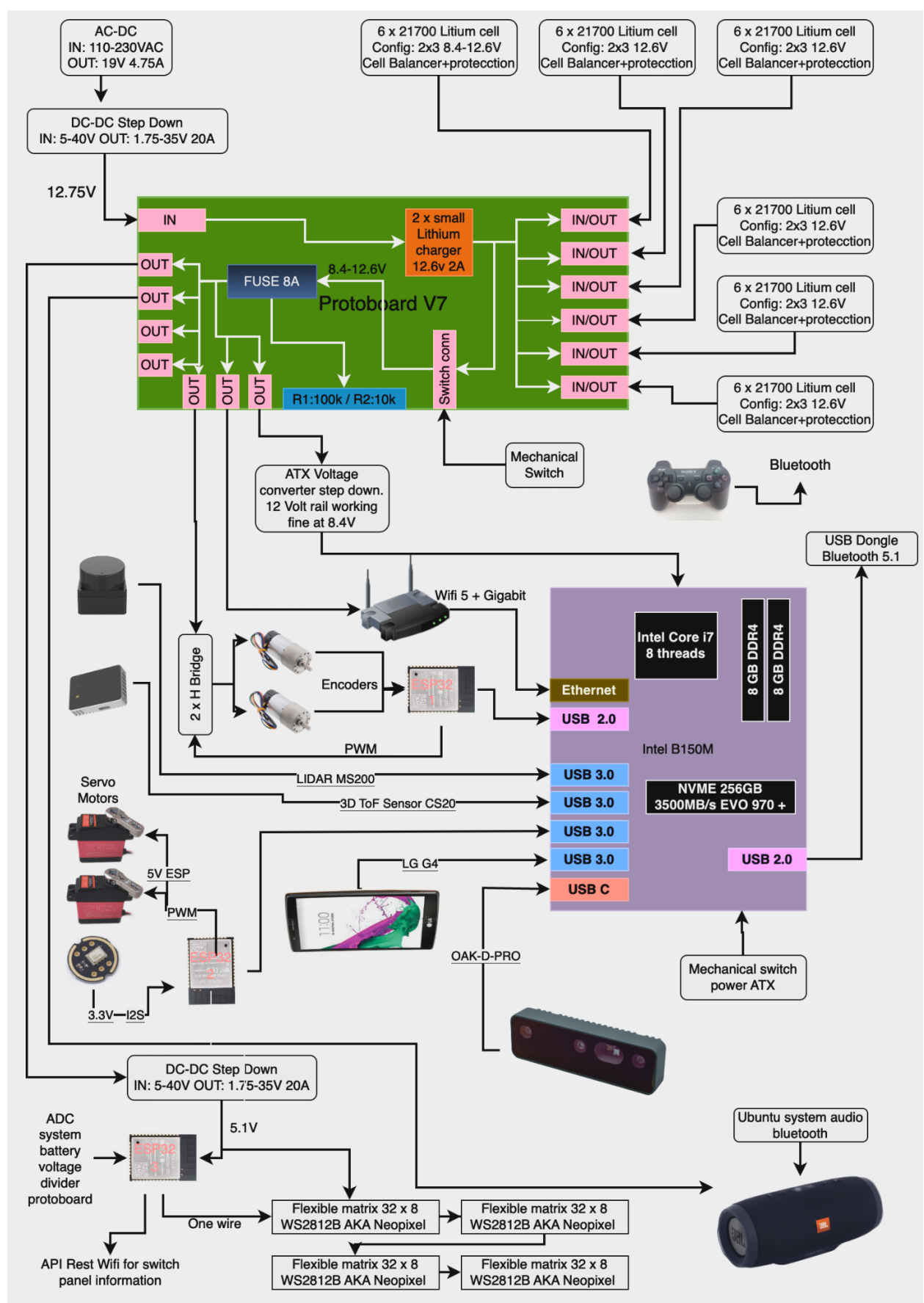


Figura 2: Diagrama de conexiones internas de Aztec.

Para entender mejor cómo el software de Aztec satisface las necesidades de los diferentes actores involucrados, es útil examinar una serie de "historias de usuario". Las historias de usuario son una técnica utilizada en el desarrollo de software que ayuda a definir las características y funcionalidades del sistema desde la perspectiva del usuario final. A continuación, se presentan algunas historias de usuario que describen cómo Aztec interactúa con diferentes tipos de usuarios:

Historia de usuario número 1

a. Descripción de la HU1:

“Como madre de un niño con TEA, quiero que Aztec pueda interactuar verbalmente con mi hijo para ayudarlo a mejorar sus habilidades de comunicación.”

b. Algoritmos y procesos utilizados para implementar la HU1:

Procesamiento de audio	Antes de cualquier otra operación, el audio se preprocesa. Esto incluye la normalización del audio, la compresión y la aplicación de un filtro de banda pasante IIR (Respuesta al Impulso Infinita).
Detección de Actividad de Voz (VAD) de WebRTC pero se usa el fork de SILERO	Detección de Actividad de Voz (VAD) con SILERO: En lugar de usar la implementación de WebRTC para el algoritmo VAD, Aztec utiliza una versión modificada ("fork") de SILERO. Este algoritmo tiene la función de detectar la presencia o ausencia de voz humana en el audio entrante. Este paso es fundamental para determinar cuándo iniciar la transcripción de la voz del usuario y cuándo se ha concluido la conversación. Cabe mencionar que actualmente se está explorando la implementación de un modelo basado en redes neuronales convolucionales (CNNs) de Meta AI (anteriormente Facebook AI), con el objetivo de poder

	disociar la voz de hasta 5 personas hablando al mismo tiempo por un mismo micrófono.
Voice ID (en desarrollo por Raúl Santos)	Voice ID, el proyecto en desarrollo de Raúl Santos, busca establecer un sistema personalizado de identificación de voz mediante el uso de embeddings de 512 dimensiones. Estos embeddings son representaciones vectoriales en un espacio de alta dimensionalidad que capturan las características distintivas de las voces de los usuarios. De esta forma, Aztec puede diferenciar las voces de los usuarios y personalizar las interacciones según quién esté hablando.
Whisper de OpenAI	Un modelo de aprendizaje automático para el reconocimiento de voz automático (ASR, por sus siglas en inglés). Después de que el VAD ha detectado y recortado la voz, Whisper convierte la voz en texto.
Langchain	Este es un proyecto de código abierto que puede agregar más funcionalidad o capacidades personalizadas a la interacción. Dependiendo de cómo se utilice, puede enriquecer las respuestas generadas por ChatGPT, proporcionar un contexto más detallado o realizar otras tareas relacionadas con el procesamiento del lenguaje natural.
GPT-4 de OpenAI	Después de que la voz se convierte en texto y ha pasado por Langchain, entra en GPT-4. Este es un modelo de lenguaje basado en Transformer, una arquitectura de aprendizaje automático para comprender y generar texto.
Tacotron 2 de Google, adaptado por Raúl Santos	Tacotron 2 es un modelo de síntesis de voz basado en las tradicionales Redes Neuronales Recurrentes (RNN) desarrollado por Google y adaptado por Raúl Santos. Haciendo uso de un hardware robusto, específicamente una Nvidia A100 con 40 GB VRAM en la plataforma runpod.io, Santos ha modificado y reentrenado Tacotron 2 con el objetivo de proporcionar a Aztec una voz única y de tono añorado. La función principal de Tacotron 2 es convertir el texto en espectrogramas de Mel, que son representaciones visuales de los sonidos del habla.

MelGAN	<p>MelGAN actúa como un vocoder en el proceso de síntesis de voz, y es un generador de voz basado en Redes Generativas Adversarias (GANs). Su tarea específica es convertir los espectrogramas de Mel en audio de alta calidad. El diseño de MelGAN permite la generación de audio de alta calidad a velocidades de inferencia rápidas, lo que es crucial para su implementación en aplicaciones de síntesis de voz en tiempo real y de alta demanda. Sin embargo, es importante mencionar que la calidad del audio generado por MelGAN está intrínsecamente vinculada a la calidad del espectrograma de Mel proporcionado inicialmente, que es generado por modelos como Tacotron 2.</p>
--------	---

c. Diagrama de bloques de la HU1 y su explicación:

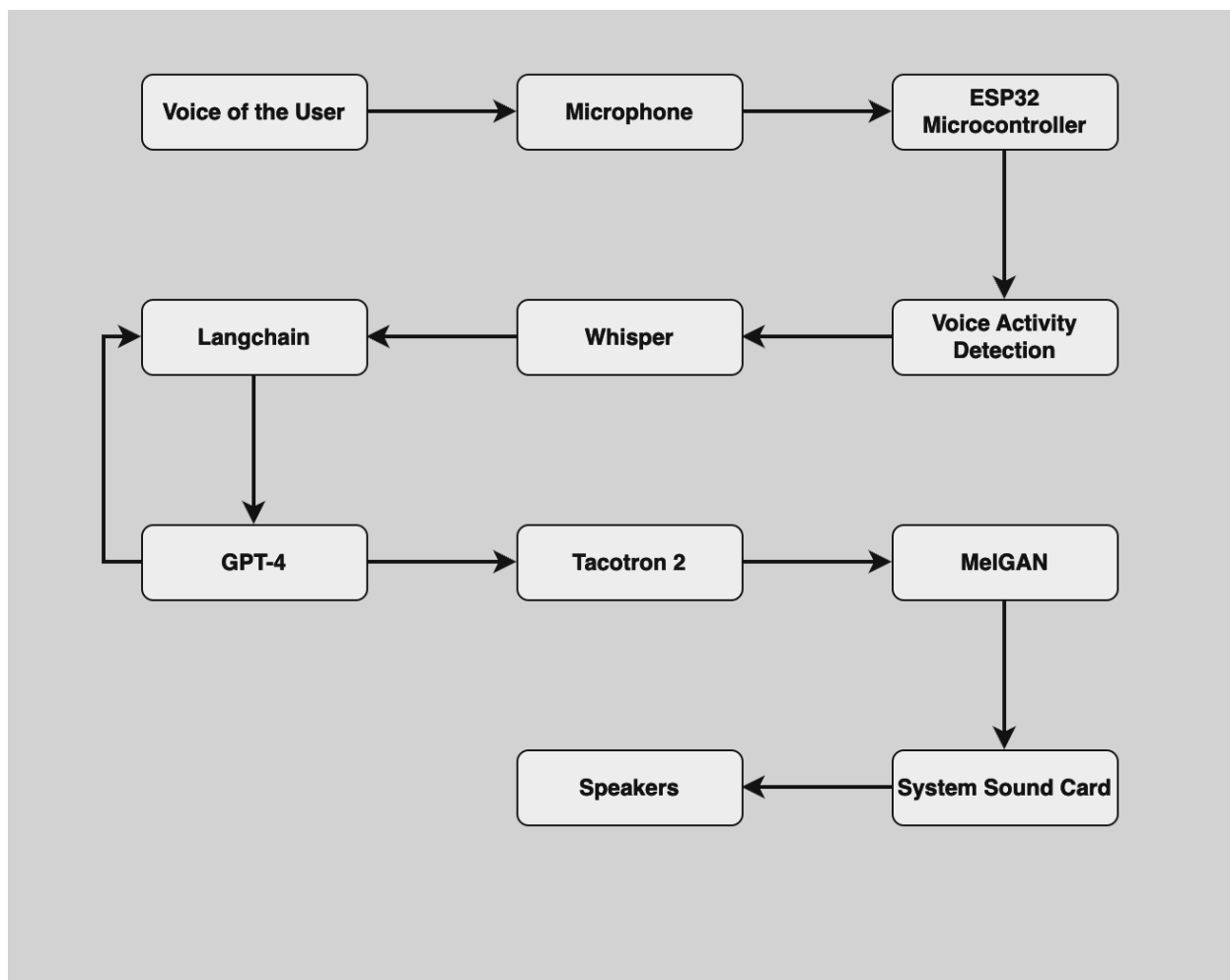


Figura 3: Diagrama de bloques historia de usuario número 1

El proceso comienza con la detección de la voz humana, que se captura mediante un micrófono con una resolución de 16 bits a 32000 Hz. Este flujo de datos de audio se transmite luego al ESP32, un microcontrolador donde se realizan mejoras en el audio.

A continuación, el audio mejorado se divide en pequeños fragmentos que se envían a la CPU. En la CPU, estos fragmentos de audio se almacenan temporalmente en un buffer hasta que se acumulan 100 milisegundos de audio.

Este audio acumulado se envía luego al algoritmo de detección de actividad de voz (VAD). Si el algoritmo VAD detecta la presencia de voz humana en el audio, el audio



se envía a un segundo buffer. Este proceso se repite hasta que el algoritmo VAD detecta una ausencia de voz humana durante 2 segundos.

El contenido del segundo buffer se envía entonces a Whisper, que transcodifica el audio en texto. Este texto se envía a Langchain para su almacenamiento. A continuación, Langchain envía el texto a GPT-4.

GPT-4 procesa el texto y genera una respuesta, que se envía tanto a Langchain como a Tacotron 2. Tacotron 2 transforma el texto en un espectrograma de Mel, que a su vez se envía a MelGAN. MelGAN sintetiza el espectrograma de Mel en el audio final.

Por último, este audio final se envía a la tarjeta de sonido del sistema, donde se reproduce a través de los altavoces.

d. Diagrama de flujo:

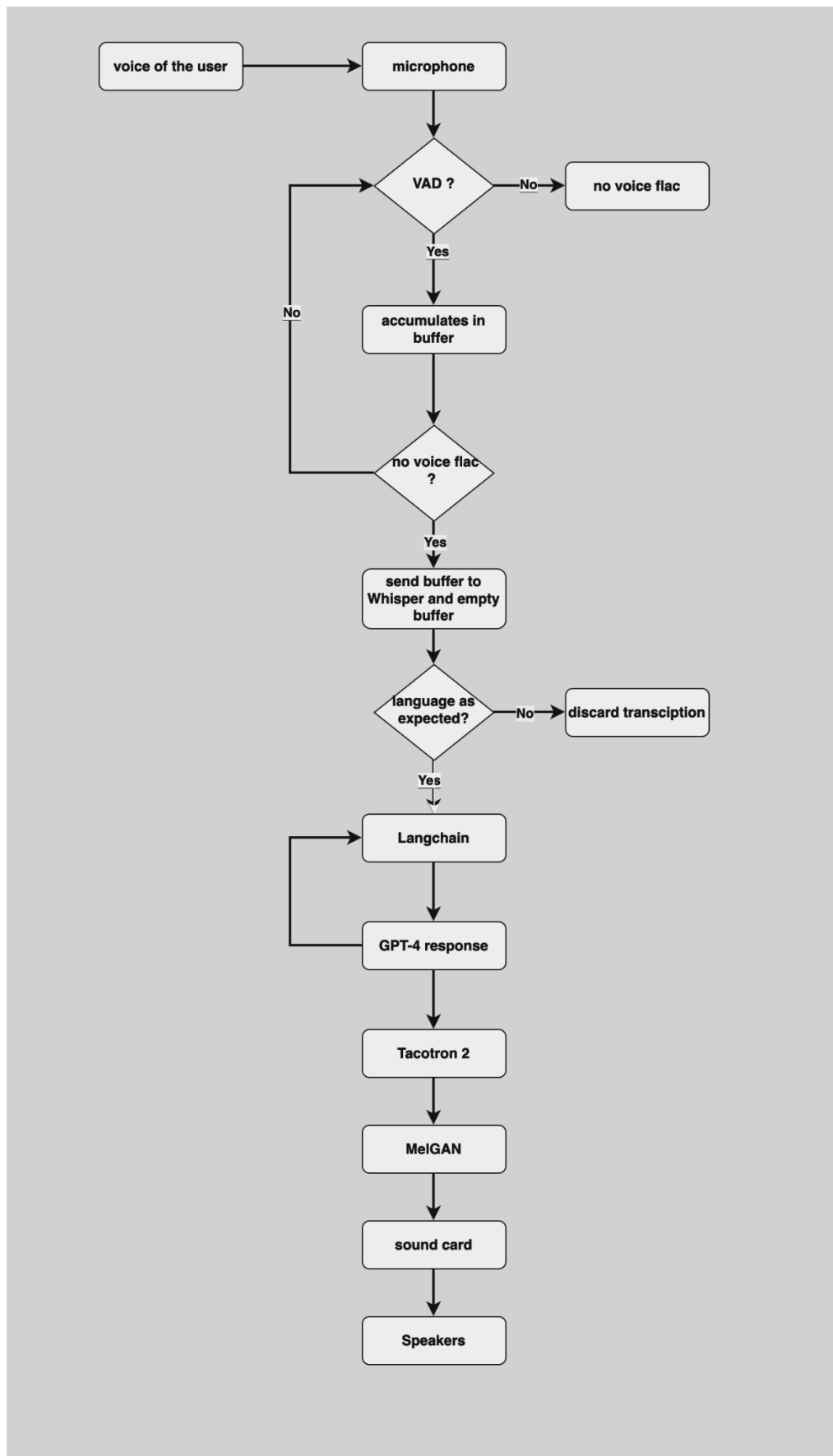


Figura 4: Diagrama de flujo historia de usuario número 1

Si el sistema detecta una ausencia de voz durante 2 segundos después de haber detectado voz previamente, envía el buffer a Whisper. Si el idioma de la transcripción no es el esperado, se descarta. De lo contrario, se envía a Langchain. Langchain procesa el texto y lo envía a GPT-4. La respuesta de GPT-4 se envía tanto a Langchain como a Tacotron 2. Tacotron 2, en colaboración con MelGAN, sintetiza el texto en voz, que se reproduce a través de los altavoces.

Historia de usuario número 2

a. Descripción de la HU2:

“Como terapeuta ocupacional y educador especializado en TEA, deseo que Aztec pueda reconocer, adaptarse y moverse de manera autónoma y segura en su entorno. Esto permitirá que Aztec interactúe efectivamente con niños y estudiantes durante las sesiones de terapia y en el aula sin necesidad de supervisión constante.”

b. Algoritmos y procesos utilizados para implementar la HU2:

ROS2 NAV2 y ROS2 CONTROL	Aztec utiliza ROS2 NAV2, una plataforma de código abierto diseñada para sistemas de robótica autónoma, que proporciona una serie de características avanzadas para la navegación, incluyendo la planificación de trayectorias, el control de movimiento y el seguimiento de objetivos. También, Aztec utiliza ROS2 CONTROL para interactuar con su hardware.
C++ y Python	Estos lenguajes de programación son usados para desarrollar y ejecutar aplicaciones en ESP32 y ROS2, respectivamente. Permiten la programación de las funcionalidades complejas requeridas para la navegación autónoma y la interacción segura con el entorno.

Unity	Se emplea Unity en conjunción con una biblioteca especializada para la creación y personalización procedural de los ojos de Aztec. En el momento actual, Aztec utiliza tres patrones esenciales de movimiento ocular: el enfoque central, mirando hacia la izquierda y la derecha. Esto infunde a Aztec una apariencia más viva y dinámica.
Adafruit Neopixel	Se utiliza la librería Adafruit Neopixel para gestionar la matriz de LEDs ws2812b.
Nodos ROS2	Existe un nodo diseñado por mí, el cual se suscribe al topic <code>cmd_vel</code> . En el momento en que este nodo detecta un giro, envía información actualizada a Unity para cambiar la expresión de los ojos de Aztec. Paralelamente, manda una señal al ESP32 que controla el panel Neopixel con el fin de modificar su animación, incrementando de esta forma su visibilidad y contribuyendo a una navegación autónoma más segura.

c. Diagrama de bloques HU2 y su explicación:

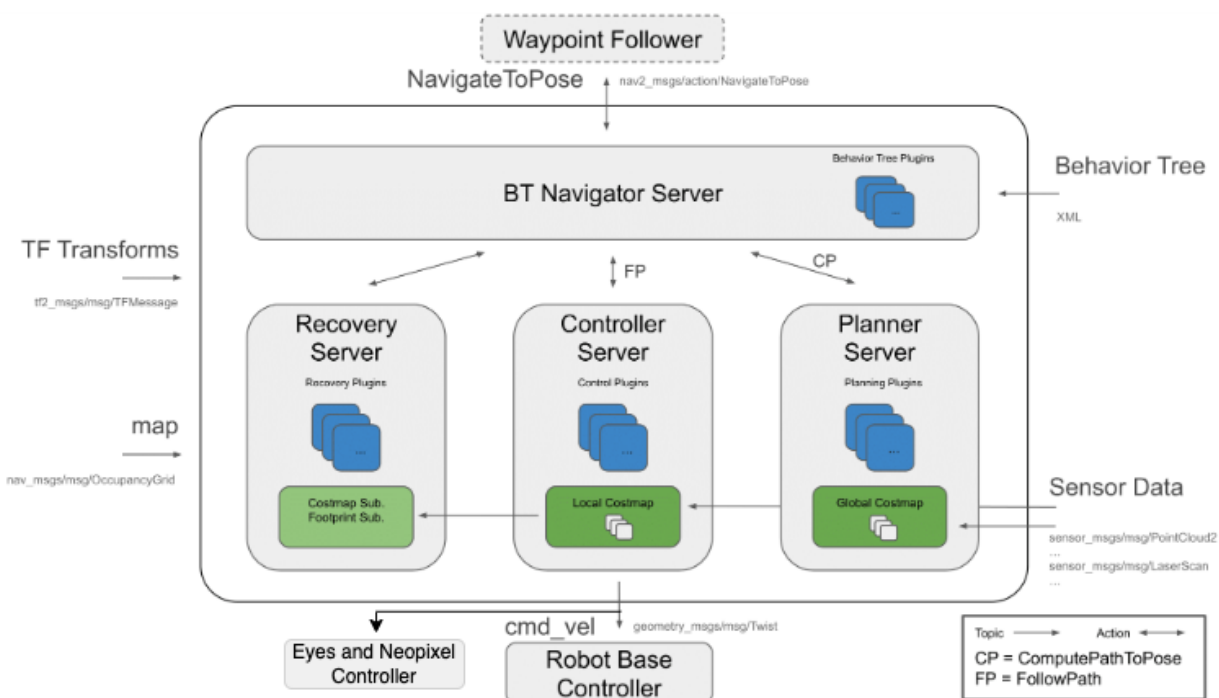




Figura 5: Navigation 2 Architecture.

Fuente: https://ros2-industrial-workshop.readthedocs.io/en/latest/_source/navigation/ROS2-Navigation.html


Este diagrama de bloques ilustra el núcleo de navegación autónoma que ROS2 NAV2 suministra a Aztec. Es crucial subrayar que, antes de su puesta en marcha, se deben activar otros módulos que aportan información a través de topics, los cuales son fundamentales para el correcto funcionamiento de la navegación autónoma.

Dentro de estos módulos se incluyen las transformaciones que el robot envía para identificar su posición y cómo se desplaza en el entorno real. Asimismo, se necesita un mapa generado previamente con SLAM Toolbox, el cual se sirve al núcleo de NAV2 a través del servidor de mapas.

Es esencial la inicialización de todos los sensores y componentes de control, como los motores Pololu, sensores Lidar o cámaras de visión. Finalmente, se debe disponer de un Árbol de Decisión (Behavior Tree) que oriente el proceso de toma de decisiones durante la navegación.

El sistema de navegación se activa cuando recibe la instrucción de desplazarse a una coordenada específica del mapa. Es importante señalar que este mensaje está compuesto por una coordenada y una orientación, y puede ser único si se ha enviado a través de RVIZ2 o de la terminal de línea de comandos. También puede consistir en múltiples puntos si se desea que el robot siga una ruta a través de diferentes ubicaciones en el mapa.

El núcleo del sistema NAV2 se encarga de seleccionar la ruta más corta al destino utilizando el algoritmo de Dijkstra, que es el que Aztec utiliza, aunque hay otras opciones disponibles. Además, si se encuentra un obstáculo que no está en el mapa, el servidor de recuperación detendrá a Aztec, y los módulos del servidor de control y del servidor de planificación generarán una ruta alternativa para esquivar el obstáculo de manera segura y llegar al destino.



Durante este proceso, es esencial entender que el núcleo de NAV2, envía información sobre la velocidad de cada rueda a ROS2 Control, que se encuentra en el Controlador de la Base del Robot. Además, hay otro controlador que toma esta información y la utiliza para cambiar la información que se muestra en los "ojos" y en el panel de LEDs de Aztec.

En resumen, la navegación autónoma en NAV2 es un proceso complejo que demanda la interacción coordinada de múltiples componentes. Sin embargo, se agradece la alta parametrización que cada módulo ofrece a través de sus plugins y sus archivos de configuración YAML o XML. Esta flexibilidad permite adaptar el sistema a una amplia variedad de necesidades y contextos, facilitando la implementación de soluciones de navegación autónoma eficientes y efectivas.

d. Diagrama de flujo HU2:

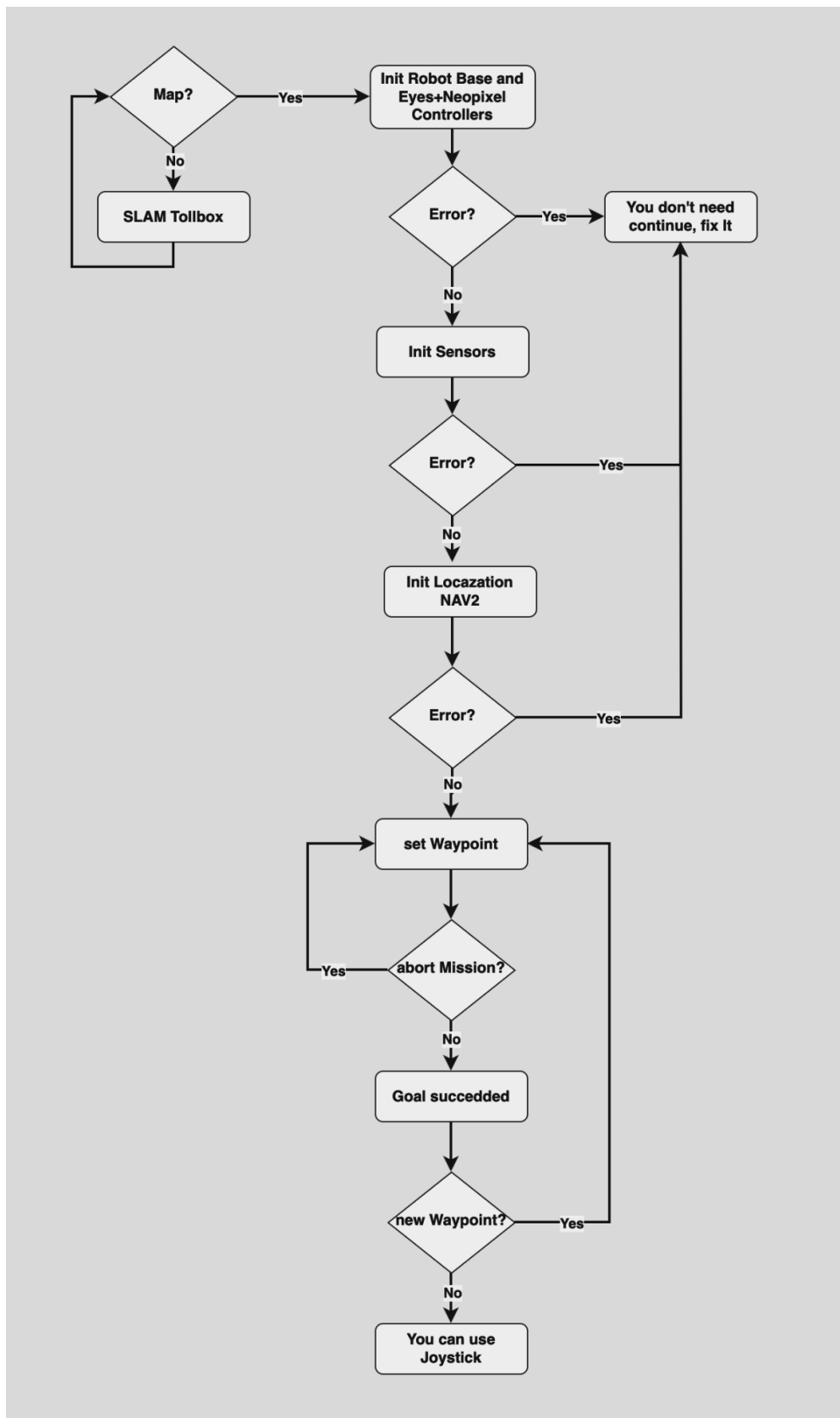




Figura 6: Diagrama de flujo historia de usuario 2.

Después de obtener el mapa del lugar donde planeamos utilizar la navegación autónoma de NAV2, procedemos a inicializar el robot, los sensores y los módulos de navegación y localización de NAV2. Si alguno de estos módulos genera un error, la navegación no funcionará y será necesario realizar reparaciones. Si todo se ha inicializado correctamente, podemos iniciar la navegación estableciendo un punto en el mapa. Una vez que la navegación ha sido exitosa y hemos alcanzado el objetivo, es en este punto donde podemos utilizar un joystick o cualquier otro módulo que hayamos programado. Por ejemplo, podríamos usar un detector de rostros en OAK-D-PRO para obtener sus cuadros delimitadores, calcular el centroide y así lograr que Aztec pueda mirar directamente a los ojos de la persona que tiene delante.

Historia de usuario número 3

a. Descripción de la HU3:

“Como padre de un niño con Trastorno del Espectro Autista (TEA), deseo que Aztec sea capaz de bailar y reproducir música para interactuar, entretener y motivar a mi hijo a moverse de una manera divertida y atractiva, contribuyendo así a evitar el sedentarismo.”

b. Algoritmos y procesos utilizados para implementar la HU3:

API para escuchar música	Existen diversas plataformas que proporcionan este servicio, tales como Spotify, Apple Music, YouTube, entre otras.
--------------------------	---

Librería Adafruit Neopixel para Arduino IDE	Librería desarrollada por Adafruit Industries, permite controlar LEDs RGB NeoPixel direccionables individualmente. Proporciona funciones para establecer colores y crear patrones de iluminación. Los NeoPixels se controlan con un solo pin de datos digitales, facilitando su manejo.
ROS2 Y ROS2 CONTROL	Proporcionan la infraestructura para controlar y coordinar las acciones de Aztec, como reproducir música, bailar y responder a las interacciones del niño, de manera efectiva y segura.
Interacción verbal de Aztec	Implica el uso de reconocimiento y síntesis de voz para comunicarse, responder a comandos y proporcionar retroalimentación audible a los usuarios. Ver HU 1.
Paquete DepthAI para ROS2	Permite la integración de las capacidades de visión por computadora y aprendizaje profundo de la plataforma DepthAI de Luxonis con el sistema de software de robótica ROS2.
Paquete Synexens LIDAR 3D CS20 para ROS2	Facilita la integración y el uso de este sensor LIDAR en aplicaciones de robótica, proporcionando datos de detección de distancia en 3D.
Paquete LIDAR 2D MS200	Facilita la integración del sensor LIDAR MS200, proporcionando datos de detección de distancia en 2D que ayudan a Aztec a evitar golpear obstáculos en su entorno inmediato.

c. Diagrama de bloques HU3 y su explicación:

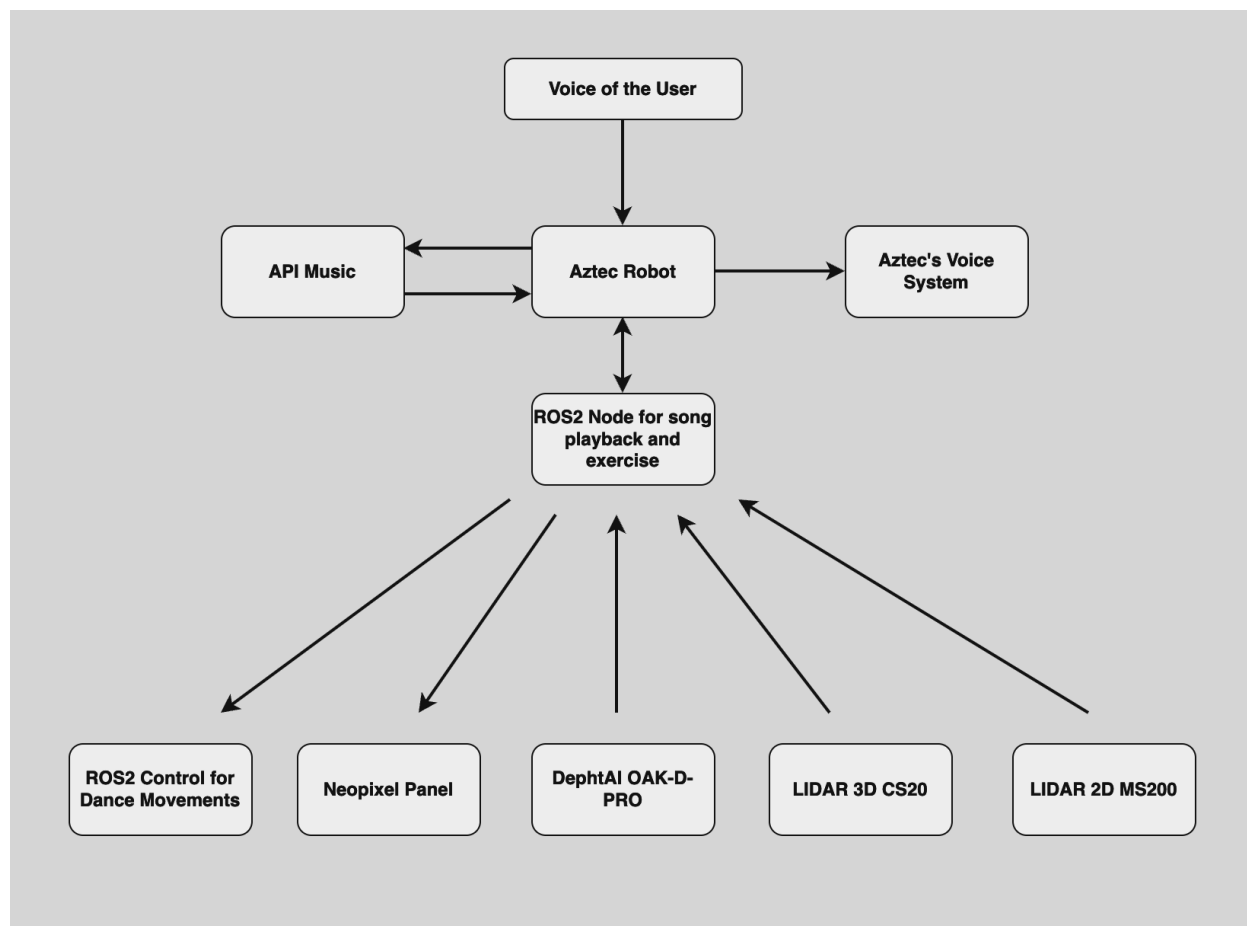


Figura 7: Diagrama de bloques historia de usuario número 3

Aztec llega a un acuerdo con el usuario sobre la música a utilizar para iniciar la actividad física, para lo cual consulta la API de música y da inicio al ejercicio. Durante la actividad, Aztec reproduce el audio seleccionado y visualiza en su matriz de píxeles el ejercicio que se debe realizar. Paralelamente, el modelo de detección de posición corporal, que está precargado en OAK-D-PRO, envía datos a Aztec para verificar si el ejercicio se está llevando a cabo correctamente. Aztec, haciendo uso de la información proporcionada por los LIDAR 2D y 3D, realiza movimientos de baile y examina su entorno para asegurar un movimiento seguro. Finalmente, Aztec ofrece retroalimentación verbal al usuario sobre su rendimiento durante el ejercicio.

d. Diagrama de flujo HU3:

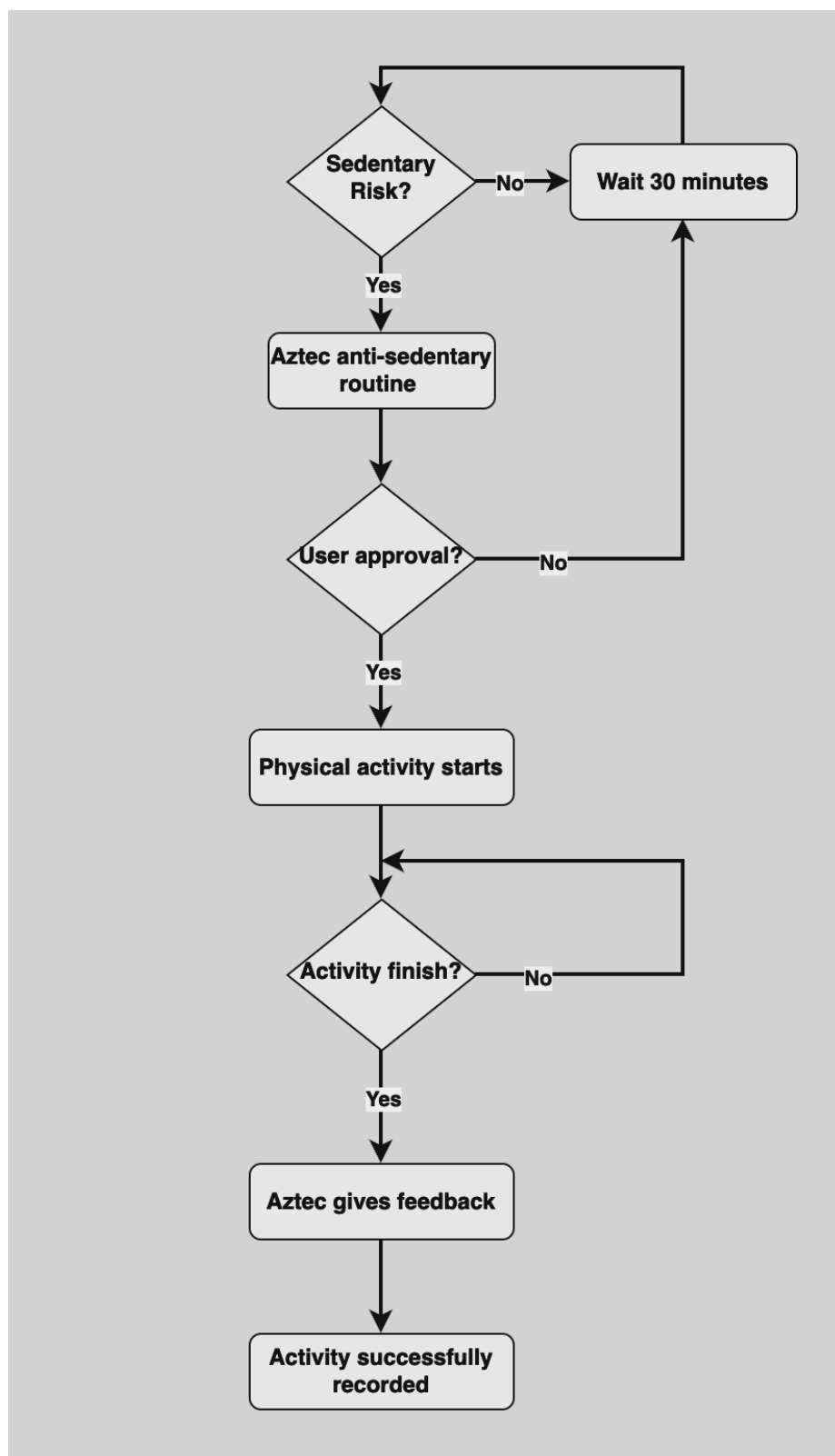


Figura 8: Diagrama de flujo historia de usuario número 3

Aztec verifica si el usuario no ha realizado suficiente actividad física en las últimas horas y, en ese caso, sugiere al usuario bailar. Si el usuario aprueba, la actividad comienza. Durante y al finalizar la actividad, Aztec proporciona retroalimentación al usuario. Finalmente, Aztec registra la actividad para constatar que se ha realizado y cómo se ha llevado a cabo.

Historia de usuario número 4

a. Descripción de la HU4:

“Como profesional en intervenciones para niños con autismo, necesito un robot como Aztec que pueda integrar las estrategias del método TEACCH en su interacción, mantener diálogos comprensibles, recoger datos de las sesiones para personalizar la intervención, y ofrecer estímulos positivos para fomentar el aprendizaje y el desarrollo del niño.”

b. Algoritmos y procesos utilizados para implementar la HU4:

Calendario en SQLite	Creación del calendario en SQLite, se almacenan y gestionan las sesiones de interacción con Aztec, los tiempos de aprendizaje, los descansos y otras actividades. El objetivo es proporcionar una rutina predecible que ayude a reducir la ansiedad y mejore la participación del niño en las actividades.
Librería Adafruit Neopixel	Permite controlar LEDs RGB NeoPixel direccionables individualmente. Proporciona funciones para establecer colores y crear patrones de iluminación.
Interacción verbal de Aztec	Implica el uso de reconocimiento y síntesis de voz para comunicarse, responder a comandos y proporcionar retroalimentación audible a los usuarios. Ver HU 1.

Sensores de Aztec	LIDAR 2D y 3D para la detección de obstáculos y la navegación, OAK-D-PRO para la detección de posición corporal y el reconocimiento de gestos, y sensores de sonido para la interacción verbal. Estos sensores permiten a Aztec responder de manera efectiva a las necesidades del niño y proporcionar una experiencia de usuario enriquecedora.
-------------------	--

c. Diagrama de bloques HU4 y su explicación:

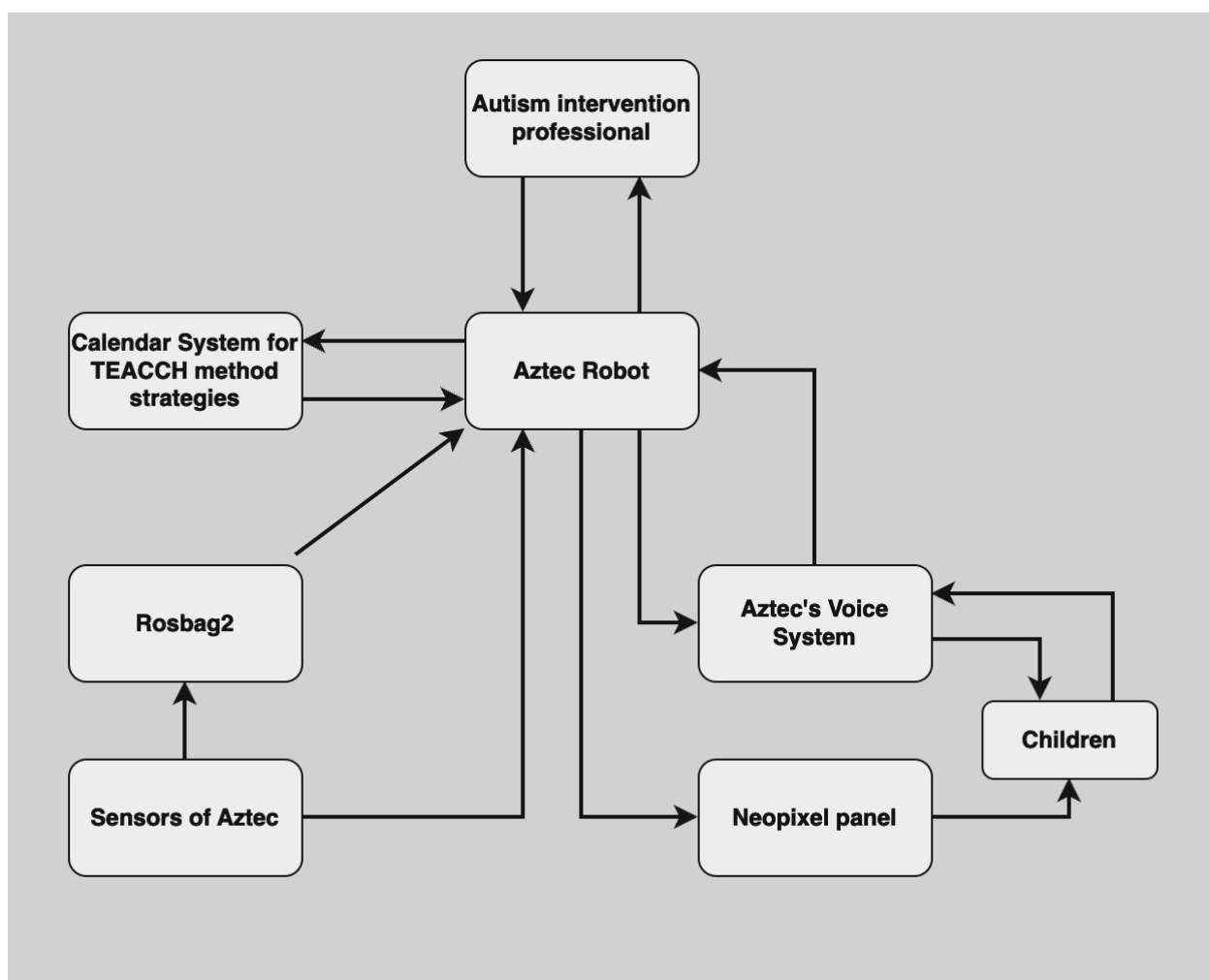



Figura 9: Diagrama de bloques historia de usuario número 4

El profesional revisa las sesiones de terapia anteriores almacenadas en Rosbag2 y también programa nuevos eventos en el calendario para el niño. Aztec, por su



parte, informa al niño sobre los eventos del calendario a través de su voz y el panel de Neopixel.

d. Diagrama de flujo HU4:

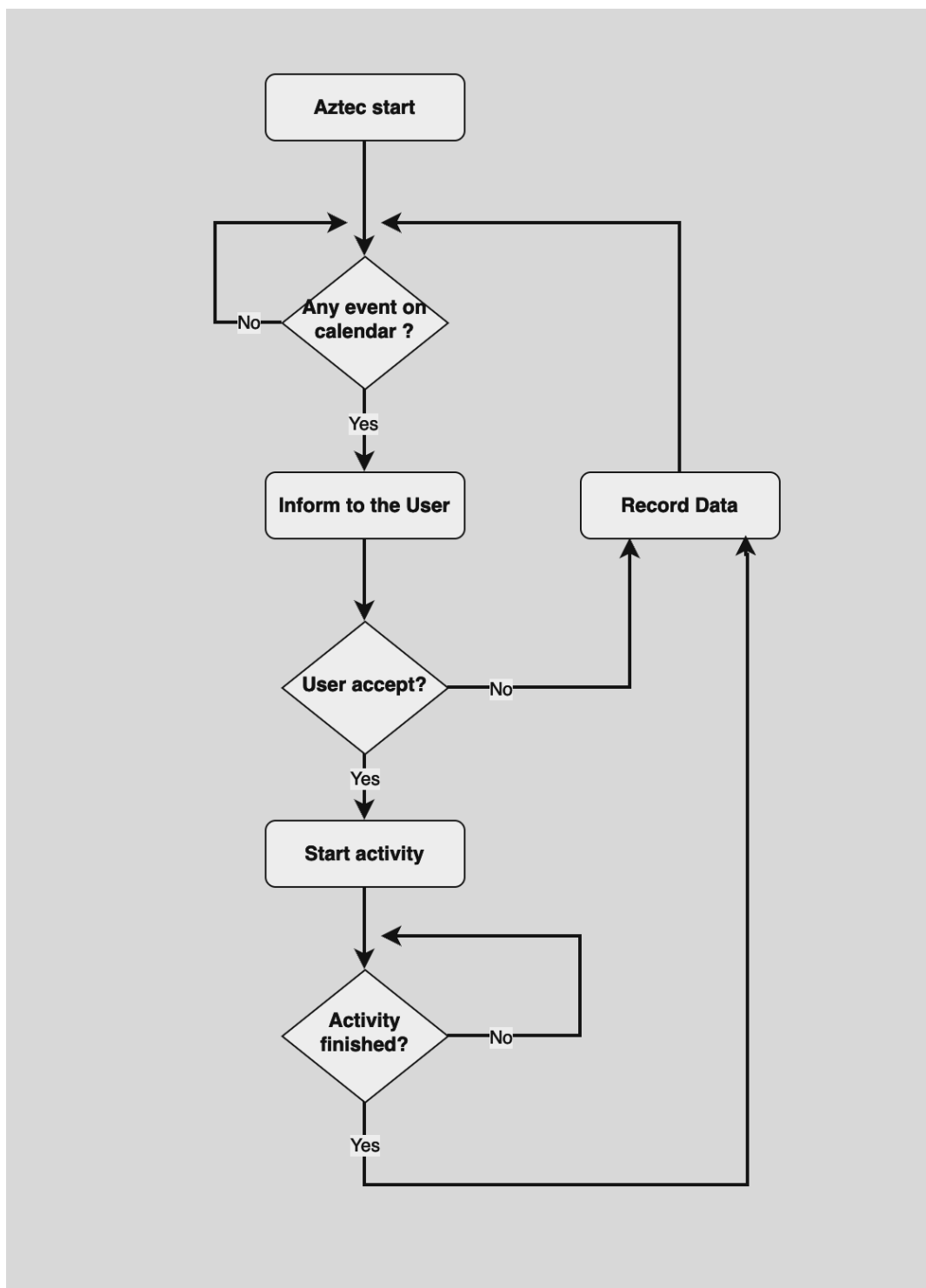


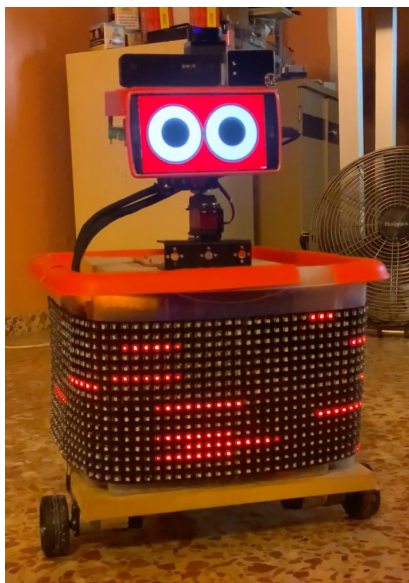
Figura 10: Diagrama de flujo historia de usuario número 4

Aztec primero revisa el calendario para verificar si hay tareas programadas. En caso de haber alguna, Aztec informa al usuario. Si el usuario decide no realizar la tarea, Aztec registra esta decisión y regresa al punto de partida, quedando en espera hasta que llegue el momento de la siguiente tarea. Por otro lado, si el usuario acepta la tarea, Aztec permanece en espera hasta que el usuario finalice, registra la tarea completada y luego vuelve al punto de partida para esperar hasta que sea el momento de la próxima tarea.

4 - Tests

5.1 Historia de usuario número 1

El siguiente enlace muestra los primeros cuatro minutos de 'vida' de Aztec. En él, se puede apreciar una conversación completamente aleatoria que tiene conmigo. Como se puede observar en el video, sus respuestas están alineadas con el contexto que trae por defecto:

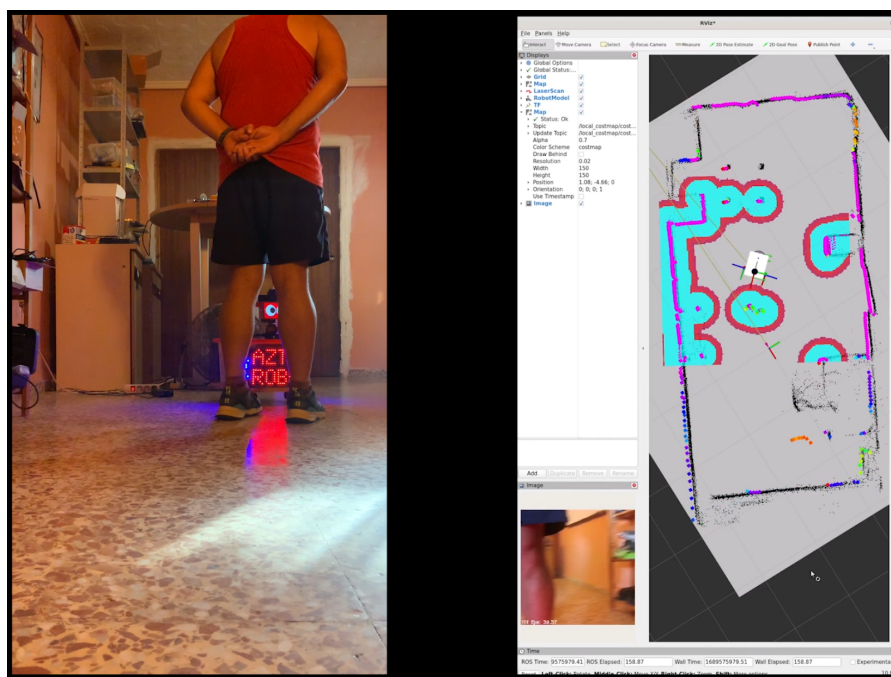


<https://www.youtube.com/watch?v=7z9Z30O-XMM>

▶ AZTEC ROBOT their first 4 minutes of "life" with gpt-3.5-turbo and gpt-4 inside

5.2 Historia de usuario número 2

El enlace que se proporciona a continuación muestra cómo Aztec navega de manera autónoma. Tal como se demuestra en el video, después de ejecutar el script para inicializar a Aztec, nos aparece el programa RVIZ2, donde podemos observar cómo Aztec percibe el mundo real. Posteriormente, le hago desplazarse a varias posiciones en la habitación y realizo una prueba en la que tiene que esquivar un obstáculo que no está en su trayectoria, tarea que resuelve de manera excelente.



https://www.youtube.com/watch?v=5jjdVX_R80I

6 - Relación del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se relaciona directamente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). A continuación, se muestran las relaciones con el ODS 3 (Salud y



Bienestar), el ODS 4 (Educación de Calidad), y el ODS 10 (Reducción de las desigualdades).


6.1 Relación con el ODS 3: Salud y Bienestar

El robot Aztec está directamente alineado con el tercer Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS 3) establecido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU): Salud y Bienestar. Este objetivo se enfoca en promover la salud en todos sus aspectos, incluyendo la física, mental y emocional.

Aztec contribuye a la realización de este objetivo de diversas formas. En primer lugar, al brindar intervenciones y soporte individualizado a niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA), Aztec juega un papel fundamental en la mejora y mantenimiento de su salud mental y emocional. La salud mental es un componente esencial del ODS 3, y los niños con autismo a menudo enfrentan retos considerables en esta área.

A través de un entorno de aprendizaje adaptado y seguro, Aztec ayuda a mejorar el bienestar emocional de los niños, reduciendo los niveles de ansiedad y estrés, y mejorando su autoestima y habilidades sociales. Adicionalmente, Aztec se ajusta a las necesidades individuales de cada niño mediante intervenciones personalizadas basadas en los datos recogidos, asegurando así un cuidado y apoyo efectivos y adecuados.

En segundo lugar, Aztec también promueve la salud física al motivar a los niños a participar en actividades físicas, combatiendo así el sedentarismo. Este es un componente crítico del ODS 3. Para niños con autismo, que a menudo experimentan dificultades con habilidades motoras y coordinación, estas actividades físicas pueden ser particularmente beneficiosas, ya que no solo mejoran estas habilidades sino que también ayudan a reducir el estrés y fomentan la confianza en sí mismos.



En resumen, Aztec apoya al ODS 3 no solo mejorando la salud física de los niños, sino también fortaleciendo su salud mental y emocional, lo que muestra una clara alineación con el objetivo del ODS 3 de asegurar una vida saludable y promover el bienestar.

6.2 Relación con el ODS 4: Educación de Calidad


Aztec, el robot desarrollado en este Trabajo de Fin de Grado (TFG), tiene como propósito esencial potenciar la calidad de las intervenciones educativas para niños diagnosticados con trastorno del espectro autista (TEA). Esta meta se sincroniza de manera directa con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 4 (ODS 4), que defiende la promoción de una educación de alta calidad.

La interconexión entre Aztec y el ODS 4 se ve reforzada a través del uso del método TEACCH en las técnicas pedagógicas específicas implementadas en Aztec. Este método está diseñado para brindar una educación personalizada que se adecua a las necesidades y habilidades particulares de cada niño.

Además, Aztec integra tecnologías avanzadas como el procesamiento de lenguaje natural y el aprendizaje automático. Estos avances permiten a Aztec proporcionar una educación más adaptada a cada individuo y de mayor eficacia. Así, Aztec contribuye al logro de una de las metas fundamentales del ODS 4: "garantizar que todos los jóvenes y una proporción considerable de los adultos, tanto hombres como mujeres, estén alfabetizados y tengan adquiridas las competencias básicas para la vida y el trabajo".

6.3 Relación con el ODS 10: Reducción de las Desigualdades

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) está en consonancia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 10 (ODS 10): Reducción de las desigualdades, que promueve la equidad dentro de las sociedades. Al desarrollar una herramienta de intervención educativa que es tanto accesible como personalizable para los niños



con Trastorno del Espectro Autista (TEA), Aztec está nivelando las oportunidades educativas.


Una intervención temprana y efectiva puede permitir a los niños con TEA mejorar sus habilidades de comunicación y sociales, lo que puede traducirse en una mayor inclusión social y mayores oportunidades a lo largo de su vida. Al hacer que estas intervenciones sean más accesibles y eficientes, Aztec se alinea con la meta del ODS 10 que busca "empoderar y promover la inclusión social, económica y política de todos, sin importar edad, sexo, discapacidad, raza, etnia, origen, religión o estado económico u otro".

Además, Aztec se ha diseñado con un enfoque en la sostenibilidad, aprovechando componentes de segunda mano y plástico reciclado para construir su chasis. Este enfoque no solo respalda la economía circular, sino que también reduce el costo de producción del robot, lo que facilita su adquisición y uso por parte de una amplia gama de instituciones educativas y familias.

En conclusión, este proyecto respalda los ODS al abordar tanto las necesidades educativas específicas de los niños con TEA como el imperativo de reducir las desigualdades y garantizar una educación inclusiva y de calidad para todos.

6 - Feedback de los usuarios

Una madre de un niño con autismo y Trastorno Obsesivo-Compulsivo (TOC) proporcionó su opinión después de ver un video de los primeros cuatro minutos de "vida" de Aztec. Según ella, es crucial reducir el tiempo de latencia en las respuestas verbales de Aztec, ya que un tiempo de respuesta prolongado podría ser molesto para su hijo. En respuesta a este valioso aporte, se decidió que Aztec llevaría a cabo las inferencias en runpod.io usando los núcleos CUDA de una NVIDIA A100.



Sin embargo, anticipo que puede ser difícil alcanzar un tiempo de respuesta inferior a cinco segundos. Aunque siempre existe la posibilidad de estar equivocado, hasta la fecha parece que reducir el tiempo de respuesta más allá de este límite es un desafío insuperable con la tecnología actual.

A pesar de esta limitación, he ideado algunas estrategias para mejorar la experiencia de interacción con Aztec. Por ejemplo, podríamos mostrar varias animaciones en el panel neopixel y en los ojos de Aztec para distraer al usuario durante el tiempo de espera. De esta forma, podríamos disminuir la sensación de espera y hacer que la interacción con Aztec sea más agradable.

7- Conclusiones y Trabajo Futuro

En este Trabajo de Fin de Grado, hemos emprendido un análisis inicial de la eficacia de Aztec, nuestro robot, en terapias con niños con autismo. Aunque existen ciertas limitaciones, principalmente relacionadas con la protección de datos, los resultados iniciales son alentadores.

En relación con el trabajo futuro, será necesario reanudar los ensayos y recopilar más datos para realizar un análisis más profundo de la eficacia de Aztec. También será importante ajustar las funcionalidades de Aztec para que se adapten mejor a las necesidades individuales de cada niño.

En este punto, me gustaría destacar un proyecto open-source de NVIDIA llamado Voyager [34]. Voyager es un agente de aprendizaje continuo en Minecraft impulsado por largos modelos del lenguaje como GPT-4, que explora y aprende de manera autónoma, acumula un conjunto de habilidades complejas y se mejora a sí mismo con base en la retroalimentación del entorno. Interactúa con GPT-4 de manera eficiente y sus habilidades son comprensibles y mejorables, lo que permite un rápido desarrollo y evita el problema de olvido de información previamente aprendida. Aunque su aplicación está limitada a Minecraft, podría ser interesante su implementación en el mundo real.

En resumen, este Trabajo de Fin de Grado ha constituido un primer acercamiento a explorar el potencial de la robótica en las intervenciones para el autismo. Aunque aún queda un largo camino por recorrer, estoy lleno de optimismo y confío en que los esfuerzos futuros puedan continuar construyendo sobre esta base para mejorar la calidad de vida de los niños con autismo.

8- Referencias

- [1] E. Schopler, S. Brehm, M. Kinsbourne, and R. Reichler, "Effect of Treatment Structure on Development in Autistic Children," *Archives of General Psychiatry*, vol. 24, no. 5, pp. 415–421, 1971.
- [2] American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (5th ed.)*. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- [3] Centers for Disease Control and Prevention. (2020). *Autism Spectrum Disorder (ASD)*. CDC, February. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/ncbddd/autism/data.html>.
- [4] E. Schopler, G. Mesibov, and K. Hearsey, "Structured teaching in the TEACCH system," in *Learning and cognition in autism*, Springer, 1995, pp. 243-268.
- [5] S. Ozonoff and K. Cathcart, "Effectiveness of a home program intervention for young children with autism," *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 28, no. 1, pp. 25–32, 1998.
- [6] J. Diehl, L. Schmitt, M. Villano, and C. Crowell, "The clinical use of robots for individuals with autism spectrum disorders: A critical review," *Research in Autism Spectrum Disorders*, vol. 6, no. 1, pp. 249–262, 2012.
- [7] H. Kozima, C. Nakagawa, and Y. Yasuda, "Interactive robots for communication-care: a case-study in autism therapy," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, no. 5, pp. 1050-1056, 2007.
- [8] E. Kim, L. Berkovits, R. Bernier, D. Leyzberg, F. Shic, R. Paul, and B. Scassellati, "Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism," *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 43, no. 5, pp. 1038–1049, 2013.
- [9] Flexible 32x8 NeoPixel RGB LED Matrix. [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/2294> [Accessed: 06, 2023].
- [10] Luxonis, "OAK-D-PRO," [Online]. Available: <https://shop.luxonis.com/products/oak-d-pro?variant=42455252369631> [Accessed: 06, 2023].

- [11] Orbbec Technology Group, "MS200," [Online]. Available: <http://en.oradar.com.cn/index/product/index.html?id=2> [Accessed: 06, 2023].
- [12] LG, "LG G4 5.5-inch Display," [Online]. Available: <https://www.lg.com/ar/celulares/lg-H815AR> [Accessed: 06, 2023].
- [13] Samsung, "INR21700-33] 3270mAh - 6.4A," [Online]. Available: <https://www.nkon.nl/rechargeable/li-ion/21700-20700-size/samsung-inr21700-33j-3270mah-3-2a-z-tag.html> [Accessed: 06, 2023].
- [14] Tof Sensors, "Solid State Lidar CS20," [Online]. Available: https://www.tofsensors.com/products/soild-state-lidar_cs20 [Accessed: 06, 2023].
- [15] TDK, "INMP441," [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/INMP441.pdf> [Accessed: 06, 2023].
- [16] Intel, "Movidius™ Myriad™ X," [Online]. Available: <https://www.intel.es/content/www/es/es/products/details/processors/movidius-vpu/movidius-myriad-x.html> [Accessed: 06, 2023].
- [17] Intel, "Core i7-6700," [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/sku/88196/intel-core-i76700-processor-8m-cache-up-to-4-00-ghz/specifications.html> [Accessed: 06, 2023].
- [18] Corsair, "2 x 8GB Vengeance LPX," [Online]. Available: <https://www.corsair.com/es/es/p/memory/cm16gx4m2b3200c16/vengeance-lpx-16gb-2-x-8gb-ddr4-dram-3200mhz-c16-memory-kit-black-cmk16gx4m2b3200c16> [Accessed: 06, 2023].
- [19] Samsung, "NVME 250GB EVO 970 PLUS," [Online]. Available: <https://www.samsung.com/es/memory-storage/nvme-ssd/970-evo-plus-1tb-mz-v7s1t0bw/> [Accessed: 06, 2023].
- [20] OpenAI, "GPT-4," [Online]. Available: <https://openai.com/gpt-4> [Accessed: 06, 2023].
- [21] DIGITAL SERVO, "DS3218MG," [Online]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1943129663.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.53.68f0194dd1IQIZ&gatewayAdapt=glo2esp [Accessed: 06, 2023].
- [22] Open Source, "LangChain," [Online]. Available: https://python.langchain.com/docs/get_started/introduction.html [Accessed: 06, 2023].
- [23] Open Source, "RVIZ2," [Online]. Available: <https://turtlebot.github.io/turtlebot4-user-manual/software/rviz.html> [Accessed: 06, 2023].

- [24] OpenAI (open-source), "Whisper," [Online]. Available: <https://openai.com/research/whisper> [Accessed: 06, 2023].
- [25] Google (open-source), "Tacotron 2," [Online]. Available: <https://ai.googleblog.com/2017/12/tacotron-2-generating-human-like-speech.html> [Accessed: 06, 2023].
- [26] Open Source, "ROS 2," [Online]. Available: <https://docs.ros.org/en/humble>, <https://control.ros.org/>, <https://navigation.ros.org/> [Accessed: 06, 2023].
- [27] Pololu, "19:1 Metal Gearmotor 37Dx68L mm 12V with 64 CPR Encoder (Helical Pinion)," [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/4751> [Accessed: 06, 2023].
- [28] Open Source, "SLAM Toolbox," [Online]. Available: https://github.com/SteveMacenski/slam_toolbox [Accessed: 06, 2023].
- [29] Open Source, "rosbag2," [Online]. Available: <https://github.com/ros2/rosbag2> [Accessed: 06, 2023].
- [30] WHEELTEC, "Neumático de robot de 65mm," [Online]. Available: <https://item.taobao.com/item.htm?id=675857812223> [Accessed: 06, 2023].
- [31] Wholesale of Lianggu Furniture Caster Wheels, "Rueda Carter transparente de 2 pulgadas," [Online]. Available: <https://item.taobao.com/item.htm?id=671296900632> [Accessed: 06, 2023].
- [32] Star Electronic Technology, "2A lithium battery charging board 12.6V," [Online]. Available: <https://item.taobao.com/item.htm?id=671296900632> [Accessed: 06, 2023].
- [33] Xianyu (Taobao), "JBL Speaker," [Online]. Available: <https://market.m.taobao.com/app/idleFish-F2e/fish-pc/web/detail.html?id=595237376060> [Accessed: 06, 2023].
- [34] NVIDIA (open-source), "Voyager," [Online]. Available: <https://github.com/MineDojo/Voyager> [Accessed: 06, 2023].
- [35] F. Martín, A Concise Introduction to Robot Programming with ROS2, 2022.
- [36] J. Newans, Articulated Robotics. Available: <https://articulatedrobotics.xyz/> [Accedido: 25 de junio de 2023].
- [37] A. Sears-Collins, Automatic Addison. Available: <https://automaticaddison.com/> [Accedido: 25 de junio de 2023].

9- Anexos



Tipos de pruebas que Aztec podría realizar para evaluar su eficacia:

1- Ensayos controlados aleatorios (ECA): Este es un tipo de estudio científico en el que los niños serían asignados aleatoriamente para recibir la intervención con Aztec o continuar con su terapia estándar. Se medirá el progreso en áreas clave (por ejemplo, habilidades sociales, comportamiento adaptativo, etc.) antes y después de la intervención para determinar si hay alguna diferencia.

2- Estudios de caso: Realizar estudios de caso detallados sobre la interacción de niños individuales con Aztec. Esto permitiría observar de cerca las reacciones y respuestas del niño al robot, y documentar cualquier cambio en su comportamiento a lo largo del tiempo.

3- Entrevistas y cuestionarios a padres y terapeutas: Recoger información sobre las experiencias de los padres y terapeutas con Aztec. Se podría preguntar sobre lo que les gusta y lo que no les gusta del robot, y si han notado algún cambio en el comportamiento de su hijo.

4- Pruebas de usabilidad y funcionalidad: Realizar pruebas de usabilidad y funcionalidad para asegurar que Aztec funciona como se espera y es fácil de usar. Esto podría incluir pruebas de las funciones de Aztec (por ejemplo, movimientos, interactividad, etc.) y pruebas de cómo los niños interactúan con estas funciones.

5- Medición de la frecuencia y duración de las interacciones: Recoger datos sobre cuánto tiempo los niños pasan interactuando con Aztec y cómo interactúan con él. Esto podría proporcionar información valiosa sobre cómo los niños con autismo se sienten más cómodos interactuando con el robot.

Código Fuente:

Algoritmo para el control proporcional, integral y derivativo alojado en ESP32 número 1: https://github.com/raul2222/AZTEC_ESP32_PID:

```

void task_loopcontr(void* arg) {
  while(1) {
    if(start_stop == 1){
      Akpi=Kp+(Ki*dt);
      Akp = -Kp;
      A0d = Kd/dt;
      A1d = (-2.0)*(Kd/dt);
      A2d = Kd/dt;
      Kd == 0 ? tau = 0 : tau = Kd/(Kp*N); // IIR filter time constant
      isinf(dt / (2*tau)) ? alpha = 0 : alpha = dt / (2*tau);

      if (ACTIVA_P1C_MED_ANG == 0){
        v_medida = (ang_cnt * 2.0 * PI) / flancos;
        da = v_medida - anterior;
        anterior = v_medida;
        v_medida = da / (BLOQUEO_TAREA_LOOPCONTR_MS / 1000.0); // rad/s
        //v_medida = v_medida / (2.0 * PI); // rps
      } else {
        v_medida = (ang_cnt * 360.0) / flancos; // angle
        no_error_motor_break();
      }

      error_2 = error_1;
      error_1 = error_0;
      error_0 = setpoint - v_medida;
      // PI
      output = output+(Akpi*error_0)+(Akp*error_1);
      // Filtered D
      if(alpha !=0) {
        d1 = d0;
        d0 = (A0d * error_0) + (A1d * error_1) + (A2d * error_2);
        fd1 = fd0;
        fd0 = ((alpha) / (alpha + 1)) * (d0 + d1) - ((alpha - 1) / (alpha + 1)) * fd1;
        output = output + fd0;
      }
      // min voltage value for dc-motor
      if (abs(output) > volt_max and output > 0) output = volt_max ;
      if (abs(output) > volt_max and output < 0) output = -volt_max ;

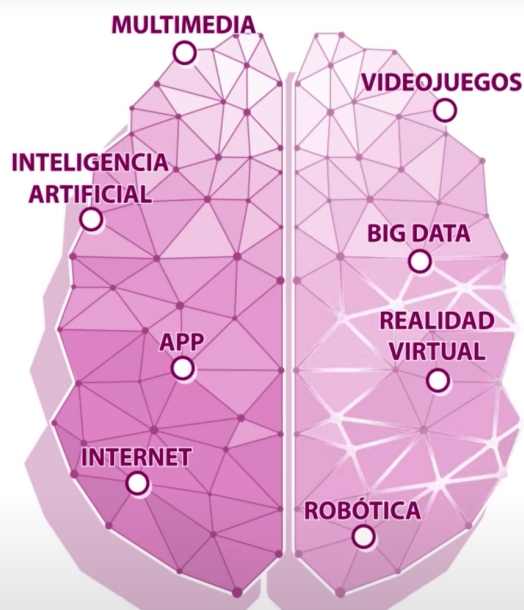
      if (ACTIVA_P1C_MED_ANG == 1) {
        no_error_motor_break();
      } else {
        if(setpoint == 0){
          output = 0; // output = 0 is brake
        } else {
          if (abs(output) < volt_min and setpoint > 0) output = volt_min ;
          if (abs(output) < volt_min and setpoint < 0) output = -volt_min ;
        }
      }
      excita_motor(output);
      // delay 0.01s
      vTaskDelay(BLOQUEO_TAREA_LOOPCONTR_MS / portTICK_PERIOD_MS);
    }
  }
}

```

El siguiente script bash es un componente clave para su funcionamiento, ya que inicia y gestiona todas las capacidades autónomas de Aztec.

Puedes encontrar todo lo que necesitas para entender completamente cómo funciona Aztec en este enlace: https://github.com/raul2222/aztec_ws

```
#!/bin/bash
cd /home/raul/aztec_ws/
# Ejecutar el primer archivo de launch en una nueva ventana de terminal
gnome-terminal -- bash -c "ros2 launch aztec_robot launch_robot.launch.py; exec bash"
# Esperar un poco para que el primer nodo comience a funcionar
sleep 3
# Ejecutar el segundo archivo de launch en una nueva ventana de terminal
gnome-terminal -- bash -c "ros2 launch oradar_lidar ms200_scan.launch.py; exec bash"
sleep 3
gnome-terminal -- bash -c "ros2 launch aztec_robot localization_launch.py
map:=/home/raul/aztec_ws/save.yaml use_sim_time:=false; exec bash"
sleep 3
gnome-terminal -- bash -c "rviz2; exec bash"
# Establecer la posición del robot desde RVIZ2
sleep 16
gnome-terminal -- bash -c "ros2 launch aztec_robot navigation_launch.py
use_sim_time:=false map_subscribe_transient_local:=true; exec bash"
sleep 1
gnome-terminal -- bash -c "ros2 run aztec_robot minodo; exec bash"
```



Anticípate al futuro
Nuevo Grado en Tecnologías Interactivas



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA