

Prototype of an intelligent Hexapod early warning robot-type agent to prevent landfill fires

Rances J. Tello O.¹, Emely G. Mendieta C.², Luiyiana Pérez.³

^{1,2,3}Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Los Santos, rances.tello@utp.ac.pa, emely.mendieta@utp.ac.pa, luiyiana.perez@utp.ac.pa

Abstract-- *The objective of this project is to design a prototype of a Hexapod Robot as an intelligent agent, capable of operating in an environment and sending alerts based on indicators collected through IoT to prevent landfill fires. The robot stands out for using low-cost technology without sacrificing functionality or efficiency. It is equipped with a series of advanced sensors that gather essential environmental data, including temperature, humidity, air quality, and atmospheric pressure. This is a descriptive and applied research project, starting with data and indicator collection analysis and culminating in technological development. The methodology consisted of five stages: analysis, robot design, assembly and configuration of robot components, algorithm coding for its operation, and field validation. The results include a versatile hexapod robot that is adaptable to landfill-like environments with the help of a support arm on top, its system collects data and transmits it periodically through dual serial communication (DCS). The data is sent through the Things Board APIs for real-time remote visualization and CallMeBot for WhatsApp alerts. Additionally, the robot uses Google connection to a script macro for the database in Excel in the cloud, also having a four-layer dense neural network with sixteen neurons that are trained from the database to give predictions of the values in an interval of one hour*

Keywords: *mart agent, internet of things, landfill fire, robotics, warning system*

Prototipo de un agente inteligente de tipo robot Hexápodo de alerta temprana para prevenir incendios en vertederos

Rances J. Tello O.¹, Emely G. Mendieta C.², Luiyiana Pérez.³

^{1,2,3}Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Los Santos, rances.tello@utp.ac.pa, emely.mendieta@utp.ac.pa, luiyiana.perez@utp.ac.pa

Resumen - El propósito de este proyecto es diseñar un prototipo de Robot Hexápodo como agente inteligente, capaz de operar en un entorno y enviar alertas basadas en indicadores recopilados mediante IoT, con el fin de prevenir incendios en vertederos. El robot se destaca por emplear tecnología de bajo costo sin comprometer funcionalidad ni eficiencia. Está equipado con una serie de sensores avanzados que recogen datos esenciales del entorno, como temperatura, humedad, calidad del aire y presión atmosférica. Este proyecto es de investigación descriptiva y aplicada, comenzando con un análisis de recolección de datos e indicadores y culminando en un desarrollo tecnológico. La metodología se desarrolló en cinco etapas: análisis, diseño del robot, ensamblaje y configuración de componentes, codificación del algoritmo para su funcionamiento y la validación del robot en campo. Los resultados incluyen un robot hexápodo versátil y adaptable a entornos similares a los vertederos con ayuda de un brazo de soporte en la parte superior, su sistema recolecta datos y los transmite periódicamente a través de una comunicación serial doble (DCS). Los datos son enviados mediante las APIs de Things Board para su visualización remota en tiempo real y CallMeBot para alertas de WhatsApp. Además, el robot utiliza la conexión a Google a una macro de script para la base de datos en un Excel en la nube, también contando con una red neuronal de cuatro capas densas con dieciséis neuronas que se entrenan de la base de datos para dar predicciones de los valores en un intervalo de una hora. **Palabras clave** agente inteligente, internet de las cosas, incendio en vertedero, robótica, sistema de alerta

Palabras clave agente inteligente, internet de las cosas, incendio en vertedero, robótica, sistema de alerta

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido un aumento en la frecuencia de catástrofes relacionadas con incendios, tanto en áreas forestales como en vertederos, representando una amenaza significativa para la salud pública y el medio ambiente debido a la emisión de contaminantes tóxicos y gases de efecto invernadero generados por la combustión de diversos materiales químicos.

En Panamá, los incendios en vertederos se han convertido en un problema ambiental que también afecta la salud de los ciudadanos. Según datos de la prensa, en marzo de 2024, el vertedero de Cerro Patacón generó una nube de humo tóxico

que se extendió sobre Ciudad de Panamá. Este relleno sanitario, que abarca más de 130 hectáreas, recibe aproximadamente el 40% de los desechos del país.

La provincia de Herrera, ubicada en Panamá, enfrenta una situación similar, con el vertedero de Chitré presentando constantes incendios, junto con la contaminación y deforestación de los manglares, la acumulación de llantas y la falta de tratamiento adecuado de los desechos.

Investigaciones recientes han subrayado la importancia de las alertas tempranas para mitigar los impactos de los incendios [1], permitiendo una respuesta rápida y efectiva ante estos eventos. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de alerta temprana existentes están diseñados para entornos específicos, como áreas urbanas o forestales, y no abordan las necesidades particulares de los vertederos.

A lo largo del tiempo, los sistemas de alerta temprana (SAT) han evolucionado para adaptarse a las demandas cambiantes de la sociedad, convirtiéndose en una herramienta clave para mitigar problemas que afectan al ecosistema. Los SAT son dispositivos complejos que permiten anticipar eventos naturales o humanos que, al interactuar con la vulnerabilidad del entorno, pueden generar desastres [2]. Por otro lado, un agente inteligente es una entidad autónoma que, mediante sensores conectados a Internet (IoT), observa su entorno, actúa sobre él utilizando actuadores, y orienta sus acciones hacia el logro de objetivos [3].

Analizando estos dos componentes y el problema que provocan los incendios en el medio ambiente, surge la necesidad de desarrollar un agente inteligente para la alerta temprana de incendios en vertederos, denominado Mimic. Este agente aprovechará la inteligencia artificial y los datos ambientales en tiempo real para detectar la aparición de incendios de manera precisa y oportuna, lo que permitirá una respuesta rápida y una mitigación efectiva de sus impactos. Mimic no solo busca mitigar riesgos, sino también desarrollar estrategias efectivas para la gestión, prevención y mitigación de incendios, utilizando habilidades de destreza, interacción y manipulación de datos.

En países como Chile, Australia y Brasil, los incendios forestales son un gran problema, lo que ha impulsado proyectos como Prometheus, una solución de detección temprana de incendios forestales que combina inteligencia artificial, visión por computadora, drones auto pilotados y servicios climáticos para

detectar incendios antes de que se salgan de control [4]. También existe el proyecto de vehículos aéreos no tripulados, donde un dron es capaz de realizar tareas de vigilancia y monitoreo de incendios forestales de manera autónoma, gracias a los sensores y dispositivos que lleva a bordo [5].

A diferencia de estos proyectos, Mimic es un innovador robot hexápodo diseñado para la monitorización ambiental y la prevención de incendios en áreas boscosas. Su principal diferencia radica en el enfoque en el uso de tecnología de bajo costo, sin sacrificar funcionalidad ni eficiencia. Equipado con una serie de sensores avanzados, Mimic es capaz de recoger datos cruciales del entorno, como temperatura, humedad, calidad del aire y presión atmosférica.

El corazón de Mimic es un sistema de alerta temprana impulsado por inteligencia artificial. Este sistema permite al robot analizar los datos en tiempo real, detectar anomalías y amenazas ambientales como incendios, y enviar alertas inmediatas a los operadores. Las alertas se transmiten mediante un bot de WhatsApp, proporcionando información detallada sobre la ubicación y naturaleza del problema logrando acceder a una cámara incorporada.

Este proyecto se articula con cinco Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). ODS 3: Salud y bienestar. Los incendios liberan contaminantes tóxicos que afectan la salud, provocando problemas respiratorios y cardiovasculares. Mimic permite minimizar la exposición a estos riesgos, protegiendo la salud y el bienestar de las comunidades cercanas a los vertederos. ODS 9: Industria, innovación e infraestructura. Este proyecto promueve la innovación tecnológica para abordar desafíos ambientales urgentes, mejorando la gestión de riesgos y fomentando infraestructuras resilientes y sostenibles. ODS 13: Acción por el clima. Al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con los incendios en vertederos, Mimic contribuye a la acción climática y a la protección del medio ambiente. ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres. Los incendios dañan la biodiversidad y los hábitats naturales. Mimic facilita la gestión efectiva de los incendios, ayudando a conservar los ecosistemas terrestres. ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos. Este proyecto fomenta alianzas multidisciplinarias que integran conocimientos científicos, tecnológicos y ambientales, esenciales para enfrentar el desafío de los incendios en vertederos y garantizar un desarrollo sostenible.

II. DISEÑO Y METODOLOGÍA

La investigación realizada es de carácter descriptivo y aplicado. Es descriptiva porque se comenzó con una revisión bibliográfica y entrevistas con los colaboradores de la Alcaldía de Chitré para obtener información sobre los vertederos durante la fase inicial. Además, estos mismos colaboradores acompañaron las pruebas de campo en el vertedero de Chitré. Es aplicada porque, utilizando los conocimientos de inteligencia artificial, se desarrolló un prototipo de un agente inteligente, un robot hexápodo denominado Mimic.

Se plantea la hipótesis de que el agente inteligente Mimic, al integrar IoT y un algoritmo API, interactúa con el entorno y envía datos a un sistema de alerta temprana para prevenir incendios en los vertederos.

Las variables independientes en esta investigación son los dispositivos IoT y las APIs de inteligencia artificial, mientras que la variable dependiente es el Sistema de Alerta Temprana.

Desde un punto de vista operativo, los dispositivos IoT están integrados al robot hexápodo Mimic y configurados mediante la placa Arduino. Las APIs se evalúan en función de la comunicación entre los dispositivos IoT y la placa Arduino, así como los resultados obtenidos.

El sistema de alerta se evalúa a partir del análisis de los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas en el vertedero de Chitré.

A. Materiales y/o Herramientas

Las herramientas utilizadas en este proyecto se dividen en hardware y software. A continuación, se describe el equipo empleado:

Los hardware utilizados están:

1) *Microcontrolador Arduino Uno*: es el encargado de gestionar la programación y el funcionamiento del sistema de sensores.

2) *Microcontrolador T-Beam AXP2101 v1.2*: se encarga de transmitir los datos a la API de alerta "CallMeBot" y la base de datos a través de "script.google".

3) *Microcontrolador Raspberry pi 4 modelo B*: este dispositivo se encarga del funcionamiento autónomo y adaptabilidad al terreno mediante su sensor de giroscopio además de la conexión al punto de acceso (AP) para la conexión a la raspicam.

4) *Sensor DHT11*: Mide la temperatura y la humedad del entorno.

5) *Sensor MQ135*: Detecta gases peligrosos y evalúa la calidad del aire, como NH₃, NO_x, alcohol, benceno, humo y CO₂.

6) *Sensor BMP280*: Proporciona datos sobre la presión atmosférica alrededor de "Mimic".

7) *Sensor GPS Neo 6M*: Proporciona la geolocalización del agente inteligente.

8) *Sensor HC-04*: Un sensor ultrasónico que actúa como radar para alertar al prototipo sobre objetos en su camino.

9) *Sensor MPU6050*: El giroscopio ofrece los tres ángulos de rotación en tres dimensiones: cabeceo, alabeo y guiñada, fundamentales para mantener la estabilidad y adaptación al terreno en la movilidad de "Mimic".

10) *Controlador Spider shield*: Controla todos los servomotores conectados a las articulaciones del proyecto.

11) Servomotores MG996: Permiten la movilidad del robot mediante las articulaciones formadas entre ellos.

Debido a la alta demanda energética de un robot hexápodo, se requiere un controlador.

12) *PowerBank*: Proporciona la energía externa para la alimentación de los microcontroladores.

13) *Raspicam*: Modulo de cámara para la visión del prototipo y del operador del robot.

14) *Cables Jumper*: Se utilizan para realizar las conexiones físicas entre los componentes mencionados.

A continuación, se listan los softwares utilizados

1) *Arduino*: Software open-source utilizado para la programación en C++ de los componentes.

2) *CallMeBot*: API gratuita utilizada para alertar al operador o cliente del prototipo a través de un bot de WhatsApp proporcionado por la API.

3) *Google drive*: Se usa la creación de aplicaciones en el Excel de la nube enlazada a una cuenta oficial para el almacenamiento de datos.

4) *Thingsboard*: Plataforma web empleada, mediante su API, para visualizar de manera remota y gráfica los valores de los sensores.

5) *Blender*: Software utilizado para modelar las piezas del robot.

6) *Función O.T.A (On The Air)*: Permite actualizar el software de "Mimic" de manera inalámbrica, sin necesidad de contacto físico con el prototipo. Facilita el mantenimiento y la modificación de configuraciones de alertas, base de datos y otras funciones de conexión. Su rango de conexión es de aproximadamente 50 m a 200 m, dependiendo de las antenas.

B. Procedimiento

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en cinco etapas principales:

Etapas I: Recolección y análisis de datos: en esta fase se realizaron revisiones bibliográficas y entrevistas con los colaboradores de la Alcaldía de Chitré encargados del vertedero, con el fin de obtener información relevante. La información recopilada fue clasificada y se identificaron los indicadores clave para analizar los requisitos de hardware y software necesarios para el prototipo.

Etapas II: Diseño del Robot Hexápodo: en esta etapa se diseñaron dos prototipos es decir dos versiones, la primera fue construido en Blender e impreso en impresoras 3D, pero su diseño presento dificultades en estabilidad y estética al integrar todos sus componentes, por lo que se procedió a mejorar su diseño teniendo una versión mejorada construida con materiales plásticos de mayor resistencia. El diseño se centró en optimizar la movilidad y la estabilidad del robot, asegurando que todas las piezas fueran compatibles y funcionales para la etapa de ensamblaje el cual, se observa en la fig 6.

Etapas III: Armado y Configuración del Robot: en esta fase, se ensamblaron las piezas y se conectaron los componentes electrónicos, incluidos los sensores y la placa Arduino UNO. El robot "Mimic" se configuró para la recolección de datos y su transmisión a través de diferentes protocolos y microcontroladores. Las conexiones y configuraciones realizadas incluyen:

1) *Arduino UNO*: Gestiona los sensores conectados para enviar datos periódicamente y responder a consultas mediante comunicación serial.

2) *T-beam-axp2101-v1.2*: Se encarga de la conexión a internet y la transmisión de datos a las APIs de ThingsBoard,

para la visualización remota de datos en tiempo real, y CallMeBot, para alertas a través de WhatsApp. Recibe los datos del Arduino UNO y los envía a una base de datos cada 40 segundos, mientras que los datos telemétricos se envían cada 10 segundos.

3) *Raspberry pi 4 modelo B*: Maneja el sistema autónomo de movilidad, siendo la encargada de conectarse al punto de acceso para la conexión a la raspicam y el uso de la red neuronal interna para la predicción de valores.

Etapas IV. Codificación: en esta fase se desarrolló el algoritmo en lenguaje C++ para el funcionamiento del prototipo, implementado principalmente en tres microcontroladores: Arduino UNO, T-beam-axp2101-v1.2 y Raspberry Pi 4 Model B.

En el Arduino UNO, los datos recopilados por los sensores se envían periódicamente mediante comunicación serial doble (DCS), permitiendo el envío y recepción eficiente de mensajes. Cada 5 segundos, los datos se envían al T-beam para su transmisión posterior.

El T-beam-axp2101-v1.2 se conecta a una red WiFi y verifica su estado de forma continua para garantizar una transmisión de datos confiable. Este microcontrolador utiliza diversas APIs para distintas funciones:

1) *API de ThingsBoard*: Permite enviar datos telemétricos de temperatura y humedad cada 10 segundos, permitiendo la visualización en tiempo real en una plataforma web para un monitoreo constante del entorno del robot.

2) *API de Google Drive*: Los datos también se envían a una base de datos web en un cuaderno de Excel en la nube conectada a Google Drive en un intervalo de 40 segundos mediante solicitudes HTTP, garantizando la disponibilidad de datos históricos para su análisis y toma de decisiones.

3) *API de CallMeBot*: Se usa para enviar alertas a WhatsApp si los valores de temperatura, humedad o calidad del aire superan los umbrales predefinidos, lo que permite una respuesta rápida ante condiciones anómalas detectadas por los sensores del robot.

4) *La Raspberry Pi 4 Model B*: se encarga de la movilidad por medio de la lectura de su sensor de giroscopio. Después procede a conectarse a la red del punto de acceso para que el operador pueda acceder a la raspicam el dispositivo gestiona los datos tabulados por medio de la red neuronal para la predicción de tendencias que se envían al usuario.

Etapas V: Validación: durante esta fase se verificó la funcionalidad de cada sensor, comprobando que los valores obtenidos estuvieran dentro de los rangos establecidos. Además, se validó que el robot pudiera moverse correctamente sobre diferentes tipos de terreno.

El prototipo tuvo un costo total de \$391.00, ya que se utilizaron tres microcontroladores que habían sido adquiridos previamente a precios elevados, comparado con los costos actuales.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos dependen de los entregables de cada etapa del proceso.

A. Integración de la API

Actualmente, no se ha encontrado en el mercado un robot hexápodo con las características específicas diseñadas para este proyecto. En la fig 1 se muestra como están integradas las API

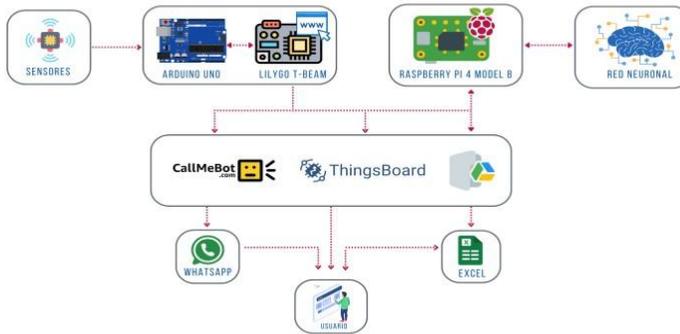


Fig1. Integración de las API. Fuente propia

En la fase de recolección y análisis de datos, se establecieron los rangos de los indicadores de cada sensor para el sistema de alerta temprana, con los siguientes valores obtenidos:

1) *Temperatura*: El umbral de temperatura se definió en un 25% dentro de un rango de 0 a 100°C, basándose en los valores proporcionados por el sensor. Estos valores fueron determinados después de realizar un sondeo de las temperaturas promedio, considerando la estación lluviosa actual que afecta la disminución de la temperatura habitual. El rango de medición del sensor es de 0°C a 50°C, con una precisión estimada de $\pm 2^\circ\text{C}$.

2) *Humedad*: El valor límite para enviar una alerta se definió en un 75% dentro de un rango de humedad relativa de 20% a 90%, con una precisión de $\pm 5\%$. La alta cantidad de humedad debido a las lluvias obligó a adaptar el proyecto a las condiciones climatológicas de la región. Esto demuestra la versatilidad y adaptabilidad de "Mimic" frente a cualquier tipo de entorno, asegurando su funcionalidad en diversas circunstancias.

3) *Presión atmosférica*: El valor actual de la presión atmosférica es de 1020 hPa, ya que el ambiente donde opera el robot contiene diversos gases, como metano (CH₄), sulfuro de hidrógeno (H₂S) y amoníaco (NH₃). Con una precisión de ± 1 hPa, en un rango de entre 30 kPa a 110 kPa (hectopascuales), se pueden observar variaciones en los valores, lo que sugiere que el aire en el que se encuentra "Mimic" podría representar un riesgo para la salud humana.

4) *Calidad del aire*: La condición de alerta para este sensor se establece cuando los valores superan 130. Este sensor es capaz de detectar gases como benceno (C₆H₆), alcohol y otros compuestos que se encuentran comúnmente en vertederos o áreas forestales. Dado que la sensibilidad del sensor es alta, se detectaron variaciones en los valores durante un sondeo previo, lo que permitió calibrar el valor límite promedio para considerar los niveles de contaminación.

Estos valores y umbrales fueron definidos para garantizar la eficacia del sistema de alerta temprana en situaciones reales.

B. Predicción:

La red neuronal implementada en Mimic realiza predicciones en intervalos de una hora. Su arquitectura está compuesta por cuatro capas densas con 16 neuronas cada una, desarrolladas con la biblioteca TensorFlow-Keras y optimizadas mediante el algoritmo Adam. Para el entrenamiento, se emplean datos tabulares provenientes de la base de datos de recolección de Mimic, previamente procesados y depurados.

Inicialmente, se entrena un primer modelo antes de aplicar la metodología *Stacking Regressor*, la cual permite mejorar la precisión en la predicción de variables ambientales como la humedad, la temperatura y la contaminación del aire mediante el entrenamiento de modelos apilados y la evaluación de su desempeño donde estos mismo son enviados al dashboard en Thingboard.

Los resultados obtenidos reflejan la precisión del modelo en cada variable medida:

- Temperatura: MAE = 2.0054, R² = 0.8158
- Humedad: MAE = 8.1956, R² = 0.5877
- Contaminación del aire: MAE = 1.0270, R² = 0.7527

Estos valores indican un buen desempeño en la predicción de la temperatura y la contaminación del aire.

Las piezas del diseño del robot modelado en Blender, para la primera versión, fueron enviadas al FabLaB para su impresión, ver la fig 2.

C. Análisis técnico del rendimiento y umbrales definidos.

Los umbrales definidos para cada sensor fueron establecidos tras un análisis contextual del entorno en el que operará el robot, considerando factores climáticos locales y valores promedio históricos. Estos umbrales no solo sirven como parámetros para el sistema de alerta temprana, sino que también alimentan al modelo predictivo para generar inferencias más ajustadas a la realidad.

En cuanto al rendimiento de la red neuronal implementada, los resultados obtenidos en la predicción de variables ambientales demuestran un desempeño aceptable en condiciones reales. Los indicadores estadísticos del modelo muestran un error absoluto medio (MAE) de 2.0054 para temperatura, 8.1956 para humedad, y 1.0270 para la contaminación del aire, lo cual indica una alta precisión en las predicciones de temperatura y calidad del aire. El coeficiente de determinación R² confirma esta observación, con valores de 0.8158 y 0.7527 respectivamente, lo que sugiere que el modelo explica adecuadamente la varianza de los datos observados.

Al observar la gráfica de promedio de contaminación por áreas, se constata que el modelo fue capaz de detectar diferencias significativas entre las zonas, mostrando valores más altos en

áreas A y B (superiores a 7), en contraste con los niveles bajos registrados en el área C (~4). Estas variaciones están directamente relacionadas con las condiciones ambientales y la presencia de compuestos detectados por el sensor de calidad del aire, el cual cuenta con alta sensibilidad a gases como benceno, alcohol y amoniaco.

La correcta calibración de los umbrales permitió establecer alertas únicamente en situaciones justificadas, evitando falsos positivos. Además, la integración del modelo con una metodología de *Stacking Regressor* permitió aumentar la robustez del sistema, combinando diferentes predictores para mejorar la precisión general. Esta arquitectura resulta especialmente útil en escenarios donde las variables presentan correlaciones no lineales o ruido ambiental

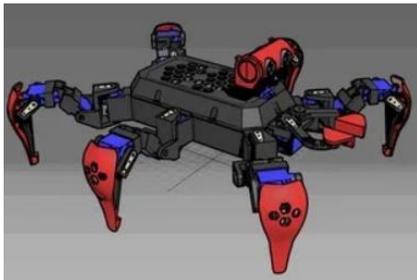


Fig 2. Modelado del Robot en Blender. Fuente propia

En la fig 3 se muestra las piezas del robot hexápodo, impresas en 3D, de la primera versión.



Fig 3. Piezas del robot hexápodo (v1). Fuente propia

Luego se procedió a armar las piezas, instalar los sensores y placas con sus respectivas configuraciones, del primer prototipo, como se muestra en la fig 4.

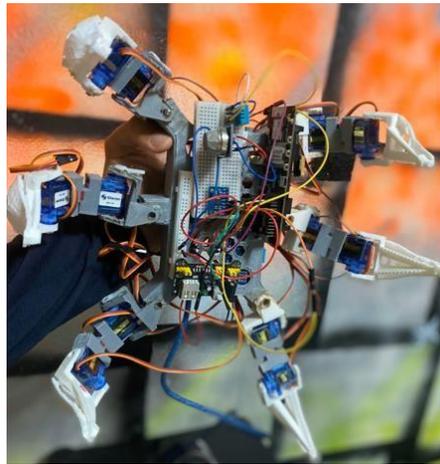


Fig 4. Robot hexápodo armado (v1) con los sensores. Fuente propia

Una vez configurado se procedió a realizar la codificación del algoritmo para la movilidad del robot, para darle la estabilidad y que funcione en terreno no planos se mantiene en movimiento dos de sus extremidades que le ayuda a equilibrar su movilidad. En la fig 5 se muestra la primera versión del robot parado listo para andar.

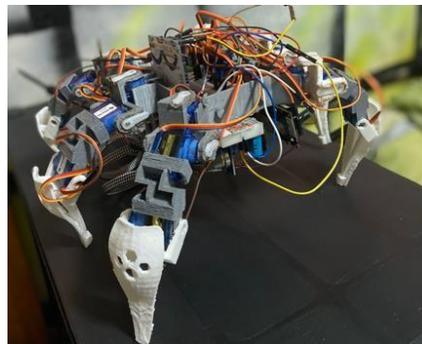


Fig 5. Robot hexápodo listo para realizar su recorrido. Fuente propia

En la fig 6, se evidencia la segunda versión del robot hexápodo culminado y realizando pruebas de su funcionamiento en el exterior



Fig 6. Robot hexápodo (v2) terminado. Fuente propia

La información que envía los sensores es almacenada en una base de datos en MySQL ver la figu 7, cuya información es mostrada en una página Web, como se muestra en la fig 8.

	Id	Temperatura	Humedad	c_a	presion	angx	angy	fecha_actual
Editar Copiar Borrar	139	28	92	4	1011	-7.75	2.60	2024-06-15 22:05:08
Editar Copiar Borrar	138	27	92	4	1015	-8.46	2.66	2024-06-15 22:04:26
Editar Copiar Borrar	137	28	92	4	1011	-8.39	2.26	2024-06-15 22:03:44
Editar Copiar Borrar	136	28	91	3	1015	-7.36	1.78	2024-06-15 22:00:15
Editar Copiar Borrar	135	27	92	3	1012	-7.63	1.64	2024-06-15 21:58:23

Fig 7. Parte de la base de datos en donde es almacenado la información que envía los sensores. Fuente propia.



Fig 8. Página web en donde se muestran los datos enviados por cada sensor. Fuente propia.

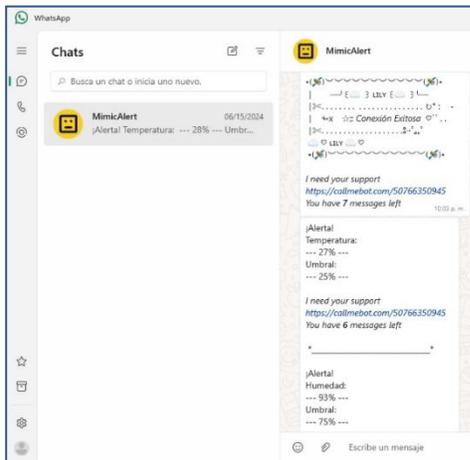


Fig 9. Sistema de Alerta temprana por WhatsApp. Fuente propia.

En la fig 9 se muestra el WhatsApp en donde se envió la alerta de los indicadores de acuerdo con los rangos establecido. En la fig 10 se observa las áreas en las que se recogieron los datos en el vertedero de Chitré.

A continuación, se muestran las gráficas de datos, logrando una comparación entre las cuatro áreas estudiadas. En la fig 11 la gráfica del promedio de la contaminación del aire y en la fig 12 la gráfica del promedio de la temperatura. En la fig 13 se muestra un gráfico con las predicciones.



Fig 10. Foto aérea del vertedero de Chitré. Fuente municipio de Chitré



Fig 11. Comparación gráfica del promedio de la contaminación del aire. Fuente propia

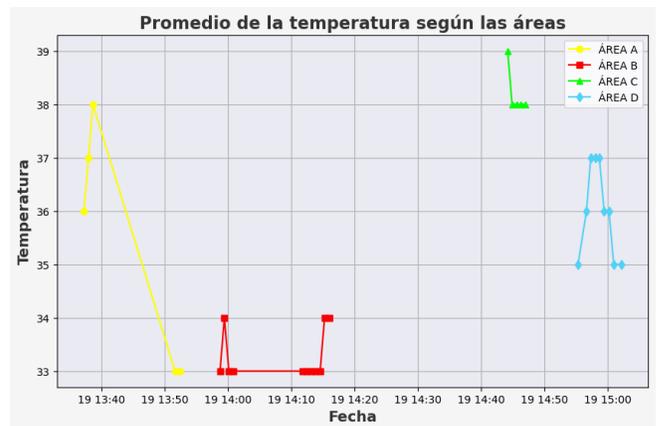


Fig 12. Comparación gráfica del promedio de la temperatura. Fuente propia

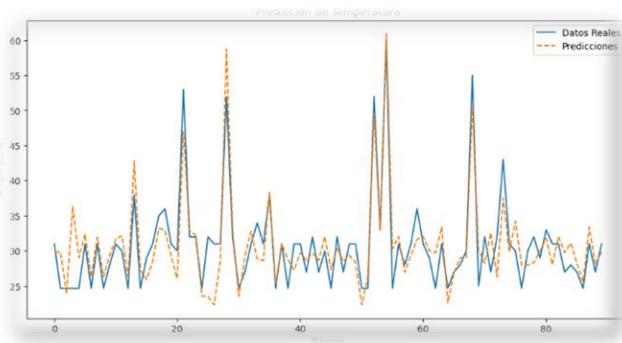


Fig 13. Comparación gráfica de la predicción con los datos de entrenamiento y de pruebas de la temperatura. Fuente propia

IV. DISCUSIONES

Con los últimos avances tecnología en Panamá no logra abarcar un sin fin de áreas donde la implementación de estas facilidades pudieran ayudar a mejorar no solo la calidad de vida, sino también las de los ecosistemas, como es el caso de los vertederos o zonas verdes como los bosques, donde existen tecnologías a propiedad para esos ámbitos, sin embargo el precio de adquisición es exorbitante, ¿Porque ir a comprar prototipos en el extranjero, si se puede motivar la creatividad en los jóvenes para crear soluciones eficaces y de bajo costo?

V. CONCLUSIONES

El agente inteligente tiene como objetivo principal el sistema de alerta temprana para incendios en vertederos, pero va más allá, ya que es capaz de proporcionar información visualmente a través de los datos que registra mientras se desplaza por el terreno. Estos datos también pueden ser visualizados de manera remota y en cualquier momento, lo que garantiza seguridad respecto al estado de la zona en la que se encuentra el agente inteligente.

Mimic no se limita a ser un robot hexápodo, sino que su diseño y estructura pueden adaptarse según las necesidades del terreno, ofreciendo un rendimiento óptimo. Incluso en el software, es posible incorporar más sensores que permitan un registro más completo y eficiente de los datos requeridos.

Hoy en día, las tareas repetitivas y pesadas se están delegando a robots automatizados, lo que permite obtener resultados más rápidamente. De este modo, el monitoreo constante de grandes áreas verdes se hace mucho más sencillo con un robot autónomo. Mimic tiene un impacto positivo en la sostenibilidad, ya que contribuye a la conservación del medio ambiente y a la protección de la salud humana al reducir los daños causados por los incendios.

AGRADECIMIENTOS

Se extiende un agradecimiento a los colaboradores de la alcaldía de Chitré por la información proporcionada en relación al Vertedero y su acompañamiento en la validación del prototipo, a la coordinación de la FISC en el Centro Regional de Azuero por el patrocinio de los equipos sensores e impresión de las piezas del Robot Mimic de la versión 1.

REFERENCIAS

- [1] J. R. Cid Nacer, C. Milanés Batista, D. Pinto Osorio, y J. R. Núñez Alvarez, La informática y la gestión integrada de los sistemas de alertas tempranas dentro del manejo integrado de zonas costeras. Corporación Universidad de la Costa, 2019. Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11323/6036>
- [2] J. Ocharan, «Sistemas de Alerta Temprana. Fotografía actual y retos», jun. 2007, Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/4425>
- [3] J. A. Coloma Garófalo, J. A. Vargas Salazar, C. A. Sanaguano Guevara, y Á. Geovanny Rochina Chisag, «Inteligencia artificial, sistemas inteligentes, agentes inteligentes», *RECIMUNDO Rev. Científica Investig. El Conoc.*, vol. 4, n.o 2, pp. 16-30, 2020, Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7591558>
- [4] F. Santiago, Prometheus: el drone que utiliza inteligencia artificial para combatir incendios», Medium. Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://santiagof.medium.com/prometheus-drone-que-utilizainteligencia-artifical-para-combatir-incendios-6d761c9e8fa0>
- [5] Á. Madridano, S. Campos, A. Al-Kaff, F. García, D. Martín, y A. Escalera, «Vehículo aéreo no tripulado para vigilancia y monitorización de incendios. », *Rev. Iberoam. Automática E Informática Ind.*, vol. 17, n.o 3, Art. n.o 3, jul. 2020, doi: 10.4995/riai.2020.1180