



Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería en Tecnologías de la Información y la Comunicación

Proyecto de grado para optar por el título de:

Ingeniero en Tecnologías de la Información y la Comunicación

PROYECTO DE GRADO

Optimización de los Procesos de Preservación, Monitoreo, Protección y Detección de Riesgos en Áreas Protegidas de la República Dominicana. Caso Parque Nacional Valle Nuevo: Apoyo a través de la Inteligencia Artificial e Internet de las Cosas.

SUSTENTANTES:

Carlos B. Ogando Montás (19-0175)

Isamar D. Francisco Reyes (19-0244)

ASESOR:

Dr. Darwin Muñoz

25 de Agosto 2022

Santo Domingo, D.N

República Dominicana

Dedicatoria

Este proyecto de grado va dedicado con mucho cariño a mis padres Ruth Montás y Carlos A. Ogando quienes fueron de gran apoyo para poder lograr esta meta importante.

A mis hermanas Karla y Laura Ogando por ser ejemplo para mí a nivel académico y profesional, y siempre brindarme su apoyo en cada uno de los escalones que subo.

A mi abuela, que en paz descanse.

A toda mi familia, cada uno de mis tíos, tías y primos.

A Unibe, mi alma máter, por ser la plataforma con la cual pude desarrollar tantas competencias profesionales y crecer tanto; esperando poder con este proyecto de grado aportar mi granito de arena a mi amada universidad, para que estudiantes nuevos e interesados puedan gozar de este contenido que hicimos con tanto esfuerzo y cariño.

A mis maestros, por cada una de sus mentorías, por su seguimiento y sus ganas de aportarnos tanto, les dedico con mucho cariño este proyecto, esperando que se sientan sumamente orgullosos de lo que he logrado como estudiante gracias a ustedes.

A la comunidad de Inteligencia Artificial de República Dominicana esperando aportar mi granito de arena en esta gran área que apenas comienza en el país con el deseo de que pronto se convierta en un área de mayor alcance y que sirva de gran apoyo para más ciencias y áreas del saber.

Carlos B. Ogando Montás

Dedicatoria

A mis padres, María Isabel Reyes y Erickson Francisco quienes con mucho esfuerzo y sacrificio han dado lo mejor de sí mismos para educarme e impulsarme a ser profesional y excelente persona.

A mis hermanos, quienes con mucha paciencia y amor me han apoyado en esta gran meta, los amo y espero que este logro les sirva de inspiración para perseguir sus propios sueños.

A todos los profesores que se han entregado día a día por enseñarme tanto.

A todos mis amigos que han sido gran parte de mi alegría, soporte y motivación para seguir adelante y ser feliz.

Isamar D. Francisco Reyes

Agradecimientos

Agradezco a mi padre Carlos A. Ogando por siempre estar a mi lado y con mucho amor e interés apoyarme tanto en este proyecto. Gracias querido padre por tus consejos, por tu seguimiento, por tu tiempo y por tu deseo de que este proyecto sea el mejor. Gracias por llevarnos a mí y a mi compañera al Parque Valle Nuevo, una travesía bella, pero larga y en una carretera peligrosa en la que no todos se deciden transitar, sin tu apoyo muchos aspectos de este proyecto no se habrían logrado, mil gracias. Y no solo eso, gracias por acompañarme en esta travesía universitaria, por tu seguimiento, tus consejos, todo tu gran conocimiento y experiencias que valoro tanto y me hacen crecer muchísimo. Gracias por acompañarme desde el primer día a aplicar a la beca para Unibe, ayudarme a hacer las diligencias, y después de estar dentro acompañarme durante toda esta trayectoria. Gracias por encaminarme en el trayecto de los cursos de MIT y Columbia sobre Python e Inteligencia artificial que han sido tan importante para mí desarrollo profesional. Te amo mucho.

Gracias a mi madre Ruth Montás por ser pilar de mi vida y cuidarme siempre con tanto cariño y amor. Gracias por mami por tu atención constante e incondicional hacia mí, estaré agradecido por siempre, sin ti, tus consejos y tu seguimiento este proyecto tampoco habría sido posible. Gracias por en esta travesía universitaria estar tan atenta a mí, siempre me esperabas hasta tarde porque salía tarde en la noche de las clases y no te acostabas hasta que estaba en casa, siempre a mi lado, nunca me has dejado caer, mil gracias por todo lo que me has ofrecido como madre y amiga, te amo muchísimo.

Gracias a mejor amiga y compañera de tesis Isamar Francisco, por estar de cerca conmigo desde el inicio hasta el final en esta travesía universitaria y ofrecerme tu amistad que valoro tanto. Gracias por estar ahí siempre para mí desde aquel primer diálogo en la clase de orientación universitaria con Rubén Darío, por las noches largas conversando, por los jentes, por tu sinceridad, gracias a ti mi trayecto por Unibe ha sido el mejor de todos.

Gracias a mi mentora la Dra. Rina Familia, quien desde el primer día que la conocí vio valor en mí y ha abierto tantas puertas para mí que actualmente definen quien soy y qué hago en el día a día. Le agradezco Rina por enseñarme lo que es impartir clases con pasión, gracias por introducirme a este mundo de la inteligencia artificial que amo tanto, gracias por todas las oportunidades que me ha ofrecido, por sus consejos. Gracias por escogerme como monitor, por darme la oportunidad de ingresar al SODIA, por abrir mi carrera como docente

en el ITLA, una que hoy en día amo y continúo. Siempre agradeceré con mucho cariño todo lo que me ha aportado.

Gracias a Wilson Mateo, mi mentor, quien fue el primer docente que conocí en Unibe, y desde ese primer día de clases, yo todo asustado y tenso, vio tanto valor en mí y me abrió tantas puertas desde ese primer cuatrimestre en Unibe que me permitieron desarrollarme grandemente. Gracias por confiar en mí en aquellas olimpiadas el primer cuatrimestre a pesar de que era estudiante de nuevo ingreso, gracias por escogerme como monitor y por enseñarme tanto sobre las matemáticas, un área que amo. Gracias por la distinción y el aprecio que siempre me tiene.

Gracias a Willis Polanco, quien desde mi primer cuatrimestre en Unibe me ha acompañado en esta travesía universitaria, desde aquella primera competencia de la ICPC, competencia de Huawei y demás. Gracias por sus consejos y por siempre tener la actitud para acompañarnos en todas las competencias que participábamos que tanto nos gustaban, así como todas las oportunidades que me ha presentado.

Gracias a todos mis maestros y mentores por inculcarme tantos valores y grandes conocimientos con pasión y esmero. Ustedes hicieron posible que contara con el conocimiento para realizar este proyecto de grado.

Gracias a Unibe por aceptarme como estudiante con media beca 50% y permitirme disfrutar de una experiencia universitaria de tanta calidad que nunca olvidaré.

Gracias Unibe por tantas oportunidades que me has abierto, tantos eventos, tantas competencias, tantas experiencias, bonitos recuerdos y tantas personas que han influido a moldear quien soy el día de hoy, eternamente estaré agradecido. Gracias por permitirme recordar mi pasión por los videojuegos y la música.

Gracias al Ministerio de la Juventud por hacer posible que estudiara sin pagar matrícula gracias a media beca de la cual pude gozar.

Gracias a Leipzig Guzmán, más que una mentora, un gran ser humano que siempre recordaré por su diligencia, arduo trabajo y cariño. Gracias Leipzig por abrirme tantas puertas desde el primer cuatrimestre, por llamarme a tantas competencias, proyectos y eventos que me permitieron crecer como profesional y como persona muchísimo. Gracias por sus conejos y su gran aprecio hacia mí y mis compañeros. Gracias por ser la directora que todos quieren

tener en su carrera. Siempre hizo que la Escuela de Ingeniería en TIC se sintiera más que una institución, un hogar. La quiero mucho.

Gracias a Esther y Elizabeth por su servicio y diligencia como secretarias de la Escuela de Ingeniería en TIC. Cada vez que tenía un problema, no dudaba en escribirles porque sabía que siempre podía encontrar una solución con ustedes, mil gracias.

Gracias a nuestro asesor de tesis Darwin Muñoz.

Gracias a todos los amigos que conocí en Unibe, por los momentos jugando cartas, por la chercha de camino al metro, por los junte comiendo pizza, jugando ping pong, estudiando juntos y por hacer de mi travesía en la universidad un omento memorable. Nunca los olvidaré, especialmente mi gran amiga, Mariel Jesús, gracias por ofrecerme tu amistad, sabes cuanto te quiero. Gracias Mariel por desde aquella clase de música en mi primera semana brindarme tu amistad y estar ahí para mí, espero que podamos seguir practicando violín, yendo al teatro, cenando, paseando y así cultivemos más bonitos recuerdos.

Por último, gracias, José Miguel, Adriana por ser quienes confiaron en mí en el proyecto del Justiciero para la competencia de videojuegos, uno que se convirtió en un hito importante durante mi vida universitaria. Gracias por brindarme su amistad, espero que podamos tener más junte y más proyectos juntos.

Carlos B. Ogando Montás

Agradecimientos

A Dios por permitirme crecer y desarrollarme, sostenerme en amor y salud hasta el día de hoy.

A mi familia por su amor y apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros de carrera, en especial a Mariel De Jesús y a mi hermano del alma y compañero de tesis de grado, Carlos Ogando, por ser el excelente colega y socio desde el primer día en esa clase de orientación universitaria en el año 2018.

A todo el personal administrativo de Unibe y el cuerpo docente de nuestra universidad, en especial Rina Familia, Willis Polanco y Rubén Gómez por ser mentores y excelentes maestros que han contribuido grandemente a mi desarrollo tanto personal como profesional en esta trayectoria.

A Leipzig Guzmán Mena, por su cariño y apoyo todos estos años, gracias por abrirme las puertas el primer día en que entré a su oficina buscando servir y crecer como persona y profesional, pues ha sido como una madre para mí y para otros a mi alrededor.

Isamar D. Francisco Reyes

Abstract

The natural resources of a nation a representative sample of the natural heritage and their value is immeasurable. They offer support, wellbeing, nutrition, vitality, and quality of life to all living beings that coexist within them. In the path of our development as a country, it is necessary to focus our efforts on the preservation and protection of the local flora and fauna to ensure its sustainability.

Within the wide diversity of forest reserves that the Dominican Republic has, we have included one of the most important and vulnerable protected areas in terms of forest fires, illegal logging, and farming, the Juan Bautista Pérez Rancier National Park, most commonly known as Valle Nuevo National Park in Constanza (north region). Acclaimed for its favorable conditions for mountain tourism, the cold and mountainous climate, with temperatures ranging between 14C° and 22° C, provides the possibility of multiple opportunities to get closer to nature: walk, horseback riding, mountain biking, observation of birds, etcetera. With an approximate extension of 902 km^2 , it is home to more than five hundred species of plants, of which 138 are endemic to Valle Nuevo, as well as a large variety of species of amphibians, butterflies, and birds.

As we move closer to industry 5.0, and our country moves towards the technological disruptions of the modern times, it is of significant importance to consider effective monitoring, preservation ad protection systems for protected areas that safeguard our natural reserves from threat that affect them. This may be possible using automated systems and artificial intelligence resources.

Keywords: Protected areas, thermography, artificial intelligence, forest fires, agriculture, illegal logging.

Resumen

Los recursos naturales de una nación son muestras representativas del patrimonio natural y su valor es inconmensurable. Ofrecen sostén, bienestar, nutrición, vitalidad y calidad de vida a todos los seres vivos que coexisten dentro de sí. En la vía de nuestro desarrollo como país es necesario enfocar esfuerzos en la preservación y protección de la flora y fauna de nuestros ecosistemas, para asegurar la sostenibilidad de este.

Dentro de la diversidad de reservas forestales que tiene la República Dominicana hemos incluido uno de los parques más importantes y vulnerables en temas de incendios forestales, tala ilegal de árboles y actividades agropecuarias, el Parque Nacional Juan Bautista Pérez Rancier o Parque Valle Nuevo en Constanza (región norte). Aclamado por sus condiciones favorables al turismo de montaña, el clima frío y montañoso, con temperaturas que oscilan entre los 14°C y 22°C provee la posibilidad de múltiples oportunidades de acercarse a la naturaleza: caminatas, cabalgatas, ciclismo de montaña, observación de aves, etc. Con una extensión de 902km², es el hogar de más de 500 especies de plantas, de las cuales 138 son endémicas de Valle Nuevo, así como una numerosa variedad de especies de anfibios, mariposas y aves.

Mientras nos acercamos cada vez más a la industria 5.0, y nuestro país avanza hacia de las disrupciones tecnológicas de los nuevos tiempos, es de gran importancia plantearnos sistemas de monitoreo, preservación y protección de áreas protegidas más eficaces que custodien nuestras reservas naturales de las amenazas que las afectan. Esto puede ser posible usando sistemas automatizados a través de recursos de inteligencia artificial.

Palabras clave: Áreas protegidas, termografía, inteligencia artificial, incendios forestales, agricultura, tala ilegal de árboles.

Tabla de Contenido

| | |
|---|--------------|
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimientos..... | iv |
| Abstract..... | viii |
| Resumen..... | ix |
| Lista de Tablas | xvii |
| Lista de Figuras..... | xviii |
| CAPÍTULO I: Introducción e información general | 1 |
| 1.0 Introducción | 3 |
| 1.1 Planteamiento del problema | 4 |
| 1.1.1 Análisis de las áreas protegidas del país..... | 5 |
| 1.1.2 Incendios forestales | 10 |
| 1.1.3 Tala de árboles..... | 14 |
| 1.1.4 Conuquismo..... | 16 |
| 1.1.5 Organismos reguladores | 18 |
| 1.2 Situación Actual | 20 |
| 1.3 Justificación de la investigación..... | 23 |
| 1.4 Importancia e interés del tema | 24 |
| 1.5 Limitaciones..... | 25 |
| 1.6 Hipótesis Preliminar | 25 |
| 1.7 Objetivos | 25 |
| 1.7.1 Objetivo General..... | 25 |
| 1.7.2 Objetivos Específicos | 26 |
| 1.8 Preguntas de investigación | 27 |
| CAPÍTULO II: Marco Teórico y Estado del Arte..... | 28 |
| 2.0 Introducción al capítulo..... | 29 |
| 2.1 Antecedentes y referencias..... | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1.1 Aplicaciones Similares | 30 |
| 2.2 Base Teórica..... | 32 |
| 2.2.1 Inteligencia Artificial..... | 32 |
| 2.2.2 Machine Learning..... | 32 |
| 2.2.3 Termografía | 32 |
| 2.2.4 Criterios de protección y clasificación de áreas protegidas..... | 34 |
| 2.3 Base Legal..... | 35 |
| 2.3.1 Convenios y acuerdos Internacionales medioambientales (2000-2017) | 36 |
| CAPÍTULO III: Marco Metodológico | 37 |
| 3.0 Introducción al capítulo..... | 38 |
| 3.1 Tipo de investigación | 38 |
| 3.2 Método | 38 |
| 3.3 Investigación Preliminar | 38 |
| 3.4 Delimitación del problema | 39 |
| 3.4.1 Área geográfica..... | 40 |
| 3.4.2 Tiempo..... | 40 |
| 3.4.3 Población y muestra..... | 40 |
| 3.4.4 Técnicas e Instrumentos | 40 |
| 3.4.5 Técnica de procesamiento de análisis de datos | 41 |
| 3.4.6 Fuentes de datos..... | 41 |
| CAPÍTULO IV Plan de mercadeo y Análisis del entorno..... | 42 |
| 4.0 Introducción | 43 |
| 4.2 Mecanismo para poblar información al sistema..... | 45 |
| 4.3 Modelo de negocio (Método Canvas) | 46 |
| 4.4 Presupuesto..... | 46 |
| 4.5 Retorno de la Inversión (ROI)..... | 53 |
| 4.5.1 Cálculos y datos del ROI..... | 53 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO V: Análisis, presentación de resultados y conclusiones | 54 |
| 5.0 Introducción | 55 |
| 5.1 Entrevistas | 55 |
| 5.1.1 Entrevista a ambientalista dominicano | 55 |
| 5.1.2 Entrevista a funcionario del MIMARENA..... | 57 |
| 5.1.3 Entrevista a guardabosques | 62 |
| 5.2 Resultados de la Hipótesis planteada | 62 |
| 5.3 Verificación y evaluación de Objetivos | 63 |
| 5.3.1 Verificación Objetivo General..... | 63 |
| 5.3.2 Verificación Objetivos Específicos | 63 |
| 5.3.3 Respuestas a las preguntas de investigación..... | 64 |
| 5.4 Conclusiones | 65 |
| 5.5 Líneas Futuras de Investigación..... | 66 |
| CAPÍTULO VI: Análisis y Diseño del Prototipo | 67 |
| 6.1 Narrativa General | 68 |
| 6.1.1 Objetivos de la Institución, Empresa o Sector al que está dirigido el Proyecto | 68 |
| 6.1.2 Breve descripción del sistema propuesto..... | 71 |
| 6.1.3 Objetivos del sistema o proyecto..... | 71 |
| 6.1.4 Innovaciones del sistema propuesto | 72 |
| 6.1.5 Ventajas y Beneficios | 73 |
| 6.2 Análisis FODA del sistema propuesto | 73 |
| 6.3 Arquitectura del sistema..... | 74 |
| 6.4.1 Anemómetro | 80 |
| 6.4.2 Cámara térmica..... | 81 |
| 6.4.3 Paneles solares..... | 82 |
| 6.4.4 Sensor de pluviometría | 83 |
| 6.4.5 Pararrayos | 84 |

| | |
|---|-----|
| 6.4.6 Kit Starlink (antena y router)..... | 85 |
| 6.4.7 Caja de circuitos | 86 |
| 6.4.8 Inversor..... | 86 |
| 6.4.9 Piranómetro | 87 |
| 6.4.10 Sensor de dirección del viento..... | 88 |
| 6.4.11 Placa SBC..... | 88 |
| 6.4.12 Sensor de humedad y temperatura..... | 89 |
| 6.4 Distribución de Estaciones | 90 |
| 6.5 Cobertura de Red..... | 96 |
| 6.6.1 Altice | 97 |
| 6.6.2 Claro | 98 |
| 6.6.3 Starlink..... | 99 |
| 6.7 Recursos Cloud | 101 |
| 6.8 Configuración de dispositivos IoT | 110 |
| 6.9 Entrenamiento de modelos de inteligencia artificial | 111 |
| 6.9.1 Recolección de datos y etiquetado..... | 112 |
| 6.9.2 Preprocesamiento de la data y adecuación para el modelo. | 114 |
| 6.9.3 Creación de canalización/pipeline de procesamiento | 122 |
| 6.9.4 Diseño de la red neuronal | 123 |
| 6.9.5 Entrenamiento del modelo..... | 125 |
| 6.9.6 Evaluación del modelo | 127 |
| 6.10 Análisis funcional del sistema..... | 129 |
| 6.10.1 Requerimientos funcionales | 129 |
| 6.10.2 Requerimientos no funcionales | 130 |
| 6.11 Diagramas de flujo de los procesos..... | 130 |
| 6.12 Diagrama de Contexto..... | 135 |
| 6.13 Diagrama de Flujo de Datos (DFD) del sistema propuesto: <i>modelo helpDesk</i> | 136 |

| | |
|---|-----|
| 6.14 Diseño de la Base de Datos | 137 |
| 6.14.1 Esquema de la base de datos..... | 138 |
| 6.14.2 Diagrama Entidad Relación..... | 141 |
| 6.14.3 Diccionario de datos del sistema | 142 |
| 6.14.3.1 Esquema máster | 142 |
| 6.14.3.2 Esquema operations | 151 |
| 6.14.4 Queries de creación de tablas | 155 |
| 6.14.5 Queries de creación de stored procedures | 164 |
| 6.14.6 SQL Schemas | 169 |
| 6.14.6.1 Esquema master | 170 |
| 6.14.6.2 Esquema operaciones..... | 170 |
| 6.14.6.3 Esquema dbo..... | 170 |
| 6.14.7 Modelo de datos de Power BI..... | 170 |
| 6.15 Dashboard en Power BI (Formato de pantallas para las E/S de datos del sistema) ... | 174 |
| 6.15.1 Pantalla No. 1: Incendios | 175 |
| 6.15.1.1 Segmentaciones..... | 175 |
| 6.15.1.2 Visuales..... | 175 |
| 6.15.2 Pantalla No. 2: Tala de árboles..... | 178 |
| 6.15.2.1 Segmentaciones..... | 179 |
| 6.15.2.2 Visuales..... | 179 |
| 6.15.3 Pantalla No. 3: Detección de objetos..... | 182 |
| 6.15.3.1 Segmentaciones..... | 182 |
| 6.15.3.2 Visuales..... | 182 |
| 6.15.4 Pantalla No. 4: Meteorología..... | 185 |
| 6.15.4.1 Segmentaciones..... | 186 |
| 6.15.4.2 Visuales..... | 186 |
| 6.15.5 Pantalla No. 5: Estaciones | 187 |

| | |
|--|------------|
| 6.15.5.1 Segmentaciones..... | 187 |
| 6.15.5.2 Visuales..... | 187 |
| 6.15.6 Pantalla No. 6: Detalles | 188 |
| 6.15.6.1 Segmentaciones..... | 188 |
| 6.15.6.2 Visuales..... | 188 |
| 6.16 Diagrama jerárquico de programas y/o menú principales | 188 |
| 6.17 Seguridad y Control | 189 |
| 6.17.1 Políticas de acceso seguridad | 189 |
| 6.17.2 Políticas de Backup sugeridas | 190 |
| 6.17.3 Descripción mecanismos de seguridad del sistema..... | 190 |
| 6.17.3.1 Estaciones (Router)..... | 190 |
| 6.17.3.2 Base de datos..... | 190 |
| 6.17.3.3 Power BI | 191 |
| 6.17.3.4 Azure Function..... | 191 |
| 6.17.3.5 Otros recursos | 191 |
| 6.18 Descripción de programa | 191 |
| 6.18.1 Tecnología de desarrollo a utilizar | 191 |
| 6.18.2 Módulos de los programas..... | 191 |
| 6.18.2.1 Simulador de métricas..... | 191 |
| 6.18.2.2 Detector de eventos..... | 193 |
| 6.18.2.3 Generador de alertas | 193 |
| 6.19 Cronograma de actividades para el desarrollo del sistema | 195 |
| Conclusiones | 206 |
| Lista de Referencias..... | 210 |
| Apéndice..... | 215 |
| Apéndice A – Torre de Detección de Incendios en Pajón Blanco, Valle Nuevo..... | 215 |

| | |
|---|------------|
| Apéndice B – Vista desde Torre de Detección de Incendios en Pajón Blanco, Valle Nuevo | 216 |
| Apéndice C – Vista en Las Pirámides, Parque Nacional Valle Nuevo | 217 |
| Apéndice D – Vista desde Torre de Detección de Incendios en Pajón Blanco, Valle Nuevo | 218 |
| Anexos | 220 |
| Vita | 229 |

Lista de Tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Categorías y Subcategorías de áreas protegidas en República Dominicana..... | 6 |
| Tabla 2. Áreas protegidas metropolitanas en República Dominicana. | 9 |
| Tabla 3. Benchmarking. (Elaboración propia)..... | 43 |
| Tabla 4. Presupuesto. (Elaboración propia)..... | 46 |
| Tabla 5. Gastos recurrentes (Elaboración propia)..... | 50 |
| Tabla 6. Retorno de Inversión (ROI) | 53 |
| Tabla 7. MASTER.CLIENTS..... | 142 |
| Tabla 8. MASTER.DEVICE_TYPES | 143 |
| Tabla 9. MASTER.DEVICES | 143 |
| Tabla 10. MASTER.EVENT_TYPES | 145 |
| Tabla 11. MASTER.METRICS..... | 146 |
| Tabla 12. MASTER.NOTIFICATION_TYPES..... | 147 |
| Tabla 13. MASTER.RISKS | 148 |
| Tabla 14. MASTER.STATIONS..... | 149 |
| Tabla 15. MASTER.ZONES | 150 |
| Tabla 16. OPERATIONS.DEVICE_METRICS..... | 151 |
| Tabla 17. OPERATIONS.EVENT_DEVICE_METRICS | 152 |
| Tabla 18. OPERATIONS.EVENTS | 153 |
| Tabla 19. OPERATIONS.NOTIFICATIONS | 154 |
| Tabla 20. Detalles sobre las áreas protegidas en Rep. Dominicana..... | 220 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Cantidad de especies endémicas en áreas protegidas. (Elaboración propia)..... | 6 |
| Figura 2. Mapa de principales áreas protegidas en República Dominicana | 6 |
| Figura 3. Ocurrencia de incendios forestales patrón mensual 2005-2015 (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al. 2016) | 12 |
| Figura 4. Mapa de puntos de calor e incendios forestales en República Dominicana 2010. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2010) | 12 |
| Figura 5. Parques nacionales más afectados por incendios forestales. (Elaboración propia) | 13 |
| Figura 6. Ocurrencia de incendios forestales anual 1972-2018. (Elaboración propia)..... | 13 |
| Figura 7. Cambios de cobertura forestal (1996-2003)..... | 14 |
| Figura 8. Distribución de los hogares por región, según principal combustible utilizado para cocinar. Fuente: (Oficina Nacional de Estadística & Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020) | 16 |
| Figura 9. Línea Verde (Del Cid, M., 2017) | 20 |
| Figura 10. Ubicación geográfica de las torres de detección de incendio. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016) | 22 |
| Figura 11. Porcentaje de causas de incendios forestales. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016) | 24 |
| Figura 12. Convenios y acuerdos internacionales asumidos por el país 2000-2017 (Oficina Nacional de Estadística & Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020) | 36 |
| Figura 13. Modelo de negocio. (Elaboración propia)..... | 46 |
| Figura 14. Estimados de Costos por Servicios Azure (Elaboración propia) | 52 |
| Figura 15. Análisis FODA del sistema propuesto (Elaboración propia) | 73 |
| Figura 16. Diagrama completo de la arquitectura del sistema (Elaboración propia) | 74 |
| Figura 17. Diagrama lateral izquierdo de la arquitectura del sistema (Elaboración propia) .. | 74 |
| Figura 18. Diagrama de Arquitectura del sistema. (Elaboración propia) | 75 |
| Figura 19. Diagrama de la estación (Elaboración propia) | 79 |
| Figura 20. Sensor de Viento. (Rika Sensor, 2022) | 80 |
| Figura 21. Cámara Térmica PTZ Long Range | 81 |
| Figura 22. Panel Solar (Towards, 2021) | 82 |
| Figura 23. Sensor de Lluvia (Hydreon, 2022) | 83 |

| | |
|---|-----|
| Figura 24. Pararrayos (Conduground) | 84 |
| Figura 25 <i>Kit de Instalación (Starlink, 2022)</i> | 85 |
| Figura 26 Antena (Starlink, 2022) | 85 |
| Figura 27. Inversor (Towards, 2022) | 86 |
| Figura 28. Piranómetro (SENSOVANT, 2014)..... | 87 |
| Figura 29. Sensor de dirección de viento. (Instruments, n.d.) | 88 |
| Figura 30. Raspberry Pi (Raspberry Pi Foundation, 2022)..... | 88 |
| Figura 31. Sensor de temperatura y humedad (PCE Instruments, 2022)..... | 89 |
| Figura 32. Distribución de estaciones en Valle Nuevo..... | 90 |
| Figura 33. Estación Alto Bandera (Elaboración propia)..... | 90 |
| Figura 34. Estación Pajón Blanco (Elaboración propia)..... | 91 |
| Figura 35. Estación Las Pirámides. Izquierda del costado. (Elaboración propia) | 91 |
| Figura 36. Estación Las Pirámides. Derecha del costado. (Elaboración propia)..... | 92 |
| Figura 37. Estación Interpolación Monte Tina – Las Pirámides (Elaboración propia) | 92 |
| Figura 38. Estación Interpolación Pico Duarte – Pajón Blanco (Elaboración propia) | 93 |
| Figura 39. Estación Boca de los Ríos (Elaboración propia) | 93 |
| Figura 40. Estación Interpolación Alto Bandera – Banilejo (Elaboración propia)..... | 94 |
| Figura 41. Estación Interpolación Salto de Aguas Blancas - Frontera Azua (Elaboración propia)..... | 94 |
| Figura 42. Estudio de Cobertura vía FloodMap (Elaboración propia) | 95 |
| Figura 43. Puntos ciegos. (Elaboración propia)..... | 96 |
| Figura 44. Mapa Cobertura (Altice, 2022) | 97 |
| Figura 45. Cobertura de Altice en Valle Nuevo (Elaboración Propia)..... | 98 |
| Figura 46. Mapa de Cobertura Claro (Claro, 2022)..... | 98 |
| Figura 47 Cobertura de Claro en Valle Nuevo (Elaboración Propia)..... | 99 |
| Figura 48. Mapa de Cobertura Starlink en República Dominicana (Starlink, 2022)..... | 100 |
| Figura 49. Funcionamiento de Azure Stream Analytics (Microsoft, 2022c)..... | 102 |
| Figura 50. <i>Grupo de recursos en Azure (Elaboración propia)</i> | 104 |
| Figura 51. Especificaciones técnicas de base de datos SQL en Azure (Elaboración Propia) | 105 |
| Figura 52. Especificaciones técnicas de SQL server en Azure (Elaboración Propia) | 105 |
| Figura 53. Especificaciones técnicas del storage center en Azure (Elaboración Propia) | 106 |
| Figura 54. Especificaciones técnicas de Azure Key Vault (Elaboración Propia)..... | 106 |

| | |
|--|-----|
| Figura 55. Especificaciones técnicas del Azure IoT Hub (Elaboración Propia) | 107 |
| Figura 56. Especificaciones técnicas de Azure App Service (Elaboración Propia) | 107 |
| Figura 57. Especificaciones técnicas de Azure Machine Learning (Elaboración Propia).... | 108 |
| Figura 58. Especificaciones técnicas de Azure Function (Elaboración Propia)..... | 108 |
| Figura 59. Propiedades técnicas de Azure Function (Elaboración Propia) | 108 |
| Figura 60. Propiedades técnicas de Azure Application Insights (Elaboración Propia) | 109 |
| Figura 61. Control de acceso del grupo de recursos de Azure (Elaboración propia) | 109 |
| Figura 62. Servicios de Redes en Azure (Elaboración propia)..... | 110 |
| Figura 63. Azure IoT Explorer (Elaboración propia) | 110 |
| Figura 64. Device Identity en el Azure IoT Explorer (Elaboración propia)..... | 111 |
| Figura 65. Compute instance creation en Microsoft Azure Machine Learning (Elaboración propia)..... | 111 |
| Figura 66. Compute instance en Azure Machine Learning (Elaboración propia) | 112 |
| Figura 67. Notebooks en MS Azure Machine Learning Studio (Elaboración propia) | 113 |
| Figura 68. Data en Jupyter (Elaboración propia)..... | 113 |
| Figura 69. Matriz tridimensional RGB (Courtney, 2002) | 115 |
| Figura 70. Procesamiento de audio (Elaboración propia)..... | 117 |
| Figura 71. Instalación e importación de librerías en Jupyter (Elaboración propia)..... | 117 |
| Figura 72. TensorFlow dataset (Elaboración propia) | 118 |
| Figura 73. Creación del TensorFlow dataset (Elaboración propia) | 118 |
| Figura 74. Preprocesamiento de archivos de audio en Jupyter (Elaboración propia)..... | 119 |
| Figura 75. Código de preprocesamiento de archivos de audio en Jupyter (Elaboración propia) | 119 |
| Figura 76. Ejemplo #1 de preprocesamiento de archivos de audio en Librosa y TensorFlow (Elaboración propia) | 120 |
| Figura 77. Código de entrenamiento de preprocesamiento de data. (Elaboración propia)... | 121 |
| Figura 78. Ejemplo de espectrograma mel (Elaboración propia) | 121 |
| Figura 79. Espectrograma mel (Elaboración propia)..... | 122 |
| Figura 80. Definición del process pipeline (Elaboración propia)..... | 123 |
| Figura 81. Definición del CNN (Elaboración propia) | 124 |
| Figura 82. Estadísticas CNN (Elaboración propia) | 125 |
| Figura 83. Entrenamiento del modelo (Elaboración propia) | 126 |
| Figura 84. Loss History (Elaboración propia) | 126 |

| | |
|--|-----|
| Figura 85. Evaluación del performance del modelo (Elaboración propia)..... | 127 |
| Figura 86. Matriz de confusión. (Elaboración propia)..... | 127 |
| Figura 87. Modelo entrenado guardado (Elaboración propia)..... | 128 |
| Figura 88. Predicciones del modelo (Elaboración propia) | 128 |
| Figura 89. Diagrama de Clasificación de Videos e Imágenes (Elaboración propia) | 130 |
| Figura 90. Diagrama de Streaming de Datos (Elaboración propia)..... | 131 |
| Figura 91. <i>Diagrama de Reentrenamiento de Modelo de IA (Elaboración Propia)</i> | 132 |
| Figura 92. Diagrama Envío de Alertas (Elaboración propia) | 133 |
| Figura 93. Diagrama Station Local Processing (Elaboración propia) | 134 |
| Figura 94. Diagrama de Clasificación de Audios | 135 |
| Figura 95. Diagrama de Contexto (Elaboración propia)..... | 135 |
| Figura 96. DFD del sistema en vista completa (Elaboración propia)..... | 136 |
| Figura 97. DFD del sistema. Vista lateral izquierda. (Elaboración propia)..... | 136 |
| Figura 98. DFD del sistema. Vista lateral derecha. (Elaboración propia) | 137 |
| Figura 99. Diagrama de la base de dato del sistema en vista completa (Elaboración propia) | 138 |
| Figura 100. Diagrama de la base de datos del sistema. Vista lateral izquierda. (Elaboración propia)..... | 139 |
| Figura 101. Diagrama de la base de datos del sistema. Vista lateral derecha. (Elaboración propia)..... | 140 |
| Figura 102. Diagrama entidad-relación del sistema | 141 |
| Figura 103. Query de creación de la tabla dbo.temp (Elaboración propia) | 155 |
| Figura 104. Query de creación de la tabla master.clients (Elaboración propia)..... | 156 |
| Figura 105. Query de creación de la tabla master.device_types (Elaboración propia) | 156 |
| Figura 106. Query de creación de la tabla master.devices (Elaboración propia) | 157 |
| Figura 107. Query de creación de la tabla master.event_types (Elaboración propia) | 157 |
| Figura 108. Query de creación de la tabla master.metrics (Elaboración propia)..... | 158 |
| Figura 109. Query de creación de la tabla master.notification_types (Elaboración propia) | 158 |
| Figura 110. Query de creación de la tabla master.risks (Elaboración propia)..... | 159 |
| Figura 111. Query de creación de la tabla master.stations (Elaboración propia) | 159 |
| Figura 112. Query de creación de la tabla master.zones (Elaboración propia) | 160 |
| Figura 113. Query de creación de la tabla operations.device_metrics (Elaboración propia) | 160 |

| | |
|--|-----|
| Figura 114. Query de creación de la tabla operations.event_device_metrics (Elaboración propia)..... | 161 |
| Figura 115. Query de creación de la tabla operations.events (Elaboración propia) | 162 |
| Figura 116. Query de creación de la tabla operations.notifications (Elaboración propia) ... | 163 |
| Figura 117. Query de creación del stored procedure master.get_devices_from_metric (Elaboración propia) | 164 |
| Figura 118. Query de creación del stored procedure master.get_station_from_device (Elaboración propia) | 165 |
| Figura 119. Query de creación del stored procedure operations.insert_device_metric (Elaboración propia) | 166 |
| Figura 120. Query de creación del stored procedure operations.insert_event (Elaboración propia)..... | 167 |
| Figura 121. Query de creación del stored procedure operations.insert_event_device_metric (Elaboración propia) | 168 |
| Figura 122. Query de creación del stored procedure operations.insert_notifications (Elaboración propia) | 169 |
| Figura 123. Diagrama de Modelo de datos del Power BI (Elaboración propia) | 171 |
| Figura 124. Tablas en el modelo de datos en Power BI (Elaboración propia) | 171 |
| Figura 125. Editor de Power Query (Elaboración propia)..... | 172 |
| Figura 126. Campos en Power BI. (Elaboración propia)..... | 173 |
| Figura 127. Pantalla No. 1: Incendios (Elaboración propia) | 175 |
| Figura 128. Densidad de incendios. (Elaboración propia)..... | 176 |
| Figura 129. Densidad de incendios y anomalías por fecha (Elaboración propia) | 176 |
| Figura 130. Temperatura por fecha. (Elaboración propia) | 177 |
| Figura 131. Cantidad de incendios por región. (Elaboración propia)..... | 177 |
| Figura 132. Cantidad de incendios por estación por día. (Elaboración propia)..... | 178 |
| Figura 133. Pantalla No. 2: Tala de árboles (Elaboración propia) | 178 |
| Figura 134. Detección de sonidos que disparan eventos. (Elaboración propia)..... | 179 |
| Figura 135. Densidad de decibelios que han disparado eventos. (Elaboración propia) | 180 |
| Figura 136. Detección de tala y anomalías por fecha. (Elaboración propia)..... | 180 |
| Figura 137. Intensidad sonora por hora. (Elaboración propia)..... | 181 |
| Figura 138. Proporción de tipos de sonido detectados (Elaboración propia) | 181 |
| Figura 139. Pantalla No. 3: Detección de objetos (Elaboración propia) | 182 |

| | |
|--|-----|
| Figura 140. Latitud y longitud (Elaboración propia) | 183 |
| Figura 141. Detección de objetos por fecha. (Elaboración propia) | 183 |
| Figura 142. Ranking de detecciones por estación (Elaboración propia). | 184 |
| Figura 143. Proporción de detecciones por objeto (Elaboración propia). | 184 |
| Figura 144. Segmentación global por estación. Proporción de detecciones por estación (Elaboración propia). | 185 |
| Figura 145. Pantalla No. 4: Datos meteorológicos (Elaboración propia)..... | 185 |
| Figura 146. Pantalla No. 5: Estaciones (Elaboración propia)..... | 187 |
| Figura 147. Pantalla No. 6: Detalles históricos (Elaboración propia) | 188 |
| Figura 148. Diagrama jerárquico del sistema. (Elaboración propia)..... | 189 |
| Figura 149. Código del simulador de métricas (Elaboración propia)..... | 192 |
| Figura 150. Simulador de métricas (Elaboración propia)..... | 192 |
| Figura 151. Reglas definidas en el simulador de métricas. (Elaboración propia) | 193 |
| Figura 152. Estructura de envío del correo de aviso. (Elaboración propia) | 194 |
| Figura 153. Aviso por correo de incendio forestal (Elaboración propia) | 194 |
| Figura 154. Descripción de tareas iniciales (Elaboración propia) | 195 |
| Figura 155. Descripción y detalles de las fases 3& 4 de la instalación de estaciones (Elaboración propia) | 195 |
| Figura 156. Recursos y detalles de las tareas iniciales (Elaboración propia)..... | 196 |
| Figura 157. Recursos de las primeras tareas del proyecto (Elaboración propia)..... | 197 |
| Figura 158. Descripción y detalles de las fases 5, 6 & 7 de la instalación de estaciones (Elaboración propia) | 198 |
| Figura 159. Descripción y detalles de las fases 8 & 9 de la instalación de estaciones (Elaboración propia) | 199 |
| Figura 160. Recursos y detalles de las tareas 5 - 8 (Elaboración propia)..... | 200 |
| Figura 161. Recursos de las tareas 5 - 8 del proyecto (Elaboración propia) | 201 |
| Figura 162. Descripción y detalles de la fase 10 de instalación & el desarrollo del sistema de captura (Elaboración propia)..... | 201 |
| Figura 163. Recursos y detalles de las tareas 9 al sistema de desarrollo del sistema de captura (Elaboración propia) | 202 |
| Figura 164. Recursos de las tareas 9 & 10 al sistema de desarrollo del sistema de captura (Elaboración propia) | 203 |

| | |
|---|-----|
| Figura 165. Descripción y detalles de la fase de desarrollo de modelos de IA y dashboard de Power BI (Elaboración propia) | 204 |
| Figura 166. Recursos y detalles de las fases de desarrollo de modelos de IA y dashboard, y el cierre del proyecto (Elaboración propia) | 205 |
| Figura 167. Recursos de las fases de desarrollo de modelos de IA y dashboard, y el cierre del proyecto (Elaboración propia) | 205 |

CAPÍTULO I:
Introducción e información general

1.0 Introducción

Desde el principio de la historia, el ser humano ha estado siempre estrechamente vinculado a la naturaleza, siendo este su hábitat, materia prima de nutrición y producción económica. Preservar, proteger y cuidar el medio ambiente es cuidarnos a nosotros como raza humana.

La subvaluación de nuestros recursos forestales, hídricos y mineros es un error que no podemos permitirnos, porque de ello depende la salud, el bienestar y la vida de nosotros mismos y nuestras futuras generaciones. El estudio de nuestro entorno y como este influye en nuestras vidas es vital para poder realmente obtener un pleno entendimiento y un óptimo aprovechamiento de nuestros bienes tangibles. Ante la realidad que hoy en día enfrentamos a nivel ambiental, vemos sumamente necesario elevar nuestra conciencia como seres humanos y salvaguardar aquello que es realmente importante.

El enfoque principal de este proyecto es servir de soporte y solución tecnológica ante las diversas amenazas naturales y humanas a las que nuestras autoridades encargadas se enfrentan diariamente en su labor de proteger, gestionar, y responder a los temas ambientales en la República Dominicana. Hemos identificado que la mejor opción a estos problemas es a través de la tecnología termográfica y la inteligencia artificial, los cuales integrados pueden servir como sistema de monitoreo y detección precisa en tiempo real.

Creemos que esta propuesta puede tener un impacto positivo sobre la visión y gestión de las áreas protegidas de nuestro país, e incluso puede evolucionar a fines de investigación, como funcionalidades adicionales, que permitan medir tendencias ambientales locales, contribuir a la comunidad científica regional y global y posicionar a la República Dominicana en materia de gestión, estudio y protección de recursos naturales y el medio ambiente.

1.1 Planteamiento del problema

El medio ambiente a nivel mundial se encuentra cada vez más amenazados por el cambio climático, emisiones de gases de efecto invernadero, la desertificación, la contaminación de las fuentes hidrográficas, los incendios, la excesiva tala de árboles, los desechos sólidos, el conuquismo, entre otros. La República Dominicana como miembro de un conjunto de organismos internacionales involucrados en la resolución de esta problemática medioambiental globalizada, tiene el compromiso de enfrentar los retos que de ella puedan sobrevenir.

Ante el valor que representan las áreas protegidas y parques nacionales, se hace necesario establecer mecanismos de protección, monitoreo y supervisión efectivos para evitar que los eventos anteriormente mencionados puedan perjudicar la integridad de nuestras riquezas naturales. El problema que abordamos en este proyecto engloba los acaecimientos negativos más importantes que afectan las áreas protegidas de la República Dominicana:

- Los incendios forestales.
- La tala de árboles.
- El conuquismo.

Estos tres eventos constituyen las amenazas más impactantes hacia nuestras áreas protegidas según el (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Fondo Pro-Naturaleza (PRONATURA) e Instituto Dominicano de Desarrollo Integral (IDDI), 2016) en la *Estrategia Nacional de Manejo de Fuego*.

1.1.1 Análisis de las áreas protegidas del país

La isla La Española es un lugar rico en recursos naturales y valiosos ecosistemas, en especial la parte este, nuestra República Dominicana. Según la *Estrategia Nacional de Manejo de Fuego*, esta abundancia de recursos naturales ha propiciado el desarrollo de una biodiversidad con un alto contenido de endemismo de importancia global (5,600 especies, equivalente a 36% de endemismo), lo que ha inducido para que fuera denominada "Sitio Sobresaliente de Biodiversidad del Caribe (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016). La biodiversidad de las áreas protegidas está conformada en general por los siguientes ecosistemas:

- Bosques latifoliados
- Bosque de coníferas
- Bosque seco
- Matorral

Según (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016), en el país se han identificado 15 zonas que presentan un alto endemismo, de las cuales cinco de ellas presentan los niveles más elevados:

- Sierra de Bahoruco, con 615 especies (este alto porcentaje se debe al aislamiento a que estuvo sometida por el canal marino durante un largo tiempo).
- Subregión Barbacoa — Casabito con 423 especies.
- Sierra de Neiba, con 174 especies.
- Península de Samaná, 138 especies.
- Los Haitises con 130 especies.

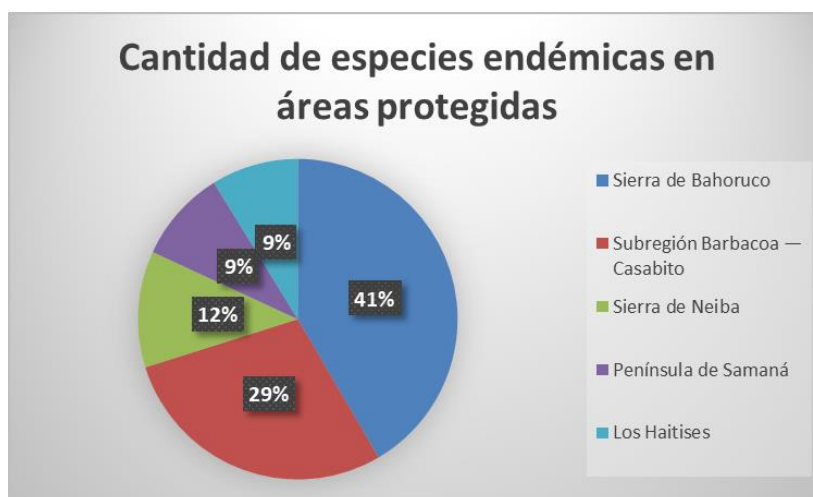


Figura 1. Cantidad de especies endémicas en áreas protegidas. (Elaboración propia)

Fuente: Estrategia Nacional de Manejo de Fuego.

El país cuenta con un Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) conformado por un total 128 unidades de conservación que necesitan un constante monitoreo para identificar a tiempo posibles amenazas, ya que estas son muestras significativas de gran parte de los principales ecosistemas de nuestro país. (Oficina Nacional de Estadística & Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020)

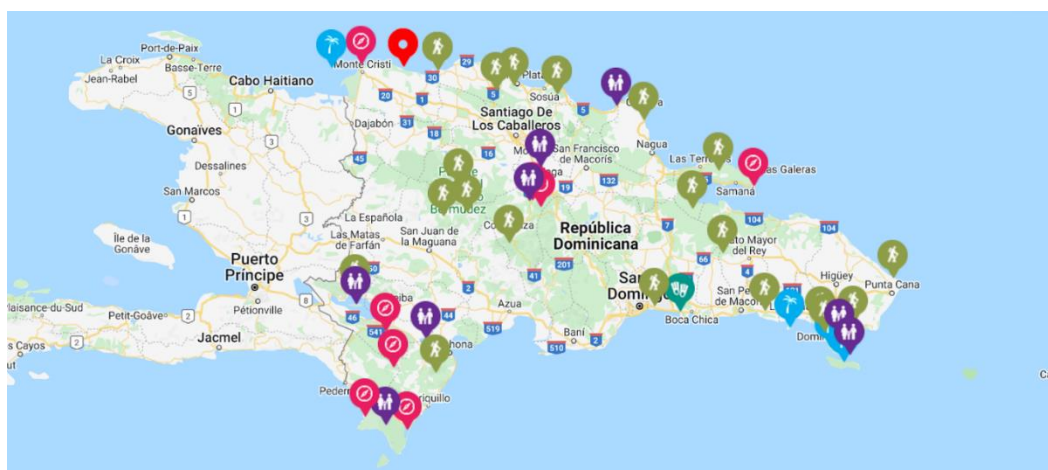


Figura 2. Mapa de principales áreas protegidas en República Dominicana.

Fuente. (Ministerio de Turismo de República Dominicana 2022)

Tabla 1.

Categorías y Subcategorías de áreas protegidas en República Dominicana.

| CATEGORÍAS Y SUBCATEGORÍAS | CANTIDAD DE ÁREAS PROTEGIDAS | SUPERFICIE TERRESTRE (Km²) | ÁREA MARINA (Km²) | ÁREA TOTAL (Km²) |
|--|---|--|---|--|
| I. ÁREAS DE PROTECCIÓN ESTRICTA | 12 | 406,6 | 32.900,46 | 33.307,15 |
| A. Reservas Científicas | 8 | 216,62 | - | 216,62 |
| B. Santuarios de Mamíferos Marinos | 2 | 11,88 | 32.900,46 | 32.912,34 |
| C. Reserva Biológica | 2 | 178,19 | - | 178,19 |
| II. PARQUES NACIONALES | 31 | 8.963,47 | 1.812,05 | 10.775,52 |
| A. Parques Nacionales | 29 | 8.962,15 | 1.555,78 | 10.517,92 |
| B. Parques Nacionales Submarinos | 2 | 1,33 | 256,27 | 257,60 |
| III. MONUMENTOS NATURALES | 31 | 663,59 | 23,70 | 687,29 |
| A. Monumentos Naturales | 29 | 629,39 | 23,70 | 653,10 |
| B. Refugios de Vida Silvestre | 2 | 34,19 | - | 34,19 |
| IV. ÁREAS DE MANEJO DE HÁBITAT/ESPECIES | 22 | 333,02 | 11.119,22 | 11.452,24 |

Continuación

| | | | | |
|--|------------|------------------|------------------|------------------|
| A. Refugios de Vida Silvestre | 19 | 326,99 | 307,51 | 634,51 |
| B. Santuario Marino | 3 | 6,03 | 10.811,71 | 10.817,74 |
| V. RESERVAS NATURALES | 15 | 1.653,56 | - | 1.653,56 |
| A. Reservas Forestales | 15 | 1.653,56 | - | 1.653,56 |
| VI. PAISAJES PROTEGIDOS | 17 | 417,36 | 48,96 | 466,31 |
| A. Vía Panorámica | 10 | 288,09 | 12,38 | 300,47 |
| B. Áreas Naturales de Recreo | 4 | 108,41 | 36,58 | 144,99 |
| C. Corredor Ecológico | 3 | 20,85 | - | 20,85 |
| Total de Unidades de Conservación | 128 | 12.437,68 | 45.904,39 | 58.342,08 |

Fuente. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019)

Según la data obtenida del (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019), en nuestro país hay 12,437.68 km^2 de superficie terrestre de áreas protegidas, que dado que contamos con 48,442 km^2 de superficie total, representa un 25.67% de todo el territorio nacional, una cuarta parte. De esta cantidad, el desglose minucioso de todas las áreas protegidas lo muestra la tabla no. 20, presente en la sección de anexos.

El detalle de las áreas protegidas metropolitanas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas se muestra el siguiente cuadro.

Tabla 2

Áreas protegidas metropolitanas en República Dominicana.

| NO. | NOMBRE | CATEGORÍA | BASE LEGAL | SUPERFICIE TERRESTRE (KM²) |
|------------|---|---------------------------------|--------------------------|--|
| 1 | Gran Parque de Las Américas | Áreas Protegidas Metropolitanas | Decreto 207-02 | 3.22 |
| 2 | Parque Ecológico Riberas del Río Jaya | Áreas Protegidas Metropolitanas | Decreto 351-11 | 7.51 |
| 3 | Parque Mirador Manantiales del Cachón de la Rubia | Áreas Protegidas Metropolitanas | Decretos 207-02 y 199-16 | 2.38 |
| 4 | Parque Mirador Manantiales del Norte | Áreas Protegidas Metropolitanas | Decreto 207-02 | 1.28 |
| 5 | Parque Mirador Oeste | Áreas Protegidas Metropolitanas | Decreto 207-02 | 4.53 |
| 6 | Parque Nacional Mirador del Norte | Áreas Protegidas Metropolitanas | Decreto 207-02 | 10.18 |

Fuente. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019)

1.1.2 Incendios forestales

Los incendios forestales (sean de origen natural o antrópicos) ocurren cuando el fuego afecta a ecosistemas terrestres, y se propaga por cualquier tipo de vegetación (Pausas, 2012). El fuego es necesario para mantener la salud de los ecosistemas forestales a largo plazo, no obstante la mano del ser humano ha alterado los ciclos naturales del fuego en múltiples ecosistemas, generalmente incrementando su frecuencia (Ibáñez, 2017).

Según el informe *Evaluación del Incendio Forestal en el Parque Nacional Valle Nuevo* del (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2014) los incendios que han ocurrido son 3,104 incendios forestales, ocasionando la afectación de unas 2,084,348 tareas aproximadamente, representando un equivalente de 125,000 hectáreas.

De acuerdo con el (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2014) en el mismo informe, los diez incendios forestales más importantes 1975-1997 son:

- 1) **1 de abril de 1975:** Parque José del Carmen Ramírez afecta alrededor de 300,000 tareas de pinos.
- 2) **26 de julio de 1978:** En Puerto Escondido, provincia Independencia, sabanero provoca el incendio de 65,000 tareas que dura ocho días.
- 3) **13 de abril de 1981:** En los Tibisí, Provincia de San Juan, agricultor provoca el incendio de 39,800 tareas con diez días de duración
- 4) **12 febrero de 1983:** En Valle Nuevo, Constanza provincia de La Vega, jardinero provoca el incendio de 51,200 tareas con seis días de duración.
- 5) **17 de agosto de 1990:** En Arroyo del Castillo, Constanza, Provincia de La Vega, por causas indeterminadas se incendian 41,340 tareas con una duración de ocho días.
- 6) **25 de agosto de 1990:** En Pajón Blanco, Constanza, Provincia de La Vega, por causas indeterminadas se incendian 68,362 tareas con una duración de siete días
- 7) **22 de marzo de 1991:** En Pinito Verde, Los Fríos, Provincia de San Juan de la Maguana, un agricultor provoca un incendio de 37,365 tareas con cuatro días de duración.
- 8) **8 de agosto de 1993:** En las Mercedes, Provincia de Barahona, por causas indeterminadas se incendian 51,500 tareas con nueve días de duración.
- 9) **13 agosto de 1994:** En Charco Colorao, Provincia de Barahona, por causas indeterminadas, se incendian 36,000 tareas con siete días de duración.

10) 11 de abril de 1997: En el Macutico de la Viuda, San José de las Matas, provincia de Santiago, agricultor provoca incendio que afecta 100,000 tareas durante doce días.

Dentro de los más recientes, podemos encontrar:

- 1) 2 de marzo del 2019:** En el Parque Nacional Juan Bautista Pérez Rancier (Valle Nuevo) se detectó un incendio de magnitud considerable que se extendió desde Azua a Constanza (Molina, 2019).
- 2) 28 de diciembre del 2021:** En el Parque Sierra de Bahoruco se detectó un incendio cuyo inicio tuvo lugar próximo a Loma del Toro. Nicolás Corona, director del Parque Nacional Sierra de Bahoruco afirmó que este siniestro fue uno de los más grandes registrados en los últimos 20 años. (Corday & Méndez, 2022) No está de más mencionar que por múltiples razones, incluyendo intencionales, se desencadenaron una serie de incendios durante los primeros meses del año 2022 que afectaron un total de 59.06 km² según informó el exministro de Medio Ambiente Orlando Jorge Mera a la prensa nacional (De la Rosa, 2022).

Estos incendios tienen ciertos patrones estacionales en términos geográficos y de intensidad. Según datos del (Centro de Operaciones de Emergencia de la República Dominicana (COE), 2015) en el *Plan de contingencia para apoyar la intervención en Incendios* y analizando la data ofrecida por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sobre la cantidad de incendios por mes en diferentes años, podemos afirmar que las épocas de mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales son enero - abril y junio - septiembre, coincidiendo con períodos de menor precipitación y de preparación de tierra para cultivos.

La cantidad de lluvias promedio mensual no sobrepasa los 1,000 mm y la temperatura promedio mensual oscila entre los 20 y 34 °C. Siendo los principales factores que intervienen en la propagación de los incendios forestales, la temperatura, la humedad y el viento.

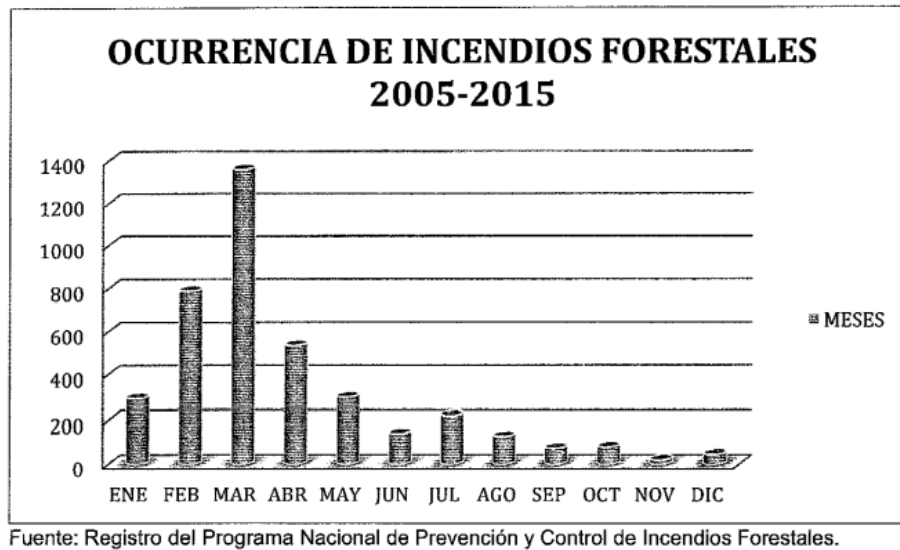


Figura 3. Ocurrencia de incendios forestales patrón mensual 2005-2015 (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al. 2016)

Podemos de igual forma identificar que el lugar geográfico donde tienden a suceder estos incendios son áreas protegidas alrededor de la Cordillera Central, nuestro sistema montañoso más amplio.

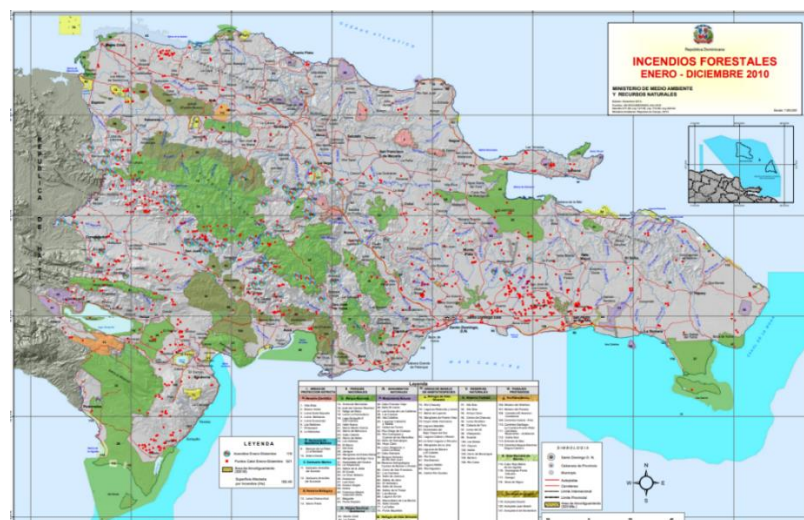


Figura 4. Mapa de puntos de calor e incendios forestales en República Dominicana 2010. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2010)

Según el (Centro de Operaciones de Emergencia de la República Dominicana (COE), 2015), de acuerdo con los registros históricos medioambientales los parques más afectados por incendios son:

- Parque Nacional José del Carmen Ramírez (ubicado en la Cordillera Central)
- Parque Nacional Valle Nuevo (ubicado en la Cordillera Central)
- Parque Nacional Sierra de Bahoruco
- Parque Nacional Armando Bermúdez (ubicado en la Cordillera Central)
- Parque Nacional Los Haitises
- Sierra de Neiba
- Sierra Martín García (ubicado en la Cordillera Central)

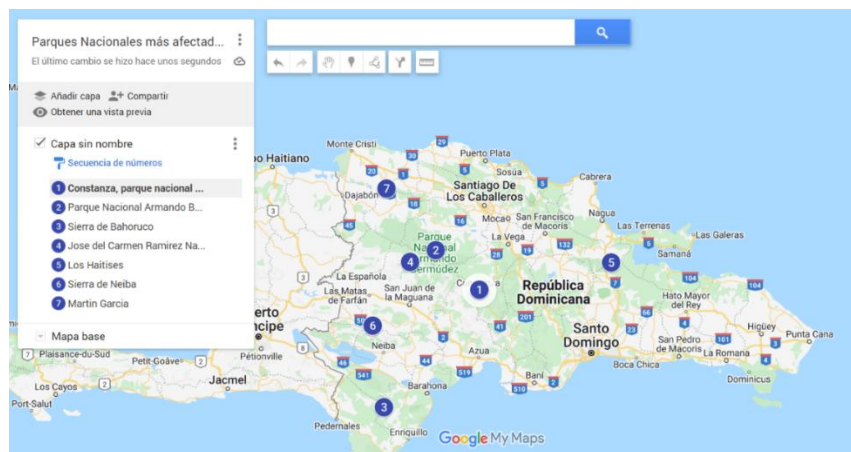


Figura 5. Parques nacionales más afectados por incendios forestales. (Elaboración propia)

Como vemos por la línea de tendencia, los incendios forestales aumentarán cada año más y más, lo que afianza la necesidad de un monitoreo más efectivo para mitigar los riesgos.

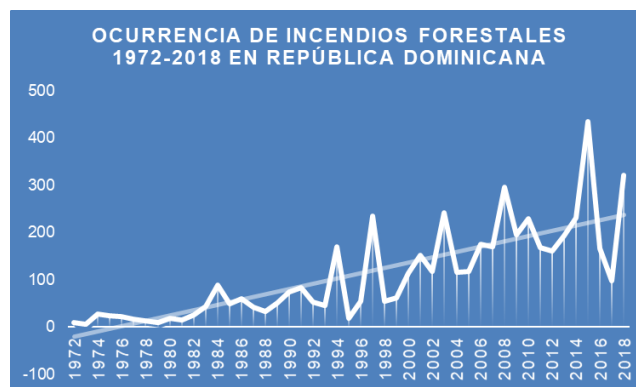


Figura 6. Ocurrencia de incendios forestales anual 1972-2018. (Elaboración propia)

Fuente: Data extraída del documento *Ocurrencias de incendios forestales* (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019)

1.1.3 Tala de árboles

Desde la época colonial se registra la tala de árboles como una de las principales actividades productivas de la isla La Española. Los colonizadores desde sus primeros viajes y establecimientos apreciaron y aprovecharon la gran diversidad de productos forestales (maderas, resinas, gomas, alimentos, fibras, tintas) a lo largo de toda la extensión territorial, en lugares de fácil acceso y la consideraron como un paraíso de riquezas naturales. Sin embargo, la explotación forestal de estos productos desde esa época estableció una práctica incorrecta de uso bajo el principio de “minería”, dejando de lado el aprovechamiento sostenible y racional que lleve a la conservación de los bosques. (Russo, 1991)

Se considera que la reducción masiva de los bosques dominicanos fue provocada por un aumento de los aserraderos que extrajeron maderas preciosas en los bosques latifoliados y de pino durante los años 1930 y 1967. No obstante, hoy en día este tipo de práctica sigue a escala reducida como un factor de pauperización y degradación. (Geilfus 2002; SEMARENA y JICA 2002 citados por Ovalles U. 2011).

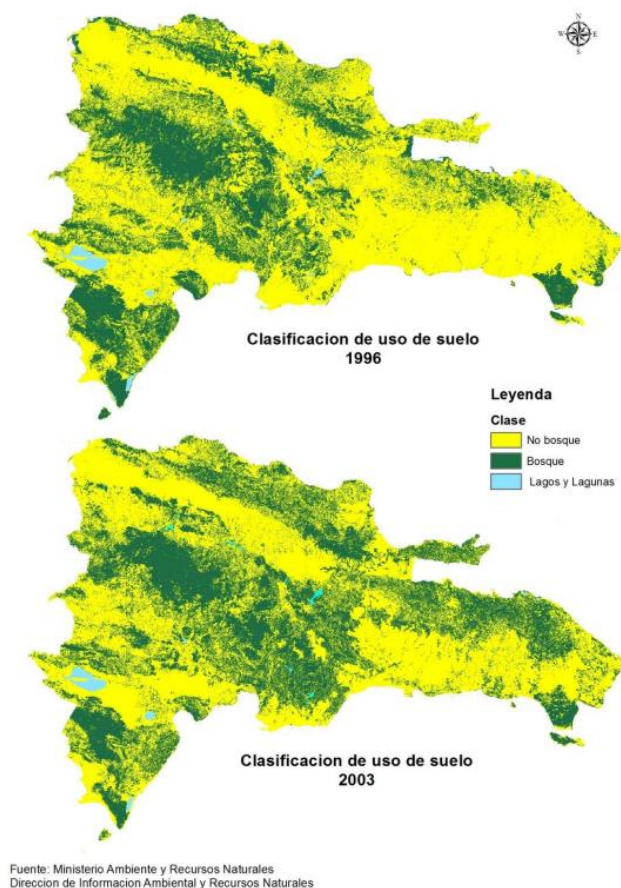


Figura 7. Cambios de cobertura forestal (1996-2003).

En la actualidad, las causas de la degradación y deforestación de los bosques son múltiples y los datos en este sentido son escasos, debido a la falta de estadísticas y de informaciones precisas al respecto.

Según el Informe final titulado *Identificación de las causas de la deforestación y la degradación de los bosques en la República Dominicana* (Ovalles U., 2011)

La expansión histórica de la frontera agrícola ha sido la causante del 55% de las pérdidas de los bosques en la República Dominicana, mientras que la extracción de madera, la producción de leña y carbón y el aprovechamiento de otros productos forestales, representa sólo el 26% de dichas pérdidas.

Las otras causas de mayor importancia en este aspecto son los incendios forestales que han reducido el 7% la cobertura forestal nacional y la construcción y expansión de caminos, carreteras, puertos, ciudades y otras formas de infraestructuras, que totalizan el restante 12% de las causas de la deforestación a nivel nacional. (p. 1)

La utilización de combustibles sólidos además de tener efectos nocivos en la salud es una práctica vigente en los hogares dominicanos, de acuerdo con investigaciones de la (Oficina Nacional de Estadística y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020, p. 9) para el 2018, “aproximadamente un 4.4% y un 2.1% de los hogares en todo el país utilizan leña y carbón para cocinar, respectivamente.”

El estudio asegura que su uso y distribución varía por áreas de desarrollo, y presenta la siguiente gráfica donde se puede observar que la región del Valle es la que presenta cifras más elevadas con un 21.4% y 8.1% en el uso de leña y carbón:

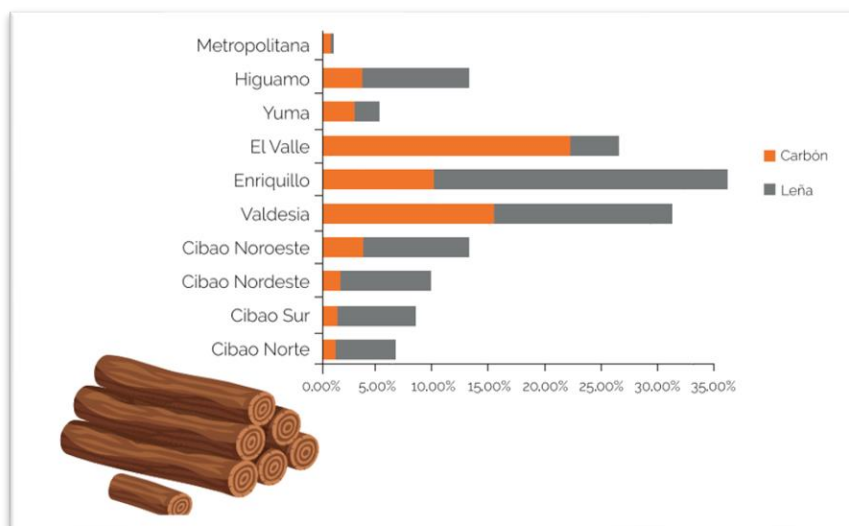


Figura 8. Distribución de los hogares por región, según principal combustible utilizado para cocinar.

Fuente: (Oficina Nacional de Estadística & Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020)

1.1.4 Conuquismo

El conuquismo en áreas protegidas es una actividad primitiva de subsistencia para hacer siembras ilegales a través de la tala de árboles y la quema de estos para la limpieza del terreno. Este es el factor de mayor dominancia entre las causas directas de la deforestación de los recursos forestales de la República Dominicana. En su artículo *El “conuquismo”, una costumbre milenaria* el escritor, antropólogo y arqueólogo (Veloz Maggiolo, 2013) afirmó lo siguiente sobre el tema:

La palabra “conuco” es parte de los vocablos que heredamos de los grupos de lengua arahuaca que hacia el siglo V antes de Cristo penetraron desde el nororiente de Venezuela a las Antillas. El conuco tuvo varias modalidades entre las cuales la tala y quema del bosque, fatal para los ecosistemas actuales, se consideraba la más popular. Varias generaciones de inmigrantes llegados desde la cuenca del río Orinoco a las islas, usaron el sistema.

La agricultura taína usaba de la tala y quema para aprovechar luego riqueza de las cenizas en las plantaciones de yuca, batata y otros tubérculos alimenticios. Se considera esta herencia selvática como un sistema en lugares donde era posible el traslado de las sociedades tribales contribuir con la producción, pero el mismo tenía y tiene un problema fundamental: la quema y tala permite producir durante solo unos años, pues el terreno se lateriza, es decir, se hace cada vez menos productivo, y en el caso de la selva tropical no es tan dañino como en pequeños espacios, que como los de las islas el tamaño de las mismas obligaba a un cambio permanente de lugar, luego de que el mismo se empobreciera y la agricultura se convirtiera en un método negativo incapaz de producir establemente.

Alrededor del 30% de todo el país son tierras cultivadas y el 43% son utilizadas como pastizales. Más del 70% de las pendientes empinadas cultivadas no son adecuadas para el cultivo (Hartshorn et al. 1981, citado por Ovalles U. 2011).

Citando a (Morell 1988 & Rodríguez 2004, Ovalles U. 2011) afirma que el 40% de la producción nacional de maíz, 50% de la producción de frijol y el 75% de la producción de maní vienen de los cultivadores migratorios en sitios marginales.

Del área total de nuestro país, sólo un 13% de la superficie de suelos es de vocación agrícola y un equivalente al 65% es de vocación forestal. En ambos sectores, la pérdida de suelos se manifiesta por el empobrecimiento de estos como resultado de la pérdida de nutrientes orgánicos y minerales arrastrados durante los procesos de erosión. (ABT, 2002)

Según (Sánchez, 2009 como se citó en Ovalles U., 2011) el 16% de los suelos del país están sobre utilizados, es decir, se le ha dado un uso mucho mayor al de su capacidad natural y como consecuencia han sometidos a procesos de degradación o pérdida de las características físicas, químicas y biológicas que determinan sus propiedades. La mayor parte de los suelos sobre utilizados se concentra en zonas de montañas, con fuertes pendientes, y suelos bajo un uso intensivo y sin prácticas de conservación de suelos.

1.1.5 Organismos reguladores

En la República Dominicana, a partir de la puesta en vigencia de la Ley de Medio Ambiente y Recursos Naturales (No. 64-00), se creó lo que hoy en día se conoce como el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Esta ley otorga la función al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de organismo encargado de elaborar, ejecutar y fiscalizar las políticas nacionales sobre medio ambiente y recursos naturales, promoviendo y estimulando las actividades de preservación, protección, restauración y uso sostenible de los mismos.

Dentro de su misión está regir la gestión del medio ambiente, los ecosistemas y los recursos naturales para contribuir al desarrollo sostenible, atribuciones conferidas al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en la Ley 64-00. El organismo cuenta con un presupuesto de RD\$12,135,500,000.00 pesos dominicanos para el año 2022, equivalente a US\$2,090,000,000.00 de dólares.

Algunas de las funciones más importantes que tiene el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana y que están relacionadas con este proyecto de tesis, están:

- Evaluar, dar seguimiento y supervisar el control de los factores de riesgo ambiental y los que puedan incidir en la ocurrencia de desastres naturales.
- Ejecutar directamente o en coordinación con otras instituciones pertinentes, las acciones tendientes a prevenir la emergencia o a impedir la extensión de sus efectos.
- Elaborar y garantizar la correcta aplicación de las normas para la conservación, preservación y manejo de las áreas protegidas y la vida silvestre.
- Estudiar y evaluar el costo económico del deterioro del medio ambiente y de los recursos naturales con el fin de que sean incluidos en los costos operativos y considerados en las cuentas nacionales.

A pesar de tener una definición clara de sus objetivos y contar con un presupuesto, las medidas preventivas y de monitoreo a las Áreas Protegidas y Parques Nacionales que implementa actualmente el Ministerio de Medio Ambiente, son deficientes y no están modernizadas con los paradigmas óptimos y eficientes que las tecnologías de la información y comunicación brindan en la actualidad (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016). Esto especialmente con pilares de la industria 4.0 como la automatización y la inteligencia artificial que nos permiten simplificar líneas de procesos de monitoreo y supervisión sin gastar muchos recursos humanos.

A parte del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales, existen diversas instituciones nacionales que intervienen en el proceso de dar seguimiento al medio ambiente de nuestro país y tomar acciones en favor de este. Algunas de estas son:

- Ministerio de Defensa
- Centro de Operaciones de Emergencia (COE)
- Defensa civil
- Alcaldías
- Cruz roja
- Organizaciones no gubernamentales (ONG)
- Grupos comunitarios
- Asociación de guías ecoturísticos

Como hemos mencionado anteriormente, nuestro país es miembro de diversos organismos internacionales que intervienen activamente en el estudio, protección y defensa del medio ambiente a nivel global. La República Dominicana ha colaborado y se ha comprometido a múltiples acuerdos y tratados que más adelante serán detallados. Dentro de estos organismos y/o programas podemos mencionar a:

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
- Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional (USAID)
- World Resources Institute
- World Wildlife Fund (WWF)
- Greenpeace

1.2 Situación Actual

En la actualidad el Ministerio de Medio Ambiente cuenta con varios mecanismos para la detección de conatos de incendio, tala de árboles y otras amenazas. La principal es la *Línea Verde*, un proyecto desplegado en el año 2017 que consiste en un Centro de Contacto para Atención al Usuario y Recepción de Denuncias. Este centro permite a los ciudadanos dominicanos hacer uso de una línea directa y rápida para denunciar los delitos ambientales, a través de los números 809-539-6400 y 809-200-6400 (desde el interior sin cargos) de 8 a.m. a 7 p.m., 24/7 a través de la página web del Ministerio y/o por cualquiera de las redes sociales identificadas como @Ambienterd en Twitter, Facebook e Instagram. (Del Cid, M., 2017)



Figura 9. Línea Verde (Del Cid, M., 2017)

Para el caso específico de los incendios forestales, cuentan con el programa “*Estrategia Nacional Manejo de Fuego 2016-2025*”, que busca combatir los incendios forestales a través de la reforestación, la educación ambiental y el apoyo de distintas instituciones gubernamentales para la toma de acción rápido ante eventos de este tipo. Otras de las características de esta estrategia son:

- Coordinar y promover el manejo de combustible a través de quemas prescritas.
- Promover la silvicultura preventiva.

- Fortalecer el sistema de comunicaciones para hacer operativo el sistema de detección y monitoreo de incendios.
- Empleo del manual de respuesta combate en los centros de llamada.

Esta estrategia principalmente fortalece el actual Sistema Nacional de Detección y Monitoreo de Incendio y el Programa Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales. Para el 2015, contaba con apenas solo 12 torres de detección ubicadas en puntos estratégicos de las áreas protegidas y otras áreas boscosas del país, con número de 21 brigadas de seis personas cada una (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016). Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., (2016) en la Estrategia Nacional de Manejo de Fuego para República Dominicana, se afirma lo siguiente sobre el Centro Nacional de Detección y Monitoreo de Incendio, el cual fue inaugurado en el año 2011, de acuerdo con (Diario Libre, 2011):

El Centro Nacional de Detección y Monitoreo de Incendio no está en funcionamiento. El mismo carece de recursos humanos calificados, equipos, servicios de internet, energía eléctrica permanente, computadoras, impresoras, plotters, software de georreferenciación. También se requiere una revisión del sistema de agua y servicios sanitarios. Su funcionamiento se limita a operar como sala de reuniones de planificación. (...) Las labores de control de incendios forestales (...) se realizan por las brigadas de Bomberos organizadas a nivel nacional. (p. 26)

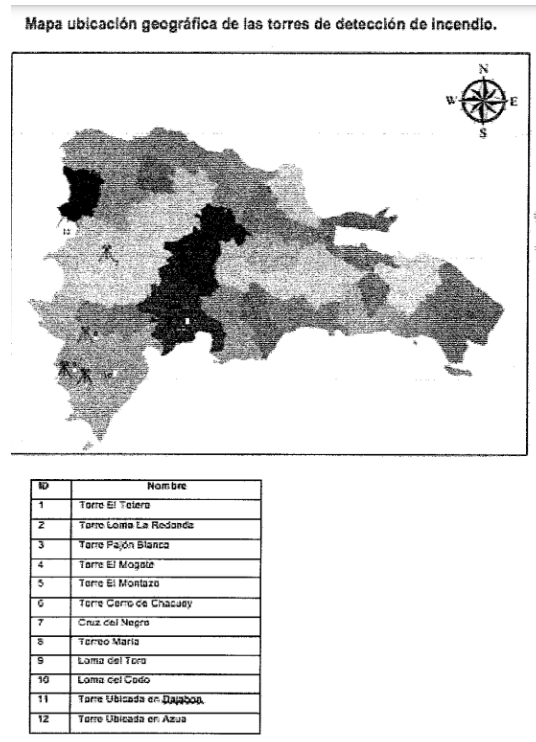


Figura 10. Ubicación geográfica de las torres de detección de incendio. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016)

Como podemos ver evidenciado, actualmente el país no cuenta con ningún sistema automatizado a gran escala para la supervisión de los parques y reservas forestales. Mediante este proyecto se pretende visualizar y monitorear un conjunto de áreas protegidas y recursos naturales importantes del país a través de la instalación de cámaras térmicas e inteligentes para la detección automatizada de actividades de riesgo como incendios, tala de árboles y conuquismo. Todo esto a través de un conjunto de modelos de inteligencia artificial, machine learning y redes neuronales que se encargarán de supervisar simultáneamente y en tiempo real todas las cámaras y alertar a las autoridades pertinentes cuando sea necesario.

1.3 Justificación de la investigación

La realización de este proyecto se justifica por el efecto positivo y el impacto en el manejo del medio ambiente a través de la preservación de los recursos forestales y áreas protegidas como patrimonio de la nación, ya que asiduamente ocurren incendios provocados que amenazan y agreden nuestros recursos naturales, nuestra vida y de futuras generaciones.

Con esta propuesta de crear un sistema de supervisión y acción temprana a través de la inteligencia artificial se pueden detectar y mitigar incendios forestales en etapas iniciales, instancias ilegales de tala de árboles y conuquismo en tiempo real para miles de sectores del país simultáneamente y de forma automática lo que permite que el proceso opere completamente sin intervención humana, menos costoso, más efectivo y operando las 24 horas del día. Este sistema será acompañado con alertas enviadas de forma inmediata a las instituciones de rigor para la toma de acción, afianzando así la modernización del estado dominicano, mejorando el servicio de este a sus recursos naturales y acercando a nuestro país al desarrollo tecnológico de la industria 4.0

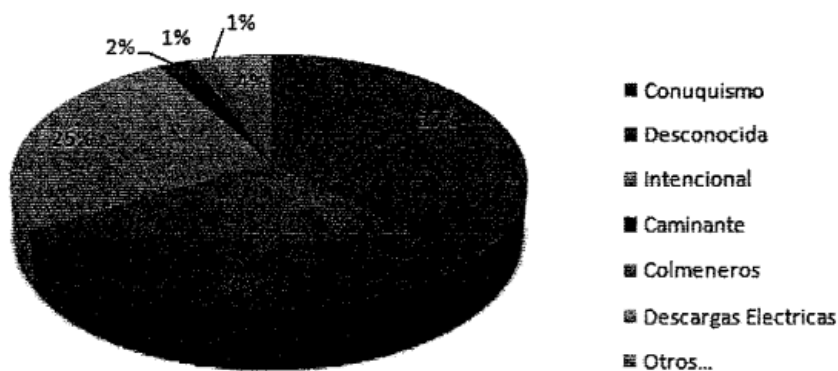
En la fase piloto, escogemos como muestra para hacer este proyecto de tesis el **Parque Valle Nuevo en Constanza** porque es uno de los que en los últimos años ha sufrido más incendios de todos los parques nacionales en la República Dominicana (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016). No optamos por escoger parques metropolitanos debido a que como estos se encuentran en zonas urbanas ofrecen facilidad a la hora de identificar las amenazas trabajadas en este proyecto en comparación con parques en zonas rurales o alejadas de la ciudad. La prioridad es ir a las zonas más aisladas y vulnerables.

Decidimos trabajar **los incendios forestales y la tala de árboles** porque son las amenazas más incidentes que sufren nuestros suelos y la biodiversidad dominicana. El **conuquismo** fue un evento que agregamos por la relación estrecha que tiene con los incendios forestales al igual que la urbanización, pues como se define en la *Estrategia Nacional de Manejo de Fuego*, en el país se estima que la mayoría de los incendios forestales son de origen antrópico, bien sean generados intencionalmente para la ampliación de las áreas agropecuarias o por negligencia, sobre todo en quemas agrícolas (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016). Dentro de sus causas principales están:

- Conuquismo.
- Renovación de pastos.

- Incendios intencionales provocados por conflictos.
- Accidentes (cables eléctricos, soldadores, etc.)
- Descargas eléctricas

Causas de los Incendios Forestales en la República Dominicana



Fuente: Registro del Programa Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales.

Figura 11. Porcentaje de causas de incendios forestales. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2016)

1.4 Importancia e interés del tema

Un país isleño como la República Dominicana que se mantiene dentro de los parámetros establecidos de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), aún necesita herramientas eficaces que le permitan controlar y mitigar los constantes riesgos a los que están expuestas las áreas protegidas y parques nacionales, entre los cuales podemos mencionar: incendios forestales, conuquismo, talas ilegales y excesivas, quemas, etc.

Durante una entrevista al periódico Listín Diario, Gerónimo Abreu, encargado responsable del Programa Nacional de Gestión y Manejo del Fuego en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA) manifestó que algunas de las consecuencias de las amenazas anteriormente mencionadas se encuentran: el cambio que sufren los microclimas, “ya que, el fuego afecta la estructura y textura del suelo debido a que los minerales se rompen”, disminución de los caudales y fuentes hidrográficas, vulnerabilidad y defunción de la fauna, Abreu especificó que “mata a los animales que habitan en esos

lugares quemados y afecta el espacio donde estos habitan, porque emigran o mueren” (Coplin, 2021).

Mediante este proyecto se estima que se mitigará la cantidad de áreas afectadas por incendios que no son sofocados a tiempo, disminuirá el conuquismo, la tala ilegal de árboles y evitará que se tomen acciones tardías a favor de la protección y preservación del medioambiente.

1.5 Limitaciones

Considerando la naturaleza y el ambiente donde la propuesta presentada se desarrollará, dentro de las limitaciones de esta, podemos destacar las siguientes:

- El campo de aplicación inicial planteado se delimitará al Parque Nacional Juan Bautista Pérez Rancier, apodado como "Valle Nuevo".
- El enfoque a nivel de monitoreo, detección y alerta se limitará a las siguientes amenazas: los incendios forestales, la tala ilegal de árboles y el conuquismo.
- La cantidad de estudios y estadísticas actualizadas son bastante limitadas, por lo tanto, muchos datos presentes en esta tesis de investigación se enmarcarán a los ofrecidos por los organismos de autoridad sobre este tema a pesar de esta condición.

1.6 Hipótesis Preliminar

El establecimiento de un sistema asistido por inteligencia artificial y tecnología termográfica para la optimización de los procesos de preservación, monitoreo, protección y detección de riesgos en áreas protegidas y parques nacionales podría ayudar en la labor de mitigación del daño ocasionado por amenazas tales como incendios forestales, tala ilegal de árboles y conuquismo.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

El objetivo principal del presente es diseñar una herramienta basada en el uso de la Inteligencia Artificial y la Tecnología Termográfica en los procesos de gestión, detección, monitoreo y alerta de incendios forestales, tala ilegal de árboles y conuquismo, amenazas que atentan en la preservación de las áreas protegidas por parte de las autoridades responsables.

1.7.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar e implementar un sistema de monitoreo permanente con cámaras térmicas para la mitigación de fuegos forestales en las áreas protegidas.
2. Crear un sistema de inteligencia artificial para la detección tala de árboles y conuquismo en espacios naturales.
3. Desplegar un sistema automático de alertas para avisar a las instituciones pertinentes de incendios desde su etapa inicial, tala ilegal de árboles, y/o conuquismo en áreas protegidas.
4. Facilitar el monitoreo y recolección de data precisa en tiempo real para los organismos encargados de estas zonas.
5. Apoyar la gestión de los diferentes equipos encargados del bienestar de las áreas de alto valor ecológico seleccionadas de la República Dominicana.

1.8 Preguntas de investigación

- ¿Existe una ley sobre áreas protegidas en el país?
- ¿Cuenta nuestro país con un reglamento sobre estrategia de manejo de fuegos a nivel nacional en las áreas protegidas?
- ¿Tienen las principales reservas forestales sistemas de monitoreo en tiempo real de incendios forestales, tala árboles y conuquismo?
- ¿Cuál es el costo de pérdidas causado por los incendios en las áreas protegidas anualmente?
- ¿Cuál es el costo del manejo de equipos, recursos humanos, logísticos, materiales y financieros en la tarea de controlar los incendios?
- ¿Cuáles son las causas comunes de los incendios forestales?
- ¿Estaría el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en capacidad de establecer un sistema de detección de incendios, tala de árboles y conuquismo a través del uso de la inteligencia artificial con monitoreo instantáneo o remoto?
- ¿Se aplican las sanciones reglamentadas a los actores principales en actos de tala y quema de árboles, conuquismo en Áreas Protegidas y Parques Nacionales?

CAPÍTULO II:
Marco Teórico y Estado del Arte

2.0 Introducción al capítulo

Las innovaciones tecnológicas y las disrupciones de los últimos tiempos han impulsado el desarrollo e implementación de soluciones en múltiples áreas del saber. Cada solución evoluciona a partir de lo que se ha construido en el pasado.

En cuanto al uso de Inteligencia Artificial y Termografía para la detección de incendios, tala de árboles y conuquismo, en los siguientes puntos de investigación podemos ver cómo, aunque aplicando diferentes tecnologías, se han destinado esfuerzos para la solución de la misma problemática en diversos países, tanto en occidente como oriente.

2.1 Antecedentes y referencias

Indagar en los antecedentes en cuanto a investigaciones y el uso de la Inteligencia Artificial y la tecnología termográfica para la preservación de la flora y fauna de áreas protegidas y parques nacionales nos quedaríamos cortos. La industria tecnológica es una de las que más rápido se ha desarrollado y más campos de aplicación conlleva. No obstante, algunas referencias que deben ser resaltadas son las siguientes:

- **Sistema de Detección de Incendios en Zonas Forestales a través de redes sensoriales usando hardware y software libre:** Este fue un proyecto presentado a la Universidad Técnica de Ambato, donde se entregó un prototipo para evitar, controlar y detectar incendios en áreas forestales utilizando redes de sensores inalámbricas, hardware y software libre. Su propósito principal se concentraba en la construcción de prototipo y la interfaz para la gestión de información recolectada por el mismo. Su metodología se basó en investigación bibliográfica e investigación de campo. El estudio concluyó que las tecnologías más adecuadas para su uso fueron: ZigBee, tramas hexadecimales de datos, el protocolo SMTP y MySQL. Entre sus recomendaciones destacaremos que instaron a ampliar la investigación en cuanto a las tecnologías inalámbricas, puesto a que ofrecen muchos beneficios en torno a ahorro de energía y rango de cobertura con respecto a otras coberturas. (López Flores, 2018)
- **Diseño y Simulación de un Prototipo para la Localización de Incendios Forestales utilizando Tecnologías Inalámbricas basado en IoT:** Este proyecto fue presentado por (Antezano, Gorvenia & Sánchez, Rojas 2019) para la Universidad Tecnológica de Perú con el objetivo principal de desarrollar un prototipo a través de tecnología IoT para localizar incendios forestales en Apurímac, región peruana. La

modalidad investigativa de ese trabajo fue cuantitativa-descriptiva, consecuencia de usar instrumentos de medición para generación de datos. Sus conclusiones y recomendaciones hacen hincapié en la importancia de la tecnología LPWAN para el desarrollo del prototipo, en el estudio de la zona a cubrir antes de la implementación y en el mantenimiento del prototipo en un escenario real.

- **Estación meteorológica en la montaña chilena Tupungato:** Esta fue una expedición organizada por el National Geographic Society con el objetivo de instalar una estación meteorológica que ayude a los científicos a comprender la sequía histórica que no muestra señales de mitigación. Ubicada en Tupungato, un volcán inactivo en el sur de los Andes, esta estación es la más alta de los hemisferios meridional y occidental, a unos 5,800 metro sobre el nivel del mar y cuenta con paneles solares, una antena para la comunicación por satélite y sensores de temperatura a casi un metro de profundidad en el permafrost de la cima y, medirá la radiación, la profundidad de la nieve y la reflectividad. (Gibbens, 2021)

2.1.1 Aplicaciones Similares

Una de las aplicaciones parecidas a nuestra propuesta es el uso de “*green bots*” o sensores inteligentes basado en IoT, para la gestión sostenible de los bosques en la República de la India. XXX en su artículo *Modern Technology for Sustainable Forest Management in india* detalla esta solución comentando lo siguientes puntos:

Los bots verdes pueden ayudar a monitorear la salud y el crecimiento de los árboles, contribuyendo a la conservación y preservación de los bosques, la flora y la fauna; proporcionar información que pueda ayudar a prevenir incendios forestales y otras catástrofes; y crear bases de datos que puedan ayudar en la reforestación rápida. Una vez que los bots verdes comienzan a dar resultados, incluso pueden utilizarse para aumentar la cubierta verde fuera de los bosques, ya que la cubierta forestal existente no puede cumplir con los objetivos actuales de secuestro de carbono del país. Los datos capturados por los bots verdes pueden ayudar a crear un inventario forestal en tiempo real, que luego puede informar todas las actividades de forestación que se llevan a cabo en el país. Los bosques indios poseen ciertas amenazas internas únicas, y los bots verdes pueden ser vitales para mapearlas. Al desarrollar un mecanismo más

robusto, los bots verdes también se pueden programar para alertar a los funcionarios sobre los conflictos hombre-animal en los bosques, que se han vuelto más frecuentes en los últimos años. Otra función potencial del robot verde podría ser salvar los productos agrícolas cerca o dentro de los bosques de los animales. Esto ayudará a India a cumplir y medir los objetivos nacionales e internacionales, como las INDC, así como a garantizar la gestión sostenible de los recursos naturales. Los bots verdes pueden ser fundamentales para la formulación de una política y planificación local y nacional bien informada. Los países en desarrollo enfrentan muchos desafíos para obtener y utilizar información básica sobre los bosques. Por lo tanto, la información sobre el área forestal diaria, la evaluación del área quemada y el monitoreo de la invasión forestal pueden permitir una mayor capacidad de respuesta y toma de decisiones para los responsables del manejo de los bosques y los recursos naturales. Si bien la teledetección también puede mapear la cubierta forestal general y las áreas de deforestación, se ha demostrado que los bots verdes producen mejores resultados. Finalmente, al identificar áreas clave de forestación y promover actividades de forestación, los bots verdes pueden eventualmente mejorar la conectividad de los bosques, mejorando la biodiversidad y expandiendo los hábitats para las especies autóctonas.

El proyecto con mayor similitud al nuestro es el *prototipo de un sistema de monitoreo para detección de incendios en áreas protegidas del departamento de Santander con la generación de alertas en tiempo real por medio de drones*, creado por (Olarte Camargo & Chacón Castro, 2019). Su propuesta incluía captura de imágenes por medio de drones, rastreo y ubicación a través de drones vía GPS, creación de rutas de monitoreo, clasificación de imágenes por medio de redes neuronales convolucionales, generación de alertas en tiempo real y visualización de alertas en la plataforma web propia. La solución tecnológica fue probada en un entorno real controlado, mostrando una efectividad en la precisión en la matriz de la red neural convolucional de un 92% en sus tres modalidades por detectar (incendio día, incendio noche y no incendio).

2.2 Base Teórica

2.2.1 Inteligencia Artificial

El padre de la Inteligencia Artificial (McCarthy, 2007) en un artículo titulado *¿Qué es Inteligencia Artificial?* define este término como “la ciencia e ingeniería de fabricar máquinas inteligentes, especialmente programas informáticos inteligentes. Está relacionado con la tarea similar de utilizar computadoras para comprender la inteligencia humana, pero la IA no tiene que limitarse a métodos que sean biológicamente observables.” Citando a (Russell & Norvig, 2003, el Dr. Singh Grewal, D., 2014, p. 4) en su artículo *A Critical Conceptual Analysis of Definitions of Artificial Intelligence as Applicable to Computer Engineering*, podemos afirmar que “los problemas centrales de la IA incluyen características como el razonamiento, el conocimiento, la planificación, el aprendizaje, la comunicación, percepción y la capacidad de mover y manipular objetos”.

2.2.2 Machine Learning

Según (Thomas W. Edgar & David O. Manz, 2017) podemos definir este concepto de afirmando lo siguiente:

El Machine Learning o Aprendizaje Automático es un campo de estudio que analiza el uso de algoritmos computacionales para convertir datos empíricos en modelos utilizables. El campo del aprendizaje automático surgió de las estadísticas tradicionales y las comunidades de inteligencia artificial. Gracias a los esfuerzos de megacorporaciones como Google, Microsoft, Facebook, Amazon, etc., el aprendizaje automático se ha convertido en uno de los temas de ciencia computacional más candentes de la última década. A través de sus procesos comerciales, se han recopilado y se recopilarán inmensas cantidades de datos. Esto ha brindado la oportunidad de revitalizar los enfoques estadísticos y computacionales para autogenerar modelos útiles a partir de datos.

2.2.3 Termografía

En su artículo de investigación titulado *A Study on Thermography*, (Bhowmik & Sen, 2016) definen y detallan lo que es la termografía con las siguientes palabras:

La termografía es el estudio de la captura de imágenes térmicas o imágenes infrarrojas. De acuerdo con la ley de radiación de cuerpo negro, cualquier materia con una temperatura superior al cero absoluto emite radiación infrarroja. Una cámara termográfica puede detectar las radiaciones infrarrojas de las materias. A medida que aumenta la temperatura de la superficie de un objeto, también aumenta la radiación térmica y, por lo tanto, la radiación infrarroja. Por lo tanto, en una imagen térmica, los gusanos o los objetos calientes son visualmente más prominentes que los más fríos. También es posible obtener mediciones de temperatura de las superficies de los objetos en una imagen térmica. Diferentes colores en la imagen pueden significar diferentes temperaturas. Principalmente las áreas oscuras son más frías y las áreas brillantes son más calientes. Un término convencional para esto es imagen térmica infrarroja digital (DITI). (p. 1)

2.2.4 Criterios de protección y clasificación de áreas protegidas

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), como indican (Borsdorf y Moreira Muñoz 2014) en su estudio titulado *El modelo de Reservas de la Biosfera: conceptos, características e importancia*, contamos con las siguientes clasificaciones:

- **(Ia) Reserva natural estricta:** conservación de ecosistemas en un estado natural inalterado.
- **(Ib) - Área de vida salvaje:** resguardo a largo plazo del medio ambiente, experiencia espiritual y física de la naturaleza en su estado original.
- **(II) - Parque Nacional:** preservación del paisaje natural original, establecimiento de una oferta educativa y de recreación, consideración de las necesidades de la población local.
- **(III) - Monumento Natural:** protección permanente de fenómenos naturales excepcionales.
- **(IV) - Área de gestión de hábitat / especies:** preservación o producción de condiciones de vida para biotopos y biodiversidad, investigación y monitoreo del medio ambiente.
- **(V) - Paisajes protegidos:** promoción de estilos de vida y sistemas económicos en armonía con la naturaleza, preservando el tejido social y cultural, ofertas de turismo y recreación, economía sustentable, protección del bienestar de la población.
- **(VI) - Área protegida de recursos gestionados:** protección duradera de la biodiversidad, resguardo de los recursos naturales ante usos perjudiciales. Fomento de actividades económicas adecuadas.

Otras categorías internacionales existentes, aunque poco comunes son:

- **Sitios Ramsar:** protección y uso sustentable de humedales.
- **Patrimonio de la Humanidad:** protección de paisajes naturales y culturales de alto valor de la decadencia y deterioro.
- **Parque por la paz:** protección de la naturaleza y de la población a través de la disminución de la violencia.

(Borsdorf & Moreira Muñoz, 2014, p. 7, tabla 1.1)

2.3 Base Legal

La carta magna de la República Dominicana en su artículo IV, artículos 14 – 17, sostiene la base de la política y posición del país en torno a sus recursos naturales, áreas protegidas y el aprovechamiento de estos.

Además, contamos con la Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ley 64-00), a través de la cual establece las normas y declara interés nacional la conservación, protección, mejoramiento y restauración del medioambiente y los recursos naturales y los bienes que confirman el patrimonio natural y cultural, asegurando su uso sostenible. Siendo sus objetivos particulares los siguientes:

- 1) La prevención, regulación y control de cualquiera de las causas o actividades que causen deterioro del medio ambiente, contaminación de los ecosistemas y la degradación, alteración y destrucción del patrimonio natural y cultural;
- 2) Establecer los medios, formas y oportunidades para la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, reconociendo su valor real, que incluye los servicios ambientales que éstos brindan, dentro de una planificación nacional fundamentada en el desarrollo sostenible, con equidad y justicia social;
- 3) La utilización correcta del espacio físico a través de un ordenamiento territorial que considere los recursos naturales y culturales como base para la existencia y el desarrollo de las actividades humanas;
- 4) Fortalecer el Sistema Nacional de Áreas Protegidas para garantizar la diversidad biológica y paisajística;
- 5) Garantizar el manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos, asegurando de esta manera la sostenibilidad de estos;
- 6) Fomentar y estimular la educación ambiental como medio para promover una sociedad en armonía con la naturaleza;
- 7) Propiciar un medio ambiente sano que contribuya al sostenimiento de la salud y prevención de las enfermedades;
- 8) Impulsar e incentivar acciones que tiendan al desarrollo y cumplimiento de la presente ley.

(Ley General Sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2000, p. 15)

En el año 2004, se promulgó por igual la Ley Sectorial de Áreas Protegidas No. 202-04, cuyo objetivo principal es:

Garantizar la conservación y preservación de muestras representativas de los diferentes ecosistemas y del patrimonio natural y cultural de la República Dominicana para asegurar la permanencia y optimización de los servicios ambientales y económicos que estos ecosistemas ofrecen o puedan ofrecer a la sociedad dominicana en la presente y futuras generaciones. (Ley No 202-04. Ley Sectorial de Áreas Protegidas, Santo Domingo, República Dominicana, 30 de julio de 2004).

2.3.1 Convenios y acuerdos Internacionales medioambientales (2000-2017)

Existen diversos organismos internacionales cuya misión se centra en la protección y el cuidado del medio ambiente. A lo largo de la historia han unido a todos sus países miembros en estrategias y acciones en común para lograr este objetivo, y se ha hecho a través de tratados, convenios, agendas, convenciones y tratados internacionales.

La siguiente figura obtenida del *Boletín de Estadísticas Ambientales* publicado (Oficina Nacional de Estadística y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020) detalla los convenios y acuerdos internacionales asumidos por nuestro país en el rango temporal enmarcado:

| Convenio | Años | Descripción |
|--|------|--|
| Convenio de Basilea | 2000 | Regula el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos para proteger la salud humana y el ambiente. |
| Protocolo de Kyoto | 2002 | Es una Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que tiene objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre). |
| Convención de Ramsar | 2002 | Es un acuerdo internacional que promueve la conservación y el uso racional de los humedales. Es el único tratado mundial que se centra en un único ecosistema. |
| Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura | 2002 | Este tratado tiene como objetivo la conservación y la utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización en armonía con el Convenio sobre la Diversidad Biológica. |
| Convención de Rotterdam | 2006 | Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. |
| Convención de Estocolmo | 2007 | El Convenio de Estocolmo protege la salud humana y el medio ambiente de los contaminantes orgánicos persistentes (COP). |
| Marco del SENDAI | 2015 | Expresa la necesidad de comprender mejor el riesgo de desastres en todas sus dimensiones relativas a la exposición, la vulnerabilidad y características de las amenazas; el fortalecimiento de la gobernanza del riesgo de desastres, incluidas las plataformas nacionales. |
| Agenda 2030 | 2015 | Constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años. |
| Convención sobre Especie Migratoria | 2017 | Reconoce la importancia de la conservación de las especies migratorias y de las medidas a convenir para este fin por los Estados del área, siempre que sea posible y apropiado, concediendo particular atención a las especies migratorias cuyo estado de conservación sea desfavorable y fiel conservación de tales especies y de su hábitat. |
| Acuerdo de París | 2017 | Acuerdo dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto. |

Figura 12. *Convenios y acuerdos internacionales asumidos por el país 2000-2017 (Oficina Nacional de Estadística & Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020)*

CAPÍTULO III:
Marco Metodológico

3.0 Introducción al capítulo

Luego del contexto histórico, cuantitativo y descriptivo del problema y solución en cuestión, en los siguientes puntos correspondientes al capítulo presente, veremos el tipo de investigación, método, delimitación, fuentes de investigación, así también como las técnicas de procesamiento y análisis de datos de este proyecto. Definiremos nuestro alcance y metodología a implementar para la recolección, análisis y procesamiento que nos guiará en todo el proceso.

3.1 Tipo de investigación

De acuerdo con el problema planteado, y en función de sus objetivos, se lleva a cabo una investigación cualitativa (de campo y documental) descriptiva no experimental, según la cual se utilizan como medios para obtener los datos tanto archivos, revistas, libros como entrevistas, cuestionarios y visitas al objeto; a la vez se observan los hechos tal como se manifiestan en su ambiente natural sin manipular las variables.

3.2 Método

Partiendo de las necesidades reales dentro del complejo marco de gestión y prevención de incidentes y prácticas ilegales en las áreas protegidas, es de vital importancia obtener datos descriptivos de las manos de las respectivas autoridades dominicanas y científicos del área quienes son los que en primera fila hacen frente a cada una de las problemáticas a tratar. Confiamos en que será de mucho provecho para los objetivos de esta investigación, y podrá ofrecer claridad y objetividad a la hora de diseñar e implementar nuestro prototipo.

3.3 Investigación Preliminar

Siendo nuestra investigación cualitativa (de campo y documental) descriptiva no experimental, organizaremos la misma en dos fases, teniendo como primera fase la documental, debido a la necesidad de obtener contexto de la problemática en nuestro país y cuáles son las soluciones que se ofrecen ahora mismo en el mercado para abordar esta cuestión.

En nuestra segunda fase, obtendremos datos directamente en campo, estudiaremos las características del Parque Valle Nuevo más a fondo y realizaremos entrevistas a las autoridades ambientalistas con el objetivo de profundizar y validar la factibilidad y probabilidad de realización de nuestro prototipo. Buscaremos confirmación en los datos disponibles en la primera fase en torno a las alternativas de solución actualmente aplicadas a estas problemáticas que busca solucionar nuestro prototipo.

3.4 Delimitación del problema

Por la gran diversidad de parques y áreas protegidas que existen en el país, es imposible en un trabajo de tesis de grado abordarlas en su totalidad, por la diversidad, complejidad, su valor científico y su ubicación, dentro de los cuales se necesitan muchos recursos humanos, económicos, materiales y logística. A la hora de arrojar resultados útiles en la solución de problemas tan complejos, se necesita un mayor tiempo en la investigación de campo.

En este trabajo estaremos abarcando uno de los parques nacionales más importantes, con que cuenta la República Dominicana, Parque Nacional Valle Nuevo en Constanza. Se hará un levantamiento de sitio en el parque a investigar, los eventos que se producen en ellos, la frecuencia con que se producen, los lugares más afectados y la cantidad de hectáreas que se necesita supervisar con inteligencia artificial.

Hemos observado que los parques nacionales tienen una extensión muy amplia que dificulta el acceso de personas a pies o a los guardianes forestales, también a los campesinos se les hace difícil subir las lomas y lugares. Se sabe que a los carros de bomberos se les dificulta el acceso por la falta de senderos seguro para su tránsito. El país dispone de limitados equipos de navegación aérea, como helicópteros y drones. Este trabajo se realizará en uno de los parques que permite la instalación de cámaras inteligentes y térmicas conectadas con un software a los equipos o hardware ubicado en la base de controles de los movimientos y acciones dentro de los parques, que de manera simultánea captará y enviará las imágenes a los equipos para alertar sobre los intrusos y la ocurrencia de incendios ya sean provocados por fenómenos naturales o por personal malicioso para hacer daños. Estas cámaras pueden tener un alcance hasta de 52 km^2 , lo que permite lograr el control de grandes distancias y con costos bajos de operación. Además en estas estaciones añadiremos pararrayos con el objetivo de contrarrestar los incendios por descargas eléctricas.

3.4.1 Área geográfica

El área geográfica delimitada para la primera etapa de este proyecto será el Parque Nacional Juan Bautista Pérez Rancier, o mejor conocido como "Valle Nuevo". Siendo esto con el objetivo de simplificar los procesos de investigación, recolección y análisis de datos, y su posterior implementación.

3.4.2 Tiempo

El marco temporal planteado para la presente investigación será de cuatro meses, siendo esta la duración total de la materia de proyecto de grado.

3.4.3 Población y muestra

La población tomada en cuenta para nuestro estudio se limita a los expertos en el tema como docentes y empleados del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y las autoridades de socorro en campo. Por motivos de factibilidad, la muestra preliminar en esta fase piloto será reducida a la siguiente:

- Ambientalista y catedrático universitario (muestra de 1 persona)
- Guardaparque forestal – Parque Valle Nuevo (muestra de 1 persona)
- Gerente de Programa Nacional de Gestión y Manejo del Fuego en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA) - (muestra de 1 persona)

3.4.4 Técnicas e Instrumentos

Se realizarán entrevistas en campo a las autoridades y técnicos responsables del manejo de incidentes forestales en la República Dominicana. Nos dirigiremos al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y al Parque Valle Nuevo para asegurar la precisión y veracidad de los datos suministrados.

3.4.5 Técnica de procesamiento de análisis de datos

Realizamos un análisis cualitativo a la información que obtenemos de las entrevistas. Identificando las posibles respuestas a las preguntas de investigación que planteamos y otras preguntas relacionadas al “por qué” o “cómo”. El objetivo de emplear esta técnica es poder contrastar las opiniones de cada entrevistado bajo un parámetro pivote y poder obtener una conclusión con un argumento lógico.

3.4.6 Fuentes de datos

Para la recolección de datos en esta investigación preliminar, utilizaremos principalmente libros, artículos y revistas de investigación web y las entrevistas. Esto se debe a que, estas fuentes contienen la mayor cantidad de datos de utilidad para el presente.

CAPÍTULO IV

Plan de mercadeo y Análisis del entorno

4.0 Introducción

En el proceso de elaborar cualquier proyecto es sumamente necesario plantear un profundo análisis del mercado y entorno de desarrollo, en conjunto con un presupuesto y un análisis del retorno de inversión, en las siguientes páginas de este capítulo se estarán desglosando estos puntos de interés.

4.1 Benchmarking

Tabla 3.

Benchmarking. (Elaboración propia)

| BENCHMARK | NUESTRO PROYECTO | WATCHMAN BY GREKKOM TECHNOLOGIES | FIRECATCH BY ACOTSYSTEM | RFCX APP BY RAINFOREST CONNECTION |
|---|---|--|-------------------------------|---|
| Detecta incendios | Sí | Sí | Sí | No |
| Detecta tala de árboles | Sí | No | No | Sí |
| Detecta objetos y presencia humana | Sí | No | No | No |
| Captura información meteorológica | Sí | No | No | No |
| Precisión y detalle | Hasta 35 km^2 de detección humana y 52 km^2 de detección de vehículos | Detecta fuego de 1 x 1mts a 5 km de distancia. | | 2/3 de una milla de distancia o aprox. 1 km |
| Alcance | 50 mil hectáreas | 8 mil hectáreas por estación | 15 mil hectáreas por estación | 300 hectáreas |
| Tasa mínima de falsos positivos | 3% | 5% | | |

Continuación

| | | | | |
|---|---|--------------------------|--|------------------------------------|
| Sensores | Cámara óptico-térmica, pluviómetro, anemómetro, piranómetro, sensor de dirección del viento, sensor de humedad y temperatura | Cámara óptica. | Cámara térmica, cámara óptica. | Micrófono |
| Tipo de data básica captada | Micrófono. Imágenes ópticas e imágenes térmicas, sonido y telemetría meteorológica. Sonido. | Imágenes ópticas. | Imágenes ópticas e imágenes térmicas. | Sonido. |
| Tipo de estación | Torres en tierra. | Torres en tierra. | Estación satelital y torres en tierra. | Estaciones en árboles. |
| Duración de escaneo por estación | 1 minuto | 0 minutos | 3:30 minutos | 0 minutos |
| Alertas automáticas | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Muestra de resultados | Dashboard Power BI web | Aplicación de escritorio | Aplicación móvil y web. | Integración dependiendo de sistema |

Continuación

| | | | | |
|--|--|------------|--|--|
| Sistema operativo | No requiere, el dashboard es web. | Windows | No requiere, la aplicación es web, y es aceptada tanto en Android como iOS | A elección del usuario. |
| Integración con geolocalización | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Fuente eléctrica | Celdas fotovoltaicas (paneles solares) | Línea fija | Celdas fotovoltaicas (paneles solares) | Celdas fotovoltaicas (paneles solares) |
| Tipo de conexión | Internet satelital | LAN | Internet satelital, móvil, WLAN o LAN | Internet móvil/satelital |
| Automejora con Machine Learning | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Se integra con otros sistemas | Sí | No | Sí | Sí |
| Detección basada en IA | Sí | Sí | Sí | Sí |

4.2 Mecanismo para poblar información al sistema

El sistema se poblará de información automáticamente a medida que pasa el tiempo por los videos y audios que capta cada estación, y no se necesitará intervención humana directa para el poblado de data del sistema.

Este sistema lo supervisarán y le darán seguimiento los técnicos del equipo de Manejo de Incendios Forestales del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con el objetivo de validar su funcionamiento eventualmente.

4.3 Modelo de negocio (Método Canvas)



Figura 13. Modelo de negocio. (Elaboración propia)

4.4 Presupuesto

Tabla 4. Presupuesto. (Elaboración propia)

PRESUPUESTO

Moneda: USD\$ (dólares americanos)

| Cantidad | Unidad | Descripción | Precio por unidad | Monto |
|-------------------------|----------|---|-------------------|------------|
| Recursos humanos | | | | |
| 2 | unidades | Técnico en IOT / Técnico en electrónica / Técnico en electricidad | \$15,00 | |
| 60 | horas | Instalación y configuración de estaciones de monitoreo | \$15,00 | \$1.800,00 |

Continuación

| | | | | |
|-----------|--------|---|---------|------------|
| 19 | horas | Pruebas de funcionamiento | | \$570,00 |
| 20 | horas | Traslado a las coordenadas específicas de instalación | | \$600,00 |
| 1 | unidad | Líder técnico IoT | \$18,00 | |
| 79 | horas | Seguimiento de instalación de estaciones | \$15,00 | \$1.422,00 |
| 20 | horas | Pruebas de funcionamiento | | \$360,00 |
| 1 | unidad | Supervisor del proyecto (Ingeniero en ciencias computacionales / Ingeniero industrial) | \$30,00 | |
| 70 | horas | Evaluación descriptiva del parque y recopilación de puntos de interés para las estaciones | \$30,00 | \$2.100,00 |
| 53 | horas | Supervisión en instalación y configuración de estaciones de monitoreo | \$30,00 | \$1.590,00 |
| 1 | unidad | Especialista en IA (Inteligencia Artificial) | \$40,00 | |
| 10 | horas | Selección de características y etiquetado de datos | \$40,00 | \$400,00 |
| 10 | horas | Entrenamiento de modelos de reconocimiento de escenas | \$40,00 | \$400,00 |
| 22 | horas | Entrenamiento de modelos de reconocimiento de audio | \$40,00 | \$880,00 |
| 1 | unidad | Especialista en BI (Business Intelligence) | \$40,00 | |
| 20 | horas | Limpieza y preprocesamiento de data para el entrenamiento de los modelos | \$40,00 | \$800,00 |
| 24 | horas | Desarrollo de dashboard | \$40,00 | \$960,00 |
| 16 | horas | Programación de alarmas | \$40,00 | \$640,00 |
| 1 | unidad | Gestor del proyecto (Ingeniero en ciencias computacionales) | \$30,00 | |

| <i>Continuación</i> | | | | |
|---|----------|--|---------|-------------|
| | | | | \$420,00 |
| 14 | horas | Seguimiento y redacción de informes | \$30,00 | |
| 10 | horas | Planificación de tareas, requerimientos e historias de usuario | \$30,00 | \$300,00 |
| 1 | unidad | Chofer | \$15,00 | |
| 87 | horas | Transporte de personal, equipos y herramientas | \$15,00 | \$1.305,00 |
| 1 | unidad | QA (Ingeniero en ciencias computacionales) | \$20,00 | |
| 45 | horas | Aseguramiento de la calidad | \$20,00 | \$900,00 |
| 2 | unidades | Programador (Ingeniero en ciencias computacionales) | \$35,00 | |
| 15 | horas | Diseño y desarrollo de base de datos | \$35,00 | \$1.050,00 |
| 20 | horas | Diseño y creación de Storage Account en ambiente Cloud | \$35,00 | \$1.400,00 |
| 16 | horas | Diseño y creación de Data Factory para migrado de data | \$35,00 | \$1.120,00 |
| 24 | horas | Desarrollo componente de software de procesamiento | \$35,00 | \$1.680,00 |
| 24 | horas | Despliegue de componente en ambiente Cloud | \$35,00 | \$1.680,00 |
| 16 | horas | Integración con sistema del cliente | \$35,00 | \$1.120,00 |
| 10 | horas | Capacitación del Personal de TI del Ministerio de Medio Ambientes y Recursos Naturales | \$35,00 | \$700,00 |
| 1 | unidad | Líder de equipo de desarrollo | \$30,00 | |
| 50 | horas | Seguimiento y redacción de informes | \$30,00 | \$1.500,00 |
| 50 | horas | Actividades de desarrollo | \$30,00 | \$1.500,00 |
| <i>Total costo por recursos humanos</i> | | | | \$27.197,00 |

Equipos

| <i>Continuación</i> | | | | |
|--------------------------------|----------|---------------------------------|------------|---------------------|
| 10 | unidades | Cámara térmica-ópticas | \$4.500,00 | \$45.000,00 |
| 10 | horas | Pedestal | \$250,00 | \$2.500,00 |
| 20 | unidades | Panel solar | \$1.000,00 | \$20.000,00 |
| 10 | unidades | Kit Starlink | \$800,00 | \$8.000,00 |
| 10 | unidades | Anemómetro | \$70,00 | \$700,00 |
| 10 | unidades | Piranómetro | \$66,00 | \$660,00 |
| 10 | unidades | Sensor de dirección de viento | \$65,00 | \$650,00 |
| 10 | unidades | Raspberry Pi | \$20,00 | \$200,00 |
| 10 | unidades | Inversor solar | \$519,00 | \$5.190,00 |
| 10 | unidades | Cable de cobre (2A) | \$3,00 | \$30,00 |
| 10 | unidades | Cable RJ45 | \$0,22 | \$2,20 |
| 10 | unidades | Sensor de pluviometría | \$70,00 | \$700,00 |
| 10 | unidades | Sensor de humedad y temperatura | \$50,00 | \$500,00 |
| 70 | galones | Gasolina Premium - Transporte | \$4,00 | \$280,00 |
| 10 | unidades | Micrófono | \$150,00 | \$1.500,00 |
| <i>Total costo por equipos</i> | | | | \$85.912,20 |
| TOTAL | | | | \$113.109,20 |

Tabla 5. Gastos recurrentes (Elaboración propia)

GASTOS RECURRENTE

Moneda: USD\$ (dólares americanos)

| Cantidad | Unidad | Descripción | Precio por unidad | Monto |
|-----------------|---------------|--|--------------------------|--------------|
| 1 | unidad | Licencia por uso de modelos de inteligencia artificial | \$50,00 | \$50,00 |
| 1 | unidad | Licencia mensual Power BI | \$20,00 | \$20,00 |
| 1 | unidad | Servicio de internet satelital | \$150,00 | \$150,00 |
| 1 | unidad | Azure Functions | \$145,93 | \$145,93 |
| 1 | unidad | App Service | \$54,75 | \$54,75 |
| 1 | unidad | Azure SQL Database | \$588,75 | \$588,75 |
| 1 | unidad | Azure Machine Learning | \$167,17 | \$167,17 |
| 1 | unidad | Azure Stream Analytics | \$81,30 | \$81,30 |
| 1 | unidad | Azure IoT Hub | \$2.500,00 | \$2.500,00 |
| 1 | unidad | Azure IoT Edge | \$- | \$- |

Continuación

| | | | | |
|--------------------|--------|---------------------------------|------------|--------------------|
| 1 | unidad | Azure IoT Central | \$38,42 | \$38,42 |
| 1 | unidad | Azure Cognitive Services | \$7.327,00 | \$7.327,00 |
| 1 | unidad | Key Vault | \$768,00 | \$768,00 |
| 16 | horas | Soporte técnico / Mesa de ayuda | \$15,00 | \$240,00 |
| 40 | horas | Reentrenamiento de modelos | \$40,00 | \$1.600,00 |
| 22 | horas | Mantenimiento de estaciones | \$20,00 | \$440,00 |
| | | Total por gastos recurrentes | | \$15.011,32 |
| Imprevistos | | | | |
| | | Imprevistos | \$1.000,00 | \$1.000,00 |
| | | Total por gastos imprevistos | | \$1.000,00 |
| TOTAL | | | | \$16.011,32 |

| Microsoft Azure Estimate | | | | | | |
|--|--------------------------|-------------|-------------------|--|------------------------|------------------------|
| Your Estimate | | | | | | |
| Service category | Service type | Custom name | Region | Description | Estimated monthly cost | Estimated upfront cost |
| Compute | Azure Functions | | East US 2 | Premium tier, EP1: 1 Cores(s), 3.5 GB RAM, 250 GB Storage, 1 Pre-warmed instances, 0 Additional scaled out units | \$145.93 | \$0.00 |
| Compute | App Service | | East US 2 | Basic Tier, 1 B1 (1 Core(s), 1.75 GB RAM, 10 GB Storage) x 730 Hours; Windows OS; 0 SNI SSL Connections; 0 IP SSL Connections | \$54.75 | \$0.00 |
| Databases | Azure SQL Database | | East US | Single Database, DTU Purchase Model, Standard Tier, S6: 400 DTUs, 250 GB included storage per DB, 1 Database(s) x 730 Hours, 5 GB Retention | \$588.75 | \$0.00 |
| Analytics | Azure Machine Learning | | East US 2 | 1 D3 v2 (4 Core(s), 14 GB RAM) x 730 Hours, Pay as you go | \$167.17 | \$0.00 |
| Analytics | Azure Stream Analytics | | East US 2 | Standard Type, 1 Streaming Unit(s) x 730 Hours; Stream Analytics on 1 Device(s) with IoT Edge | \$81.30 | \$0.00 |
| Internet of Things | Azure IoT Hub | | East US 2 | Standard Tier, S1: Unlimited devices, 400,000 msgs/day, \$25.00/mo, 100 IoT Hub Units | \$2,500.00 | \$0.00 |
| Internet of Things | Azure IoT Edge | | | There are no charges to use Azure IoT Edge. | \$0.00 | \$0.00 |
| Internet of Things | Azure IoT Central | | East US 2 | Standard 1 tier, 100 Devices, 0 Additional messages | \$38.42 | \$0.00 |
| AI + machine learning | Azure Cognitive Services | | East US 2 | Custom Vision, Standard tier: 100 projects, 10,000 Upload and prediction transactions, 730 Hours training, 10,000 Image Storage transactions | \$7,327.00 | \$0.00 |
| Security | Key Vault | | East US 2 | Vault: 40 operations, 0 advanced operations, 0 renewals, 0 protected keys, 0 advanced protected keys; Managed HSM Pools: 1 Standard B1 HSM Pool(s) x 240 Hours | \$768.03 | \$0.00 |
| Support | | | Support | | 0 \$0.00 | |
| | | | Licensing Program | Microsoft Customer Agreement (MCA) | | |
| | | | Billing Account | | | |
| | | | Billing Profile | | | |
| | | | Total | | 11671.33898 | \$0.00 |
| Disclaimer | | | | | | |
| All prices shown are in United States – Dollar (\$) USD. This is a summary estimate, not a quote. For up to date pricing information please This estimate was created at 8/17/2022 3:27:32 AM UTC. | | | | | | |

Figura 14. Estimados de Costos por Servicios Azure (Elaboración propia)

4.5 Retorno de la Inversión (ROI)

Este proyecto recibirá como lucro un pago inicial por la provisión e implementación del producto de un 10% del total del costo del proyecto, así como un pago anual total de USD\$27,360 por mantenimiento del sistema, uso de modelos y reentrenamiento.

En la siguiente tabla se mostrará un aproximado equivalente al ROI, teniendo en cuenta que el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA) dispondrá del sistema en Valle Nuevo durante el primer año.

Tabla 6. Retorno de Inversión (ROI)

| Retorno de Inversión | Monto |
|-----------------------------|--------------|
| Ingresos Por Inversión | 40,173.052 |
| Gastos Netos | 20,500.00 |
| Utilidad Neta | 19,673.052 |
| ROI | 95.96% |

4.5.1 Cálculos y datos del ROI

- Presupuesto CAPEX = USD\$113.109,20
- Presupuesto OPEX (primer mes) = USD\$15.011,32
- 10% del presupuesto = 10% (CAPEX + OPEX) = (USD\$113.109,20 + USD\$15.011,32) * 10% = USD\$128.130,52 * 10% = USD\$12.813,052
- Presupuesto de mantenimiento al año = (Costo Soporte técnico + Costo entrenamiento de IA + Costo mantenimiento de estaciones) * 12 = (USD\$240 + USD\$1600 + USD\$440) * 12 = USD\$27.360,00
- Ingresos netos por inversión (año) = 10% del presupuesto + presupuesto de mantenimiento al año = USD\$12.813,052 + USD\$27.360,00 = USD\$40.173,052
- Gastos de gestión para el desarrollo = USD\$2500
- Gastos provisionales al mes = USD\$1500
- Gastos Netos (año) = Gastos de gestión para el desarrollo + Gastos provisionales al mes * 12 = USD\$2500 + USD\$1500 * 12 = USD\$20.500,00
- Utilidad neta (año) = USD\$40.173,052 - USD\$20.500,00 = USD\$19.673,052
- ROI = USD\$19.673,052 / USD\$20.500,00 = 95.96%

CAPÍTULO V:

Análisis, presentación de resultados y conclusiones

5.0 Introducción

En este capítulo, se detallarán y analizarán los resultados obtenidos a través de las entrevistas llevadas a cabo a los personajes que han contribuido a este proyecto, se presentarán las conclusiones y verificarán el cumplimiento de los objetivos trazados en esta tesis.

5.1 Entrevistas

5.1.1 Entrevista a ambientalista dominicano

Como parte de nuestro proceso de investigación tuvimos el placer de entrevistar a uno de los ambientalistas más reconocidos de nuestro país, el biólogo Luis Carvajal Núñez, alias Cuchito, quien es miembro de la Academia de Ciencias de la República Dominicana y coordinador de la Comisión Ambiental de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Siendo este un profesor de dicha universidad, podemos afirmar que recibimos cátedra sobre el tema en cuestión, y que se nos compartió información que sustenta el estudio presente. Entre los temas puntuales que fueron debatidos en nuestra conversación nos gustaría resaltar los siguientes, incluyendo citas textuales de sus respuestas.

- *Daños colaterales remanentes de los incendios forestales en la República Dominicana*

“En primer lugar, tenemos la disminución de la biodiversidad y la erosión genética de los bosques. Cuando los incendios son ocasionados por la mano humana, o se da lo que es la siembra de especies inadecuadas y el conuquismo, se termina generando erosión de los terrenos, torrencialidad, y otros factores que como muchos dicen *maldicen la tierra*, ya que conducen al empobrecimiento de los suelos.”

- *Participación de la tecnología en términos de prevención, monitoreo y preservación de las Áreas Protegidas dominicanas*

“Ha sido mínima y aunque se ha ido incrementando en los últimos años, es todavía pasiva. Últimamente se ha estado utilizando la tecnología satelital para la detección de incendios forestales, incluso se han dado muchos incendios significativos cuyas primeras observaciones fueron imágenes satelitales. Sin embargo, no hay una relación entre la capacidad de respuesta de nuestro sistema actual, ya que los equipos con los que cuentan nuestros bomberos forestales son extremadamente

primitivos y muchas veces, ni cuentan con las herramientas necesarias por diversos factores económicos. Definitivamente, se requieren otros sistemas tecnológicos que monitoreen y disparen alertas a los organismos locales con información precisa de la ubicación de cualquier incidente, para poder ofrecer mecanismos rápidos de respuesta. Por ejemplo, actualmente el movimiento ambiental en todo el territorio nacional se activa cuando hay un incendio forestal y responde, pero ocurre que cuando llega la alerta casi siempre el incendio está en una etapa madura, y cuando las autoridades llegan, no hay una coordinación entre estos organismos y la sociedad civil voluntaria, ocurren muchos malentendidos y se entorpecen mutuamente. Además, es vital que esta tecnología sirva para caracterizar el estado posterior al incidente y los niveles de recuperación, de cara a programar las intervenciones.”

- *El papel de la tecnología para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles como país*

“Incorporar la tecnología implica potencializar todo el trabajo de conservación, prevención de desastres y sobre todo la proyección de tendencia en parámetros como los cambios físicos y ecosistémicos en nuestro país. El seguimiento necesario a los indicadores claves (ej., nivel de condensación de agua) medioambientales solo lo puede hacer la tecnología. Para poder ganar la batalla del cambio climático, lo más importante es saber cuáles son los factores que estabilizan el desequilibrio ambiental, y la tecnología permitiría automatizar modelos que pueden analizar y dar seguimiento a la tendencia de nuestros ecosistemas. Lo importante en torno a la integración de sistemas tecnológicos en materia medioambiental, es que esto pudiera sumarnos de manera funcional a redes informáticas que levanten datos reales regionales, porque somos todos parte de una misma región. Tanto Cuba como Puerto Rico tienen sistemas que incluyen todas funcionalidades mencionadas, si hacemos lo mismo pasaríamos de ser un país consumidor a un país ente de aporte a estos sistemas ya existentes, y así mismo podremos ofrecer valor a través de esta información a nivel universal.”

- El significado de Valle Nuevo para el medio ambiente de la República Dominicana*

“El concepto de Madre de las Aguas se empezó a utilizar por Valle Nuevo. Siendo el precursor Domingo Marte con su novela *Madre de las Aguas*, la cual escribió fundamentalmente alrededor de esta área protegida. El Parque Nacional Valle Nuevo en conjunto con Armando Bermúdez, José del Carmen Ramírez, Nalga de Maco y el Manolo Tavárez (este último lo eliminaron), que son los parques cordilleranos, constituyen en lo que es la Madre de las Aguas, porque de 4,000 ríos que informa el INDRHI que existen en la República Dominicana, cerca de 2,700 nacen en la Cordillera Central. En caso de tener pérdidas sustanciales de los recursos naturales de este parque, esto se traduciría en el encarecimiento de acceso al agua a nivel nacional, pérdidas en productividad agrícola y en generación de energía, y en un desequilibrio climático colosal. Sin Valle Nuevo, nosotros conoceríamos lo que es el calor del *bonito*.”
- Factibilidad de la integración de sistemas de Inteligencia Artificial, Aprendizaje Automático e Internet de las Cosas para el monitoreo, protección y detección de riesgos en las áreas protegidas de nuestro país*

“Es de altísimo valor, no obstante se requiere hacerlo de manera pertinente, de tal manera que no se crea que la simple disposición de tecnología resuelve todos los problemas, si no que está vinculada a una visión y un programa, eligiendo criterios e indicadores adecuados, que sumen el valor necesario.”

5.1.2 Entrevista a funcionario del MIMARENA

Al hablar con un experto con una trayectoria de alrededor de 30 años en el área de protección de bosques y áreas protegidas en la República Dominicana como Gerónimo Abreu, encargado del Programa Nacional de Gestión y Manejo del Fuego en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA), buscamos evaluar según su experiencia y valoración, el impacto que tendría la solución que plantea la presente investigación, avalar la información expuesta en los anteriores capítulos, y ampliar nuestra visión de la realidad del problema objetivo que trata esta tesis de grado. Entre los temas puntuales que fueron debatidos en nuestra conversación nos gustaría resaltar los siguientes, incluyendo citas textuales de sus respuestas.

- *Sistemas y protocolos que utiliza el Ministerio de Medio Ambiente para monitorear/manejar los incendios forestales y la tala ilegal de árboles en las áreas protegidas*

“El Ministerio se ocupa directamente de la parte de prevención y control de incendios forestales. El Sistema Nacional de Áreas Protegidas tiene la responsabilidad de proteger la integridad de los recursos naturales de la Áreas Protegidas. En cada área se elabora un plan de manejo, que incluye actividades de prevención, control, vigilancia y protección de los recursos, la tema de gestión de los incendios forestales, no está incluido en los planes de manejo de la mayoría de las áreas protegidas. Sin embargo, es uno de los temas que más afecta los recursos naturales en los parques es el caso de los incendios. Nosotros como Ministerio, tenemos brigadas de bomberos forestales que están compuestas por bomberos forestales y en algunos casos guardaparques que se integran a la labor de prevención, control y mitigación. En un trabajo en conjunto con la Fundación Sur Futuro hemos preparados en diferentes puntos estratégicos kits de herramientas de control de incendios en diferentes comunidades cercanas a Valle Nuevo, y le damos seguimiento anual. Taller de Técnicas Básicas para el Control de Incendios forestales que se le dan a los comunitarios, bomberos forestales y guardaparques, Enero - Febrero de cada año, que es cuando comienza la temporada alta de incendios, para así mantener al motivación y el monitoreo de los equipos y herramientas disponibles.”

- *Integración de soluciones tecnológicas (IA, IoT, Aprendizaje Automático) para prever posibles riesgos y el cumplimiento de las normativas de protección de estas áreas*

“Nosotros contamos actualmente con un sistema de torres de detección de incendios forestales que en teoría debería funcionar por triangulación, y digo en teoría porque la realidad la mayoría de operadores de torres no tienen el nivel académico necesario para poder manejar brújula o GPS. No obstante, también utilizamos el sistema satelital para detectar puntos de calor, existen varias páginas en internet que usamos constantemente, en esta alternativa, existe un retraso de aproximadamente dos o tres horas, porque el satélite pasa dos veces al día. Lo que más nos funciona son las actividades de patrulla, nuestro personal en operación y los comunitarios que detectan incendios dentro de la mayoría de los parques como Valle Nuevo, José Del Carmen Ramírez, Armando Bermúdez, Bahoruco. En el caso fronterizo, se nos hace mucho

más difícil, por temas de acceso a internet o comunicación. Podríamos decir, que el tema de la detección es casi en tiempo real sobre todo en Valle Nuevo, porque hay muchas personas atentas a este parque. En la actualidad, estamos trabajando junto a una fundación ubicada en Constanza en un plan piloto que involucra cámaras termográficas en Valle Nuevo, y aunque lo propusimos y lo planteamos, por temas financieros, no lo hemos llevado a la realidad.”

- *Tiempo promedio que les toma a los agentes del Ministerio de Medio Ambiente y los organismos de respuesta el proceso de detección y mitigación de incendios forestales*

“ El tiempo de respuesta es el tiempo que transcurre desde su detección hasta que nuestro personal de bomberos forestales se encuentran en el lugar afectado. Esto, a su vez, depende de muchos factores que no se repiten necesariamente en cada caso. Por ejemplo si ocurre un incendio en el municipio de la Vega, en las lomas de guarey, en menos de una hora tenemos personal trabajando en este fenómeno, pero si ocurre un incendio en Valle Nuevo, puede que nos tome 30 minutos para operar, porque la brigada más cercana se encuentra en Constanza. Pero lugares como el Alto del Valle en el Parque José del Carmen Ramírez, para dar respuesta ah, tenemos que mover personal que tomaría mínimo 5 horas para dar respuesta, por temas de transporte y acceso. Fuegos en lugares como Macutico o Guácara, el tiempo de respuesta pudiera ser de 15 a 24 horas, porque sólo de caminata serían de 8 a 10 horas para poder llegar en el mejor de los casos, aunque existen casos aún más extremos donde duramos alrededor de 36 horas en llegar por los mismos temas de acceso y recursos. El tiempo de respuesta varía mucho por factores como las vías de acceso, cercanía de las brigadas de bomberos, disponibilidad y logística. Muchas veces las brigadas no tienen disponibilidad de recursos, y hay que esperar a trámites crediticios, y todo esto aumenta considerablemente del tiempo de respuesta.”

- *Causas y consecuencia principales de estos eventos en las áreas*

“Las causas se pueden resumir en : agricultura y ganadería (que corresponden al 85 - 90% de los casos), motivos intencionales o desconocidas, incendios provocados por cateadores de abejas buscando miel silvestres, hornos de carbón, descargas eléctricas naturales y caídas de cables eléctricos (menos del 1% de los

casos), quema de basura, esta última siendo en áreas cercanas a poblaciones de personas.

El ecosistema de pinos es el más vulnerable y más frecuentemente se quema, siendo el pino occidental nuestra especie, es dependiente del fuego, necesita quemarse para sobrevivir, y existen estudios que dicen que estas especies deben quemarse entre cada 8 a 12 años, si se quema antes de este lapso, el desarrollo de la regeneración natural sería mínimo, y moriría. Pero si se respeta este lapso, la cantidad de material combustible que hubiera en el espacio sería tan alta que pudiera significar la muerte de los árboles padres o adultos. Si los ecosistemas se dejaran tal cual, con el paso del tiempo se recuperarían 100%. Siempre se recomienda que en los planes de manejo, existan planes de manejo de combustibles para evitar los fuegos y ciertos grados de letalidad a los que podría llegar. Dentro de las áreas protegidas normalmente no se interviene en la recuperación, si no que se deja que naturalmente se recupere.

Uno de los pilares de la prevención es la aplicación de la ley, y es uno de los eslabones más débiles del sistema, porque aunque tenemos leyes y normas, y en el Código Penal se tipifique como actividad criminal provocar incendios forestales y lleve penas de 10 a 30 años, normalmente lo más que se le ha llegado a dar a una persona son 3 meses de medida de coerción, como casos aislados, nunca se condena a nadie, y se le ponen multas pírricas administrativas de dos salarios mínimos, habiendo provocado daños muchas veces irreparables.

Como consecuencias ecológicas en sí, tenemos el desplazamiento y pérdidas de especies, tanto de fauna como de flora, la invasión de especies, el debilitamiento de la vegetación arbórea que provoca plagas y enfermedades, cambio de la estructura y textura del suelo, cambios en el microclima, contaminación de agua y aire, pérdidas de capacidad de infiltración de agua en los suelos subterráneos, afecta la capacidad productiva de algunas industrias incluyendo la turísticas y de las comunidades aledañas, entre otros.

Es importante resaltar que las actividades agropecuarias son prácticas ilegales, nos enfocamos en crear zonas de amortiguamiento en las zonas limítrofes de estas áreas, en la zona núcleo no apoyamos ningún tipo de actividad ilegal, no obstante, aunque este no sea el caso de valle nuevo, no es un secreto que en otros parques nacionales hay zonas núcleo dedicadas para la agricultura. Hace poco se pagó una

indemnización a unos agricultores de la vertiente norte de Valle Nuevo para desalojar esta zona, la intención es erradicar este tipo de actividades en estas zonas, no es una tarea fácil ni rápida, pero sí se está trabajando en eso.”

- *Disposición del valor monetario estimado que se pierde por una hectárea de un área protegida*

“No, hubo un tiempo en que se llevaba una estadística sobre las pérdidas, pero nos dimos cuenta de que era irreal e imprecisa, así que discontinuamos la actividad. Realmente, el valor de las pérdidas causadas por los incendios es prácticamente imposible de calcular e intangible como el suelo, la pérdida en torno a condensación de agua, la contaminación del agua, los gases de efecto invernadero que se emitieron durante el incendio, etcétera.”

- *Factibilidad de la integración de sistemas de Inteligencia Artificial, Aprendizaje Automático e Internet de las Cosas para el monitoreo, protección y detección de riesgos en las áreas protegidas de nuestro país*

“Lo primero es que hay muchas cosas que mejorar, y entiendo que la tecnología ha venido a revolucionar el mundo básicamente. Nosotros vemos como cada día hay novedades en el mundo tecnológico que se pudieran aplicar en beneficio a la labora de preservación de recursos naturales”

- *Gastos logísticos y operativos que le toma al MIMARENA el control y la mitigación de incendios forestales en áreas protegidas*

“Como Ministerio, nosotros no llevamos un registro de estos gastos, porque hay gastos fijos y variables, siendo el más alto el costo del personal. Para calcular todo esto, tenemos que también tener en cuenta gastos de transporte, comida, comunicación, combustibles, materiales gastables, herramientas y equipos de control que se van deteriorando por el uso. No calculamos todo esto porque no dimos cuenta que sería irreal, porque es muy difícil calcular la depreciación de un GPS o de una motosierra, antorcha para dar contrafuegos, depreciación de las estructuras de operación dentro de los mismos parques que se ven deteriorados por la operación, incluso la vida útil de las herramientas de control de incendios que son costosas. Para ser precisos deberíamos tener todos esos datos y extrapolarlos a cada eventos. Por

ejemplo, un bombero forestal de los últimos nombrados ganan 15,000 pesos, serían 500 pesos por día. ”

5.1.3 Entrevista a guardabosques

En la primera torre de detección de incendios del Parque Nacional Valle Nuevo ubicada en Pajón Blanco, una montaña a aproximadamente 2,725 metros sobre el nivel del mar, tuvimos una conversación amena con uno de los guardabosques con mayor experiencia en materia de detección de fuegos forestales, laborando para el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales desde el gobierno de Salvador Jorge Blanco a principios de la década de los 80.

Sus funciones se resumen en detectar e informar a las brigadas y autoridades correspondientes cuando vislumbra incendios desde la torre, desde donde se puede ver la presa Jigüey, Ocoa, Constanza, el Pico Duarte, Duvergé, San Juan de la Maguana, y mucho más. Nos explicó en base a su criterio que la gran debilidad del sistema yace en el acceso de las personas a **las áreas limítrofes y los alrededores** de las áreas protegidas.

Afirmó que en la zona núcleo del parque se originan incendios por causas naturales luego de que el conuquismo se eliminara y añadió que donde hay agricultura y se aplican químicos, se talan árboles y suceden ese tipo de eventos, aún con mayor impacto en tiempos de sequía. Comentó que las áreas afectadas cerca de su torre han tenido un proceso lento de recuperación que lleva varios años para volver a su aparente estado natural. Demostró su apoyo ante nuestro proyecto y nos afirmó que sería de mucha ayuda porque mejoraría el nivel de precisión para identificar cuando ha empezado un fuego forestal, y cuando definitivamente se ha sofocado, pues confesó que se han dado casos de incendios que han llegado a grandes magnitudes luego de que el equipo de mitigación pensara haber concluido su ardua labor.

5.2 Resultados de la Hipótesis planteada

Como fruto de los análisis y resultados obtenidos a lo largo de esta proyecto de tesis, podemos afirmar que el establecimiento de un sistema asistido por inteligencia artificial y la tecnología termográfica para la optimización de los procesos de preservación, monitoreo, protección y detección de riesgos en áreas protegidas y parques nacionales puede ayudar con éxito en la labor de mitigación del daño ocasionado por amenazas tales como incendios forestales, tala ilegal de árboles y conuquismo.

5.3 Verificación y evaluación de Objetivos

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación presente, validando que los mismos se han cumplido.

5.3.1 Verificación Objetivo General

Como fue mencionado en el ápice 1.7 de esta tesis, el objetivo principal es estudiar las principales amenazas que se ven expuestas nuestras áreas protegidas para entender sus causas y consecuencias, y así brindar una herramienta que a través del uso de la Inteligencia Artificial y la tecnología Termográfica optimice los procesos de detección, monitoreo y alerta de incendios forestales en etapas tempranas, tala ilegal de árboles y conuquismo, evitando así grandes y/o posibles irreparables pérdidas de biodiversidad en nuestros ecosistemas, y aportando a los objetivos de desarrollo sostenible relacionados a la preservación y protección de nuestro patrimonio natural común.

Luego de las conversaciones que sostuvimos con los expertos académicos y de campo, y analizar sus respuestas, podemos afirmar que todos los expertos entrevistados afirmaron que esta herramienta podrá contribuir en mitigar las problemáticas ya referidas. Para ver los detalles del cumplimiento de este objetivo, se debe verificar el capítulo 6.

De obtener los resultados esperados en nuestra implementación, comprobaremos que nuestro objetivo general estaría cumplido, ya que los organismos encargados de vigilar y ofrecer soporte contarían con un sistema que les permita monitorear y dar respuesta oportuna y antelada a casos de conuquismo, tala ilegal de árboles e incendios forestales.

5.3.2 Verificación Objetivos Específicos

Objetivo 1. Desarrollar e implementar un sistema de monitoreo permanente con cámaras térmicas para la mitigación de fuegos forestales en las áreas protegidas.

Objetivo 2. Crear un sistema de inteligencia artificial para la detección tala de árboles y conuquismo en espacios naturales.

Objetivo 3. Desplegar un sistema automático de alertas para avisar a las instituciones pertinentes de incendios desde su etapa inicial, tala ilegal de árboles, y/o conuquismo en áreas protegidas.

Objetivo 4. Facilitar el monitoreo y recolección de data precisa en tiempo real para los organismos encargados de estas zonas.

Objetivo 5. *Apoyar la gestión de los diferentes equipos encargados del bienestar de las áreas de alto valor ecológico seleccionadas de la República Dominicana.*

Se evidencia en las entrevistas elaboradas que la totalidad de los expertos está de acuerdo en que este sistema será de ayuda en su labor de proteger, monitorear, prevenir y detectar las amenazas que acechan a nuestro patrimonio natural.

La plataforma construida integrará la inteligencia artificial y la tecnología termográfica para que el cuerpo técnico pueda dar mejor respuesta a las amenazas que afectan nuestras áreas protegidas. A través de monitoreo permanente, detección y alerta automática ante amenazas, y el despliegue de información en tiempo real nuestro sistema podrá apoyar y optimizar la gestión de las amenazas antedichas.

5.3.3 Respuestas a las preguntas de investigación

- *¿Existe una ley sobre áreas protegidas en el país?*
Sí, existen numerosas leyes sobre la sectorialidad, administración y distribución de recursos y responsabilidades en torno al tema de las áreas protegidas nacionales. (Ej. Ley No 202-04, Ley No 44-18)
- *¿Cuenta nuestro país con un reglamento sobre estrategia de manejo de fuegos a nivel nacional en las áreas protegidas?*
Sí, contamos con una estrategia nacional de manejo del fuego 2016-2025 en el que las autoridades locales como el MIMARENA, el COE y los gestores principales de los parques se rigen.
- *¿Tienen las principales reservas forestales sistemas de monitoreo en tiempo real de incendios forestales, tala árboles y conuquismo?*
No, actualmente se utiliza la tecnología satelital disponible en línea (el cual cuenta con un retraso de aprox. 2 horas) y los reportes ciudadanos y del cuerpo de vigilancia forestal del MIMARENA.
- *¿Cuál es el costo de pérdidas causado por los incendios en las áreas protegidas anualmente?*
No se registran datos ni estadísticas certeras sobre este tema por su dificultad de estimación y precisión.
- *¿Cuál es el costo del manejo de equipos, recursos humanos, logísticos, materiales y financieros en la tarea de controlar los incendios?*

No se registran datos sobre este tema, no obstante las autoridades nos aseguraron que aunque el costo depende de la magnitud del siniestro, siempre es considerablemente elevado.

- *¿Cuáles son las causas comunes de los incendios forestales?*

La gran mayoría son por actividades agropecuarias.

- *¿Estaría el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en capacidad de establecer un sistema de detección de incendios, tala de árboles y conuquismo a través del uso de la inteligencia artificial con monitoreo instantáneo o remoto?*

Sí, actualmente se encuentran laborando en conjunto con una organización no gubernamental (ONG) local en un proyecto parecido al propuesto en el presente.

- *¿Se aplican las sanciones reglamentadas a los actores principales en actos de tala y quema de árboles, conuquismo en Áreas Protegidas y Parques Nacionales?*

Se aplican, aunque mínimamente en torno al régimen de consecuencias que dicta el Código Penal Dominicano.

5.4 Conclusiones

A través de esta investigación verificamos y validamos que el uso de la Inteligencia Artificial en conjunto con la tecnología termográfica aplicado a la optimización de los procesos de monitoreo, prevención y detección de amenazas tales como los fuegos forestales, tala ilegal de árboles y conuquismo en las áreas protegidas disminuye considerablemente el efecto de los mismos y ofrece un mecanismo útil para la detección temprana de los mismos a las autoridades y técnicos encargados de la apropiada gestión de estas zonas.

En base a estos beneficios antedichos y los resultados de las entrevistas, podemos concluir que nuestra propuesta puede implementarse exitosamente y será acogida por la población experta por su aporte en la solución de las problemáticas planteadas.

5.5 Líneas Futuras de Investigación

No existe solución o servicio tecnológico que no pueda evolucionar a algo mejor, por lo que resulta fundamental su mantenimiento y actualización constante con las nuevas tecnologías o requerimientos de mejora de parte de los clientes, con el fin de brindar mejores servicios y satisfacer las necesidades con propuestas cada vez más óptimas en todo el sentido de la palabra.

Como fruto de nuestras entrevistas e investigaciones, hemos identificado una serie de funcionalidades a considerar para enriquecer nuestro sistema, algunas de estas son:

- Inclusión de drones programados que mitiguen los incendios forestales antes de que los bomberos forestales estén presentes.
- Expandir este proyecto a otros parques nacionales del país que son vulnerables a los mismos riesgos tratados por este sistema.
- Monitoreo y seguimiento de variables y parámetros ambientales y ecosistémicos que incidan directamente en el cambio climático y sus efectos en la República Dominicana.
- Implementación de un Chatbot disponible para los técnicos encargados de utilizar y monitorear el sistema en caso de cualquier duda o inconveniente presentado. Brindando así una mejor experiencia y capacidad de respuesta a preguntas frecuentes sobre el sistema.

CAPÍTULO VI:
Análisis y Diseño del Prototipo

6.1 Narrativa General

6.1.1 Objetivos de la Institución, Empresa o Sector al que está dirigido el Proyecto

Como anteriormente hemos detallado, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales es el órgano rector de la gestión del medio ambiente, los ecosistemas y los recursos naturales de la República Dominicana y su objetivo es “regir la gestión del medio ambiente, los recursos naturales, los ecosistemas y sus servicios para conservar el patrimonio natural de la nación, alcanzar el desarrollo sostenible y así garantizar el derecho de la sociedad a un ambiente sano.”

Las atribuciones del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales contenidas en la (Ley No. 64-00. Ley General Sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales, Santo Domingo, República Dominicana, 18 de agosto de 2000) son las siguientes:

- Elaborar la política nacional sobre medio ambiente y recursos naturales del país;
- Ejecutar y fiscalizar la política nacional sobre medio ambiente y recursos naturales;
- Administrar los recursos naturales de dominio del Estado que les hayan sido asignados;
- Velar por la preservación, protección y uso sostenible del medio ambiente y los recursos naturales;
- Procurar el mejoramiento progresivo de la gestión, administración y reglamentación relativas a la contaminación del suelo, aire y agua, para la conservación y mejoramiento de la calidad ambiental;
- Velar porque la exploración y explotación de los recursos mineros se realice sin causar daños irreparables al medio ambiente y a la salud humana; paralizar la ejecución de cualquier actividad minera, cuando considere, sobre la base de estudios científicos, que la misma puede poner en peligro la salud humana y causar daños irreparables al medio ambiente o a ecosistemas únicos o imprescindibles para el normal desarrollo de la vida humana; y garantizar la restauración de los daños ecológicos y la compensación por los daños económicos causados por la actividad minera;

- Controlar y velar por la conservación, uso e investigación de los ecosistemas costeros y marinos y sus recursos, de los humedales, así como por la correcta aplicación de las normas relativas a los mismos;
- Promover y garantizar la conservación y el uso sostenible de los recursos forestales y vigilar la aplicación de la política forestal del Estado y las normas que regulan su aprovechamiento;
- Elaborar normas, revisar las existentes y supervisar la aplicación eficaz de la legislación, para garantizar la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales y mejorar la calidad del medio ambiente;
- Orientar, promover y estimular en las instituciones privadas, organizaciones comunitarias y no gubernamentales, las actividades de preservación, restauración, conservación y uso sostenible del medio ambiente, así como la protección de los recursos naturales, adecuando sus actividades a las políticas, objetivos y metas sobre medio ambiente y recursos naturales previstos;
- Propiciar la integración de la sociedad civil y las organizaciones comunitarias a los planes, programas y proyectos destinados a la preservación y mejoramiento del medio ambiente;
- Elaborar y garantizar la correcta aplicación de las normas para la conservación, preservación y manejo de las áreas protegidas y la vida silvestre;
- Colaborar con la Secretaría de Estado de Educación en la elaboración de los planes y programas docentes que en los distintos niveles de la educación nacional se aplicaran en relación con el medio ambiente y los recursos naturales, así como promover con dicha Secretaria programas de divulgación y educación no formal;
- Establecer mecanismos que garanticen que el sector privado ajuste sus actividades a las políticas y metas sectoriales previstas;
- Estimular procesos de reconversión industrial, ligados a la implantación de tecnologías limpias y a la realización de actividades de descontaminación, de reciclaje y de reutilización de residuos;
- Estudiar y evaluar el costo económico del deterioro del medio ambiente y de los recursos naturales, con el fin de que sean incluidos en los costos operativos y considerados en las cuentas nacionales;

- Establecer el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales; realizar, organizar y actualizar el inventario de la biodiversidad y de los recursos genéticos nacionales, así como diseñar y ejecutar la Estrategia Nacional de Conservación de la Biodiversidad.
- Controlar y prevenir la contaminación ambiental en las fuentes emisoras. Establecer las normas ambientales y las regulaciones de carácter general sobre medio ambiente, a las cuales deberán sujetarse los asentamientos humanos, las actividades mineras, industriales, de transporte y turísticas; y, en general, todo servicio o actividad que pueda generar, directa o indirectamente daños ambientales;
- Impulsar la incorporación de la dimensión ambiental y de uso sostenible de los recursos naturales al Sistema Nacional de Planificación;
- Evaluar, dar seguimiento y supervisar el control de los factores de riesgo ambiental y de los que puedan incidir en la ocurrencia de desastres naturales y ejecutar directamente, o en coordinación con otras instituciones pertinentes, las acciones tendientes a prevenir la emergencia o a impedir la extensión de sus efectos;
- Proponer al Poder Ejecutivo las posiciones nacionales con relación a negociaciones internacionales sobre temas ambientales y sobre la participación nacional en las conferencias de las partes de los convenios ambientales internacionales; proponer la suscripción y ratificación; ser el punto focal de los mismos; y representar al país en los foros y organismos ambientales internacionales en coordinación con la Secretaría de Estado de Relaciones Exteriores;
- Colaborar con la Secretaría de Estado de Salud Pública y Asistencia Social en la formulación de la política nacional de población y en la realización de estudios y evaluaciones de interés común;
- Promover, en coordinación con los organismos competentes, la realización de programas y proyectos para la prevención de desastres que puedan afectar el medio ambiente y los recursos naturales, así como la mitigación de los daños causados;

- Coordinar con la Secretaría de Estado de las Fuerzas Armadas y con la Policía Nacional, las acciones a ejecutar para asegurar la protección y defensa de los recursos naturales del país;
- Cualquier otra atribución que se le asigne conforme a las leyes en materia ambiental (capítulo IV, sección 1, Art. 18).

6.1.2 Breve descripción del sistema propuesto

Nuestro sistema consiste en un conglomerado de aplicativos cloud y on-edge que permiten monitorear de forma automática al Parque Nacional Valle Nuevo a través de la inteligencia artificial, tecnología termográfica y la integración de tecnología IoT. Toda esta información se muestra en un dashboard de Power BI con un sistema de alarmas automáticas cuando se detectan incendios, tala de árboles y otros eventos para la toma de acción rápida por parte de las autoridades pertinentes.

6.1.3 Objetivos del sistema o proyecto

- Detectar incendios forestales en el Parque Nacional Valle Nuevo.
- Detectar tala de árboles ilegal en áreas en el Parque Nacional Valle Nuevo.
- Capturar y almacenar la información termográfica del Parque Nacional Valle Nuevo con el fin de contar la temperatura específica de una coordenada geográfica del parque.
- Capturar y almacenar la información sonora del Parque Nacional Valle Nuevo con el fin de analizar qué tipo de personas/actividades pueden estar realizándose en zonas del parque.
- Analizar la información sonora capturada de los parques a través de una inteligencia artificial con el objetivo de determinar qué tipo de personas/actividades pueden estar realizándose en zonas del parque.
- Analizar información termográfica capturada de los parques a través de una inteligencia artificial con el objetivo de determinar incendios u otras anomalías térmicas.
- Capturar y almacenar información sobre otras variables como la humedad, pluviometría y velocidad del viento de las zonas forestales con el objetivo de contar con el estado de los bosques en tiempo real.

- Enviar alertas automáticas por correo y SMS a los organismos pertinentes en caso de detectar una anomalía en la temperatura (incendio) o sonido (actividad ilegal).
- Mostrar estadísticas en tiempo real sobre el estado de las diferentes zonas de las áreas forestales del país a través de un aplicativo web.

6.1.4 Innovaciones del sistema propuesto

En nuestro país y la región de Latinoamérica no se cuenta con un sistema especializado, flexible, automático, tecnológico, completo, eficiente y efectivo para la detección de incendios forestales o de actividades ilegales en áreas protegidas como la tala de árboles. Actualmente el proceso de detección de incendios que lleva a cabo el Ministerio de Ambiente y recursos Naturales en el Parque Valle Nuevo consiste solamente en una torre de observación para un guardaparques que no cuenta con ningún tipo de tecnología para monitorear los bosques de Pajón Blanco y áreas aledañas.

Por esta razón nuestro sistema viene a innovar en una proporción sumamente alta en aspectos como:

- Recolección automática de datos de forma simultánea sin intervención humana.
- Almacenamiento del estado de las zonas del parque para disponibilidad de esta información a las instituciones de medioambiente para la toma oportuna de decisiones.
- Uso de la inteligencia artificial para detección automática de anomalías, visión y audición artificiales.
- Disponibilidad de un banco de información con la data histórica de las variables visuales-sonoras-meteorológicas del parque con el fin de que pueda usarse para estudios más exhaustivos locales e internacionales.

Uno de los puntos clave en términos de innovación es el uso de modelos de inteligencia artificial para detección de anomalías y clasificación de sonidos automática, lo que permite usar menos recursos para detectar áreas más grandes y de forma automática sin la necesidad de intervención humana.

6.1.5 Ventajas y Beneficios

- Detección de incendios eficiente, segura y rápida con las coordenadas geográficas exactas de donde sucedió.
- Notificación y alerta automática de incendios y tala ilegal de árboles a los organismos pertinentes.
- Disponibilidad de data histórica del estado de las áreas del Parque Valle Nuevo.
- Monitoreo en tiempo real a través de cámaras y micrófonos de las zonas del Parque Valle Nuevo de forma remota.

6.2 Análisis FODA del sistema propuesto



Figura 15. Análisis FODA del sistema propuesto (Elaboración propia)

6.3 Arquitectura del sistema

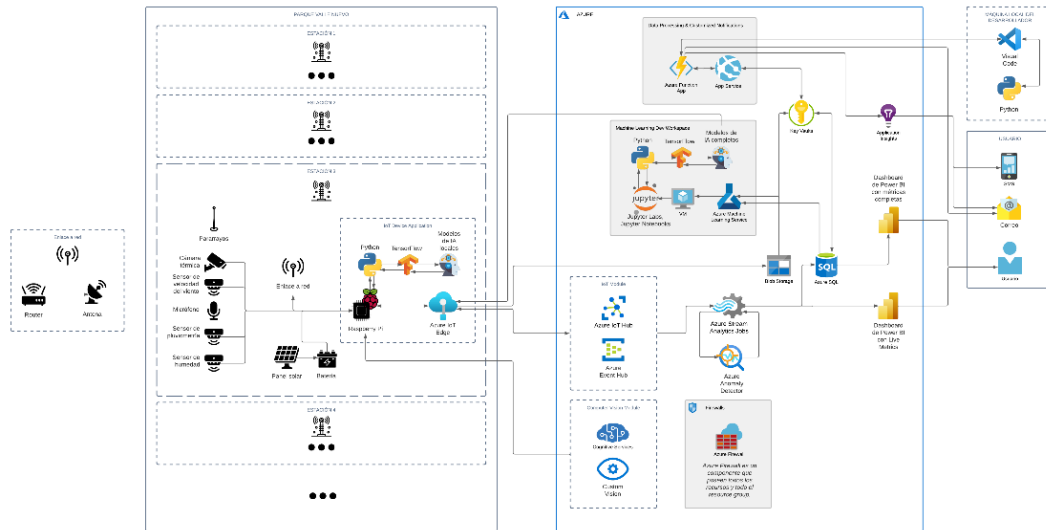


Figura 16. Diagrama completo de la arquitectura del sistema (Elaboración propia)

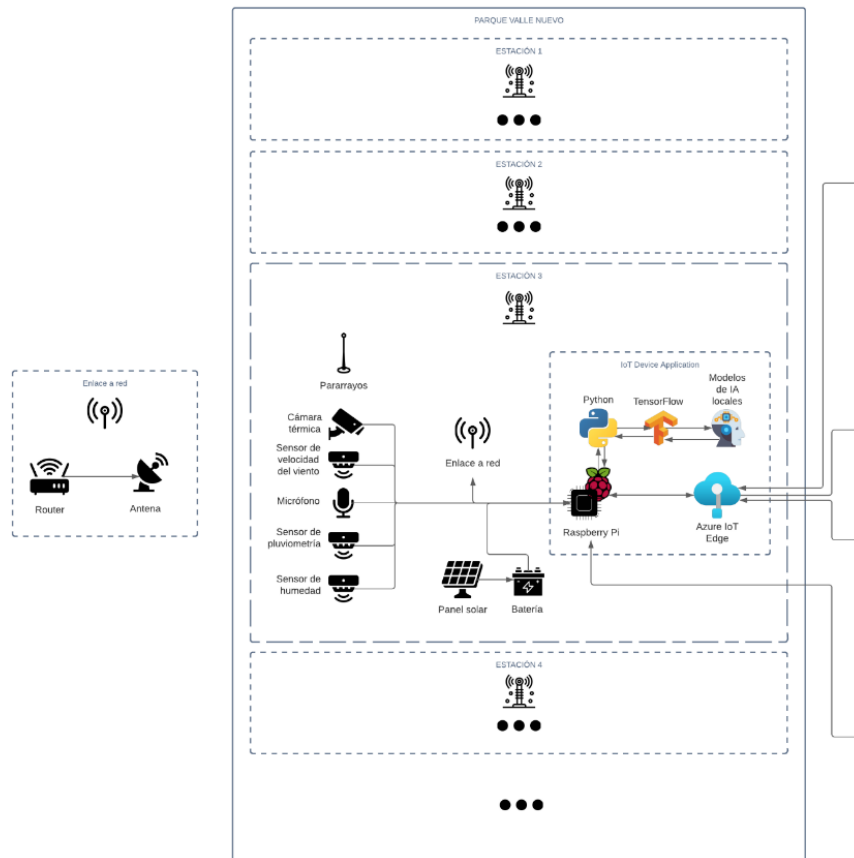


Figura 17. Diagrama lateral izquierdo de la arquitectura del sistema (Elaboración propia)

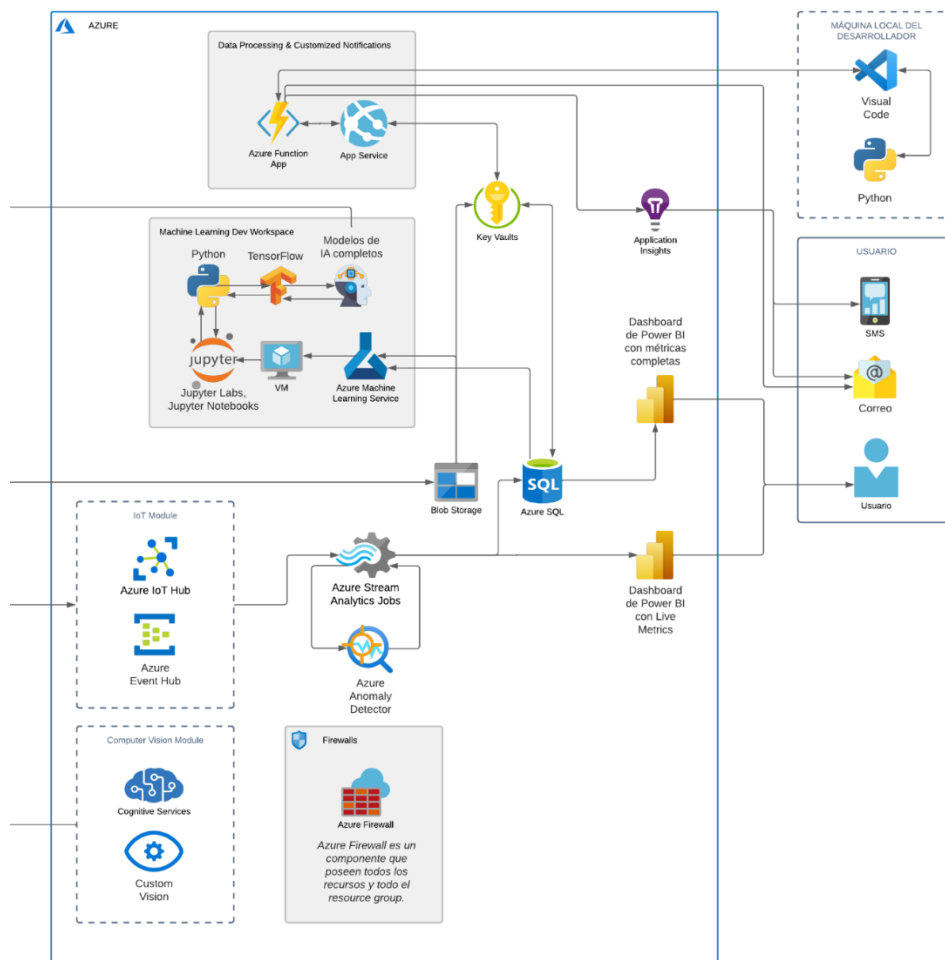


Figura 18. Diagrama de Arquitectura del sistema. (Elaboración propia)

La arquitectura de nuestro sistema se encuentra dividida en dos ambientes: Cloud y On Edge. En este proyecto estaremos usando exclusivamente los servicios de Microsoft Azure, la plataforma Cloud que consideramos más efectiva para este proyecto por su versátil suite de servicios y herramientas para integrar soluciones de IoT, Inteligencia Artificial y Big Data en tiempo real.

El ambiente On Edge conforma los componentes de la arquitectura que se encuentran ubicados físicamente en el Parque Nacional de Valle Nuevo (sombreado en la figura bajo el nombre de PARQUE VALLE NUEVO). En este ambiente se alojarán un total de diez estaciones cada una con un conjunto de dispositivos IoT como cámaras térmicas, micrófonos, sensores de humedad, pluviometría, etc., que recogerán información del entorno del parque Valle Nuevo a través de un microcontrolador Raspberry Pi.

Cada estación cuenta con un panel solar y una batería que les supe energía a todos los dispositivos del poste. También cuenta con un pararrayos para prevenir daños en caso de tormentas eléctricas.

El Raspberry Pi es el dispositivo que se encarga de recopilar la data de los sensores, procesarla en los modelos On Edge de Machine Learning y enviarlas a través de la herramienta de Azure IoT Edge.

Este componente físico estará programado en Python y usará a la vez la librería de TensorFlow para poder usar los modelos de Machine Learning.

Una vez Raspberry Pi conecta a IoT Edge a través de un aplicativo con SDK de Python con que cuenta y envía la data, entonces la información comienza a pasar al ambiente Cloud, en donde llega a Azure IoT Hub, la central en donde procesaremos toda la información desplegada por los sensores.

En este caso optamos porque el Machine Learning se haga On Edge para eficientizar el proceso de análisis de la data cruda y del streaming de información a los canales de salida (Power BI, SQL, etc.) Esto es debido a que hemos comprobado que haciendo las llamadas desde los dispositivos de campo a la nube para el procesamiento de las predicciones genera más latencia que guardar el modelo localmente, lo cual no requiere de ningún tipo de uso de red.

Para actualizar los modelos locales de IA en el raspberry Pi simplemente se envía como un evento de IoT Hub sobrescribiendo el que existía localmente en los archivos fuentes del aplicativo, ya que el modelo real se encuentra alojado en la nube y es reentrenado con una frecuencia de una semana por un período aproximado de 3 horas.

De igual forma para el análisis de video analítica en tiempo real se emplean modelos de Custom Vision para visión artificial que son reentrenados periódicamente en la nube, pero que son desplegados al raspberry Pi para evitar llamados innecesarios al Cloud y generar uso de red innecesario.

Con la información ya en Azure IoT Hub a través de Stream Analytics se despliega la misma en tiempo real a la base de datos Azure SQL y al Power BI resumen en tiempo real que el usuario podrá usar para consultar las métricas más directas y sin procesar en tiempo real.

Además, el usuario podrá consultar anomalías en la data, gracias al servicio de inteligencia artificial de Microsoft Azure: Azure Anomaly Detector, que nos permitirá en conjunto con Stream Analytics hacer un análisis en tiempo real de anomalías.

El Raspberry Pi de igual forma envía los fragmentos de videos capturados y los fragmentos de audio capturados al blob storage del sistema en el ambiente Cloud a través del SDK de Python de Azure Blob Storage, con el cual ya la data cruda de audio y video se puede usar posteriormente para auditoría o para un post procesamiento o minería de datos en batch.

Cabe destacar que todas estas fuentes de información tienen el Firewall de Azure configurado de tal forma que solo tienen acceso a esos recursos las IP ingresadas como aceptables en la configuración del Firewall, además de contar con un sistema de llaves de Azure Key Vault para el desarrollador de los microservicios de Azure Function y modelos de Azure Machine Learning. De esta forma con Azure Key Vault, podemos manejar información sensible de forma segura e íntegra y tenemos un control de los accesos de cualquier desarrollador o usuario a los recursos del ambiente productivo.

En el ambiente Cloud como podemos ver en la figura 15, un componente importante de la arquitectura es Azure Machine Learning Services en donde se aloja una máquina virtual configurada para desarrollo de modelos con Python, Jupyter Labs, Jupyter y AML Pipeline Designer para MLOps. Esta herramienta nos permite crear modelos de regresión, clasificación, clusterización, redes neuronales, convoluciones, visión artificial, audición artificial, entre otros, tomando también gestión en las iteraciones de los modelos y las versiones de estos. Este es el espacio que el desarrollador usará para reentrenar los modelos. A través de un servicio vinculado a las bases de datos y blob storage el ML Developer podrá extraer imágenes, audio e información tabular para reentrenar los modelos de clasificación de audio, detección de anomalías y visión artificial con el objetivo de desplegarlo a los dispositivos On Edge. Lo mismo aplica para el reentrenamiento con Custom Vision.

En el caso de post procesamiento de la información clave de la base de datos y blob storage para el histórico de incendios, tala de árboles y otras informaciones calculadas en la nube, se empleará un Azure Function para estos microservicios que se ejecutarán a diario a la medianoche para realizar un procesamiento en batch de la data del día anterior. Todo esto es con el objetivo de actualizar información clave faltante en la base de datos que enriquece la información cruda captada por los sensores. Esta data post procesada es la que muestra

nuestro segundo tablero de Power BI. Un tablero completo con data histórica y post procesada.

El usuario simplemente interactuará con esos dos tableros y con las alertas y notificaciones que le lleguen a través del sistema cuando se detecte una anomalía. Para ello se emplea el sistema de alertas por recurso de Azure y el sistema de alertas de Application insights que nos permitirá enviar alertas SMS y por correo. Algunas alertas más personalizadas se enviarán a través del Azure Function para que las entidades pertinentes tomen acción inmediateamente se detecte una anomalía en la data, es decir, un incendio o actividad ilegal de tala de árboles.

Estructura de la estación}

Diagrama de Estación

Proyecto de grado "Sistema de monitoreo del Parque Nacional Valle Nuevo para detección temprana de incendios y tala de árboles"

Hecho por **Carlos Ogando e Isamar Francisco**

*Estudiantes de la carrera Ingeniería de las Tecnologías de la Información y Comunicación
Universidad Iberoamericana*

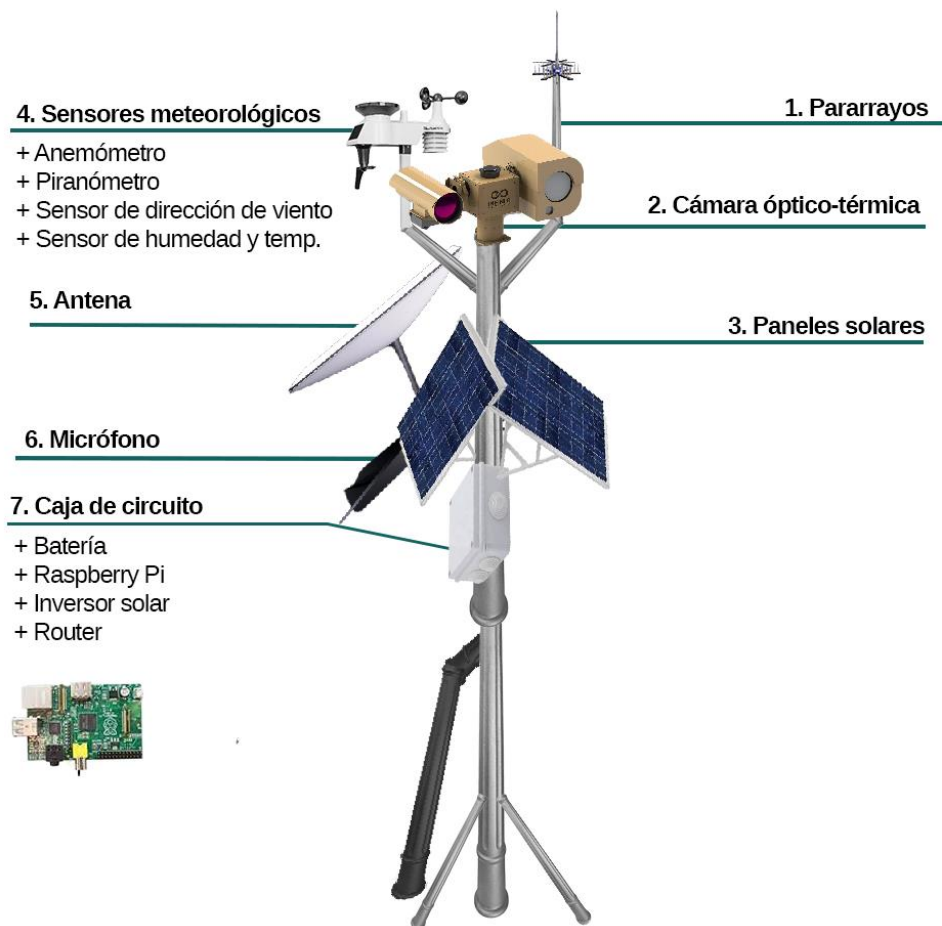


Figura 19. Diagrama de la estación (Elaboración propia)

La estación contará con:

6.4.1 Anemómetro



Figura 20. Sensor de Viento. (Rika Sensor, 2022)

RK100-02 Plastic Wind Speed Sensor Wind Anemometer

- Model:RK100-02
- MOQ: 2 PCS
- Payment: T/T, L/C or PayPal
- Lead Time: 5-7 days
- Certification: CE-EMC, CE-LVD, RoHS, ISO9001

El sensor de velocidad del viento RK100-02 utiliza un anemómetro sensible de 3 copas diseñado para medir la velocidad y la carrera del viento. Las cazoletas de este sensor de viento están fabricadas en material de fibra de carbono, con alta intensidad y bajo umbral de arranque. Las unidades de procesamiento de señales están integradas en la carcasa de la carcasa. El sensor de anemómetro Rika RK100-02 de 3 tazas se puede usar ampliamente en meteorología, monitoreo marino, ambiental, aeropuerto, puerto, laboratorio, áreas industriales y agrícolas. Si está buscando un sensor de velocidad del viento profesional, puede considerar el sensor de viento del anemómetro de copa Rika RK100-02. (Sensor, 2019)

6.4.2 Cámara térmica



Figura 21. Cámara Térmica PTZ Long Range

Su proveedor y fabricante (Ascendent Technology Group, 2017) afirma lo siguiente sobre la cámara PTZ en la descripción del producto en su página web comercial:

La Viper es una revolucionaria cámara PTZ multisensorial HD térmica refrigerada de ultra largo alcance que cuenta con una cámara de día/noche visible de 128X de largo alcance, zoom infrarrojo térmico refrigerado HD MWIR de largo alcance de más de 55 km e iluminación ZLID NIR opcional con LRF. Esta carga útil multisensorial permite que Viper proporcione imágenes de alta resolución en prácticamente cualquier entorno, desde niebla densa hasta oscuridad total. Diseñado para la puntería y la precisión de los sistemas de armas, cumple y supera las clasificaciones militares MIL-STD-810F para golpes, vibraciones, temperatura e ingreso de polvo/agua. Esto lo convierte en el último sistema de cámara de largo alcance para la conciencia situacional las 24 horas del día, los 7 días de la semana y el reconocimiento e identificación de objetivos de largo alcance. Algunas de sus características clave:

- Vigilancia PTZ EO/IR de ultra largo alcance de grado militar
- Carga útil Tri-Sensor: HD visible, iluminación ZLID y térmica
- Día/Noche 1080p HD IP ONVIF Sensor CMOS de 1/2,8" o 1/1,8"
- Lente de zoom de 16-2050 mm (con duplicador motorizado de 2x)
- Rango de zoom de 128X para un increíble campo de visión de 19° a 0,15°
- Enfoque automático y filtro antiniebla/luz parásita motorizado

- Mejoras: DWDR, HLC, ROI, EIS, 3DNR, niebla/neblina
- Color: 0,06 lux; Blanco y negro: 0,005 lux (0 lux con IR ZLID)
- 1-5 km ZLID IR Iluminación láser que se sincroniza con la lente de zoom
- HD 1280×720 $10\mu m$, cámara termográfica refrigerada por MCT
- Lente térmica con zoom de germanio de enfoque automático de 85–1400 mm
- Hasta 40 km de detección humana y 55 km de detección de vehículos
- Robusto -40° – $+60^{\circ}$ C IP67 sellado con acabado anticorrosión
- Impulsión síncrona elíptica Impulsor de giro e inclinación de grado de armas
- Rotación infinita de 360° con velocidades de hasta $240^{\circ}/s$
- Posicionamiento absoluto Juego cero Resolución de $0,00025^{\circ}$
- Estabilización giroscópica de 2 ejes y estabilización EIS de última generación
- Cumple y supera MIL-STD-810F para golpes y vibraciones
- EMI MIL-STD-461E para interferencia electromagnética

6.4.3 Paneles solares



Figura 22. Panel Solar (Towards, 2021)

Dos paneles solares *Towards monocristalinos 400W* para suplir las baterías internas.

Los paneles solares fotovoltaicos se constituyen en una multitud de celdas, llamadas células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en energía eléctrica. Este modelo es una óptima opción para instalar la máxima potencia en el menor espacio. Gracias a sus células monocristalinas de elevado rendimiento, tendremos casi un 25% más de producción respecto a un panel de 330W y con el mismo tamaño físico. Es un panel solar de 72 células. (Towards, 2021)

6.4.4 Sensor de pluviometría



Figura 23. Sensor de Lluvia (Hydreon, 2022)

Recolecta la información que representa cuánto llueve. Para ello usaremos un RG-11 Rain Gauge. Hydreon tiene un pluviómetro adecuado para casi cualquier aplicación que requiera un sensor de lluvia confiable y sensible. Según su fabricante (Corporation, n.d.), sus especificaciones son las siguientes:

- Sensor de alta precisión
- Control de limpiaparabrisas
- Detección de gotas
- Detección de condensación
- Modo «Está lloviendo»
- Con calentador incorporado para evitar las heladas
- Consumo de corriente 1,5 mA Nominal 15 mA Lloviendo
- Precisión $\pm 36\%$ 2/3 del tiempo

- Comunicación en serie RS232: no soporta registros transmitidos – Unidireccional
- Dimensiones:
 - Longitud: 121 mm (4,8 ")
 - Ancho: 71 mm (2,8 ")
 - Altura: 56 mm (2,2 ")
- Peso: 122 g (4,3 oz)
- Incluye conector a prueba de humedad

6.4.5 Pararrayos



Figura 24. Pararrayos (Conduground)

El pararrayos Franklin realiza una ionización natural limitando su radio de protección en forma de cono, para una descarga controlada y segura del rayo a tierra. Punta franklin de acero inoxidable AISI 316, con pieza de adaptación. (Conduground, 2022)

6.4.6 Kit Starlink (antena y router)

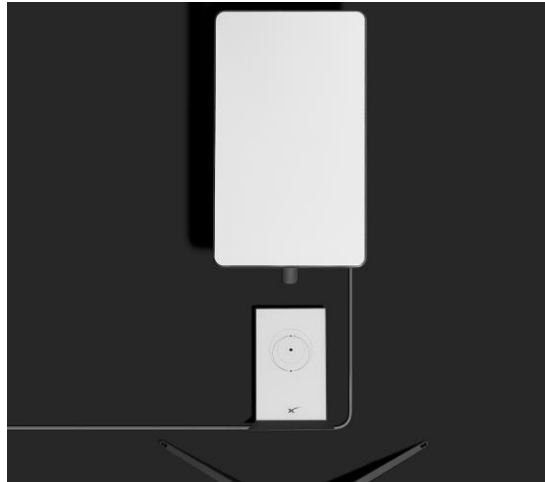


Figura 25 *Kit de Instalación (Starlink, 2022)*

Optaremos por una antena Starlink. La empresa provee un kit de instalación que incluye una base, que es ideal para una instalación a nivel del suelo o una configuración rápida para probar su conexión. Se incluirá un soporte, dado a que el servicio requiere una vista despejada del cielo para conectarse con la red satelital. Su resistencia al clima apta para soportar una amplia gama de temperaturas y condiciones climáticas lo hacen ideal para el sistema en cuestión.



Figura 26 *Antena (Starlink, 2022)*

6.4.7 Caja de circuitos

La caja de circuitos contiene dentro el microcontrolador Raspberry Pi y una batería de 12V. Fuera de la caja, pegado al lado se encuentra el sensor de humedad y el micrófono.

6.4.8 Inversor

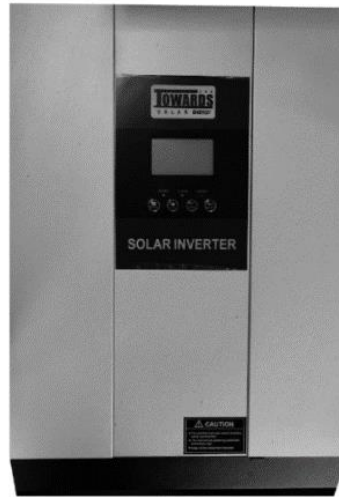


Figura 27. Inversor (Towards, 2022)

El inversor Towards inverter MPPT 5k 48vdc 220/110v fue seleccionado principalmente por su regulador MPPT, el cual ofrecerá la tensión correcta y jugará con la intensidad. Sus especificaciones son las siguientes:

- Salida de onda sinusoidal pura
- Interfaz de usuario amigable MFD (pantalla multifunción)
- Carga en 3 pasos
- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos
- Establecer voltaje de carga / corriente de carga
- El punto de apagado de la batería por baja tensión se puede configurar en 10 / 10.5 / 11V
- Establecer prioridad de servicio público / prioridad de batería
- Establecer la utilidad de entrada amplia / rango de médula
- Inverter Voltaje se puede configurar en 100/110/120 La frecuencia se puede configurar en 50 / 60Hz

- Configure el interruptor de encendido / apagado de carga de la red
- Cargador BDA MPPT integrado

6.4.9 Piranómetro



Figura 28. Piranómetro (SENSOVANT, 2014)

LP02 es un piranómetro de clase B que mide la radiación solar recibida por un superficie plana en un ángulo de 180°. Este sensor es usado con frecuencia en aplicaciones agrícolas, meteorológicas y de supervisión de rendimiento de sistemas fotovoltaicos. Citando al fabricante SENSOVANT, podemos afirmar lo siguiente sobre sus especificaciones:

- Medida: radiación solar hemisférica
- Clasificación ISO: piranómetro segunda clase o Clase B
- Incertidumbre de calibración: <1,8% (k = 2)
- Trazabilidad de calibración: a WRR
- Rango espectral: 300-2800 x 10⁻⁹m
- (Puntos de transmisión de 50%)
- Sensibilidad (nominal): 15 x 10⁻⁶ V / (W / m²)
- Temperatura de funcionamiento: -40 a +80 °C
- Respuesta de la temperatura: <± 3% (-10 a +40 ° C)
- Longitud de cable: 5 m, otras bajo pedido
- Protector solar Opcional

(SENSOVANT, 2014)

6.4.10 Sensor de dirección del viento



Figura 29. Sensor de dirección de viento. (Instruments, n.d.)

Mide la dirección del viento y transmite su valor de forma análoga, a partir de una velocidad del viento inferior a 0,8 m/s. Según su fabricante (Instruments, n.d.), podemos afirmar que "El sensor de dirección de viento se presenta en diferentes versiones, en función de la señal de salida. El sensor de dirección de viento está disponible con una salida de 4 a 20 mA y otra de 0 a 10 V DC."

Además, está hecho con una aleación de metal que lo protege de la oxidación y del polvo. Es resistente a condiciones meteorológicas adversas, lo cual lo hace un modelo perfecto para esta estación. (Instruments, n.d.)

6.4.11 Placa SBC

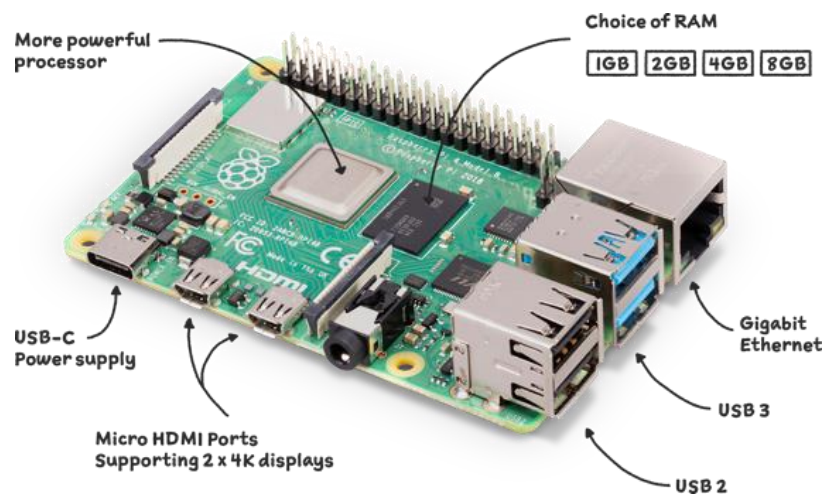


Figura 30. Raspberry Pi (Raspberry Pi Foundation, 2022)

El Raspberry Pi 4 es un ordenador de placa única en un solo circuito cuya asequibilidad y robustez lo hacen necesario para este sistema. Según (Solé, 2021) estas placas Raspberry Pi “se basan en un SoC de arquitectura ARM de bajo consumo y buen rendimiento”.

6.4.12 Sensor de humedad y temperatura



Figura 31. Sensor de temperatura y humedad (PCE Instruments, 2022).

El registrador climatológico PCE’HT 71N mide la temperatura y la humedad en el ambiente y almacena valores en la memoria interna, permitiendo ajustar la cuota de registro entre 2 segundos y 24 horas. Las especificaciones de este producto según el fabricante son las siguientes:

- Memoria para 32.000 valores
- Interfaz USB
- Software para el análisis de datos
- Incluye soporte mural
- Ajuste de la fecha y hora
- Ajuste de la cuota de registro (2 s ... 24 h)
- Pila de litio de larga duración
- Memoria EEPROM no volátil
- Indicación de estado por LED (alarma incluida)
- Ajuste de los valores límite de alarma

(PCE Instruments, 2022)

6.4 Distribución de Estaciones

Las estaciones estarán distribuidas en las siguientes ubicaciones:

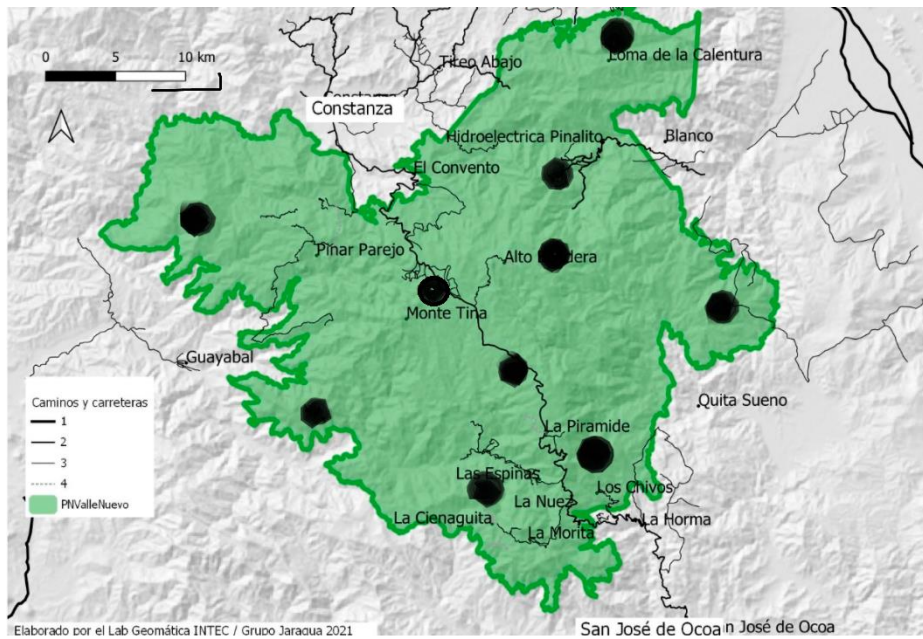


Figura 32. Distribución de estaciones en Valle Nuevo.

- Alto de la Bandera



Figura 33. Estación Alto Bandera (Elaboración propia)

- Pajón Blanco



Figura 34. Estación Pajón Blanco (Elaboración propia)

- Las Pirámides (izquierda del costado)

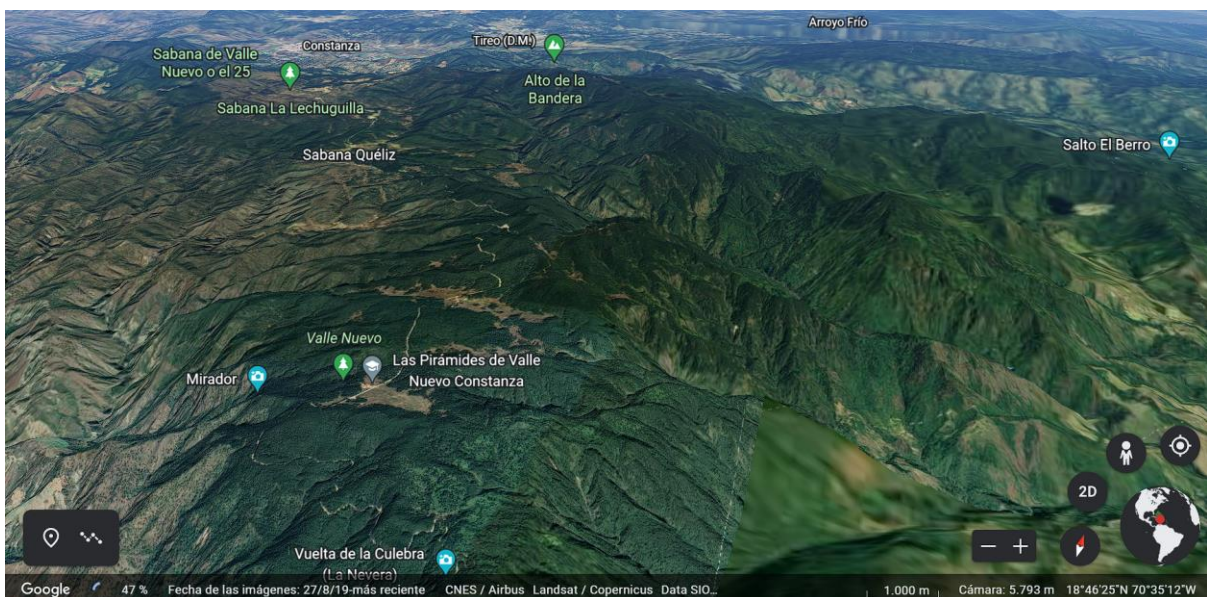


Figura 35. Estación Las Pirámides. Izquierda del costado. (Elaboración propia)

- Las pirámides (derecha del costado)

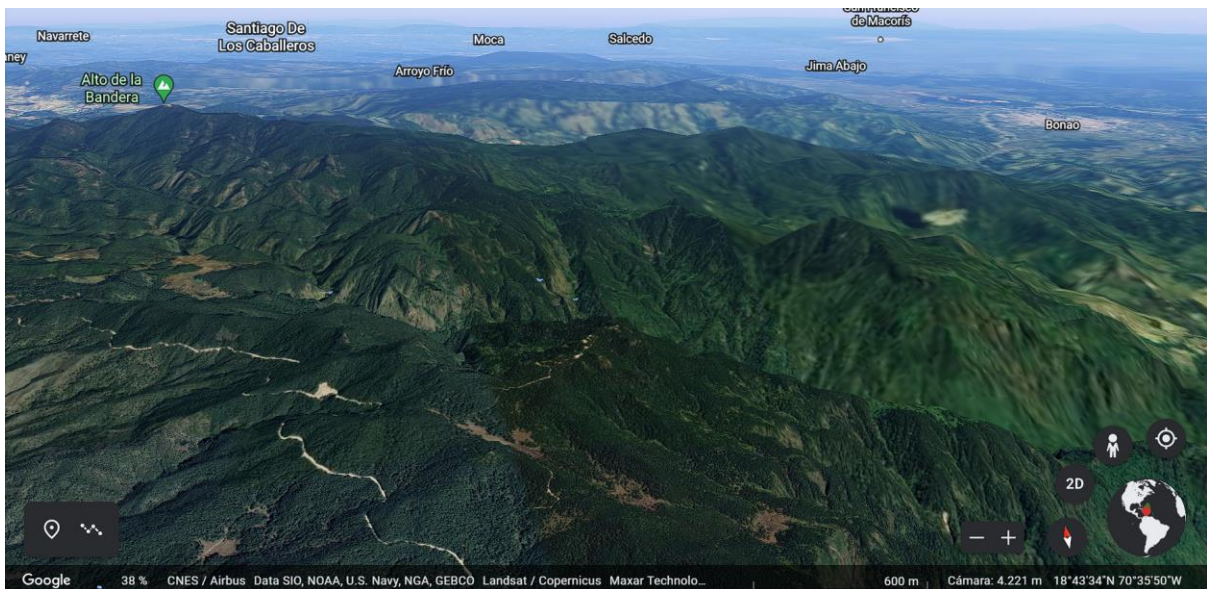


Figura 36. Estación Las Pirámides. Derecha del costado. (Elaboración propia)

- Interpolación Monte Tina – Las Pirámides



Figura 37. Estación Interpolación Monte Tina – Las Pirámides (Elaboración propia)

- Interpolación Pico Duarte – Pajón Blanco

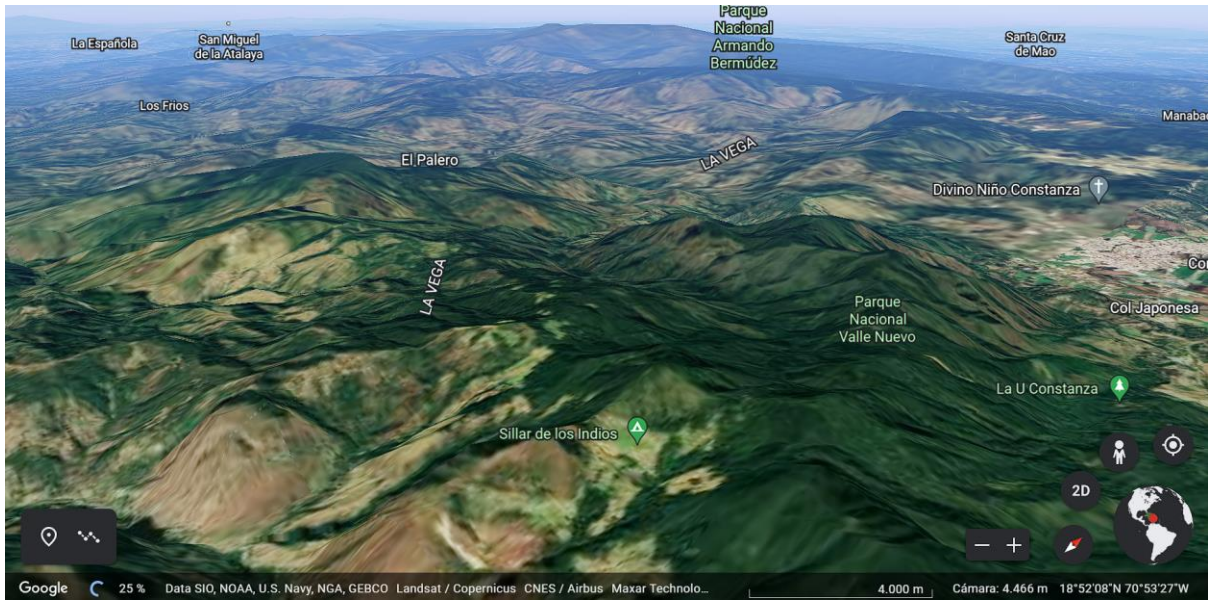


Figura 38. Estación Interpolación Pico Duarte – Pajón Blanco (Elaboración propia)

- Boca de los Ríos (monte al lado de Central Hidroeléctrica Pinalito)

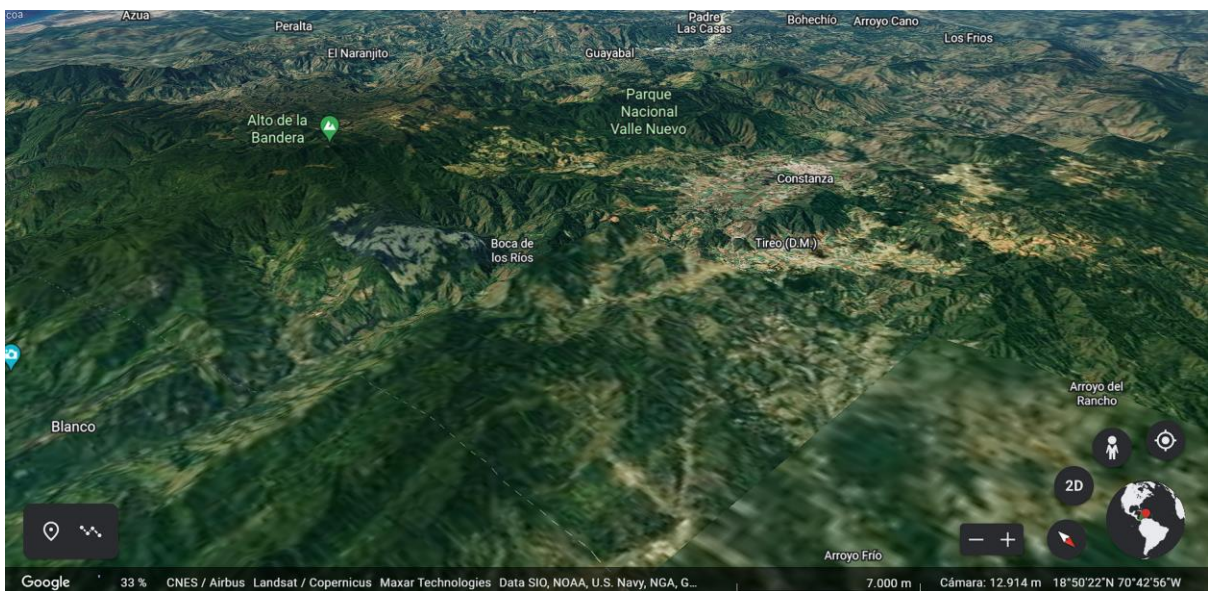


Figura 39. Estación Boca de los Ríos (Elaboración propia)

- Interpolación Alto Bandera – Banilejo



Figura 40. Estación Interpolación Alto Bandera – Banilejo (Elaboración propia)

- Interpolación Salto de Aguas Blancas – Frontera Azua



Figura 41. Estación Interpolación Salto de Aguas Blancas - Frontera Azua (Elaboración propia)

Para la definición de estas ubicaciones hemos hecho una visita a la estación de incendios de Pajón Blanco del Parque Valle Nuevo en donde conversamos con el guardaparques, quien nos comentó sobre las necesidades que se tienen actualmente en la torre de incendios y en base a eso en qué punto enfocar el sistema de detección y monitoreo de las estaciones y en qué puntos geográficos sería ideal ubicar las estaciones. Estos son los lugares que el guardaparques recomendó para ubicar las estaciones (ver min 14:02 del video Entrevista a guardaparques del Parque Nacional Valle Nuevo (Parte 2)):

- Pinar Parejo
- Monte Tina
- Pajón Blanco (monte 2)
- Las Pirámides

La ubicación de las demás estaciones se definió realizando un estudio de cobertura del campo de visión de las cámaras en base a los puntos más altos del Parque Valle Nuevo utilizando la aplicación FloodMap, pues a pesar de que las cámaras son de gran alcance, su campo de visión de puede ver reducido por el mismo relieve montañoso del área.

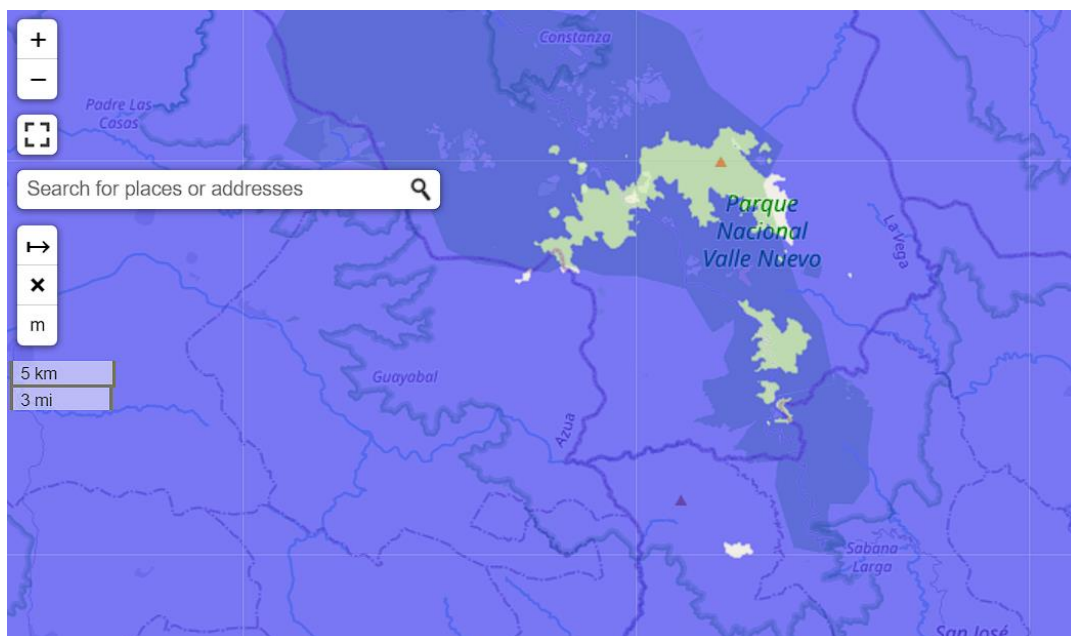


Figura 42. Estudio de Cobertura vía FloodMap (Elaboración propia)

Se procedió a hacer esto porque existen puntos ciegos en el campo de visión de la cámara producidos por los picos y montañas del rango de visión, como se muestra en la imagen.

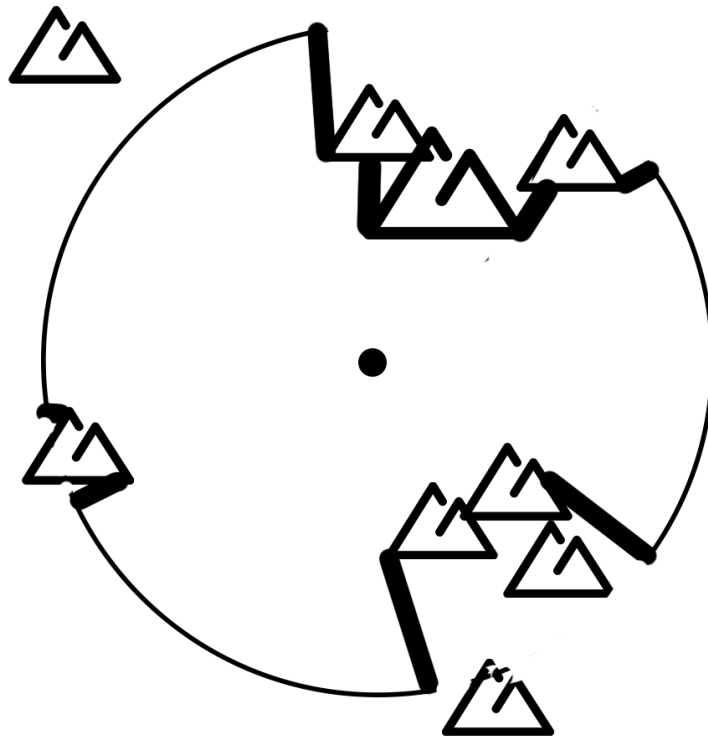


Figura 43. Puntos ciegos. (Elaboración propia)

Tomando en combinación la información suministrada por el guardaparques y la cobertura de cada cámara termográfica fue que hicimos esta selección de coordenadas.

6.5 Cobertura de Red

Un proyecto de IoT desarrollado en una zona alejada de los centros urbanos altamente conectados representa un reto a la hora de presentarse como una solución eficiente y útil en términos de conexión de red. El relieve montañoso añade una capa de dificultad a la ya difícil tarea de conectar estas estaciones de monitoreo.

Para poder decidir qué decisión tomar con respecto a nuestro proveedor de servicios de internet, exploramos los mapas de cobertura de las compañías proveedoras de internet más importantes de la República Dominicana.

6.6.1 Altice

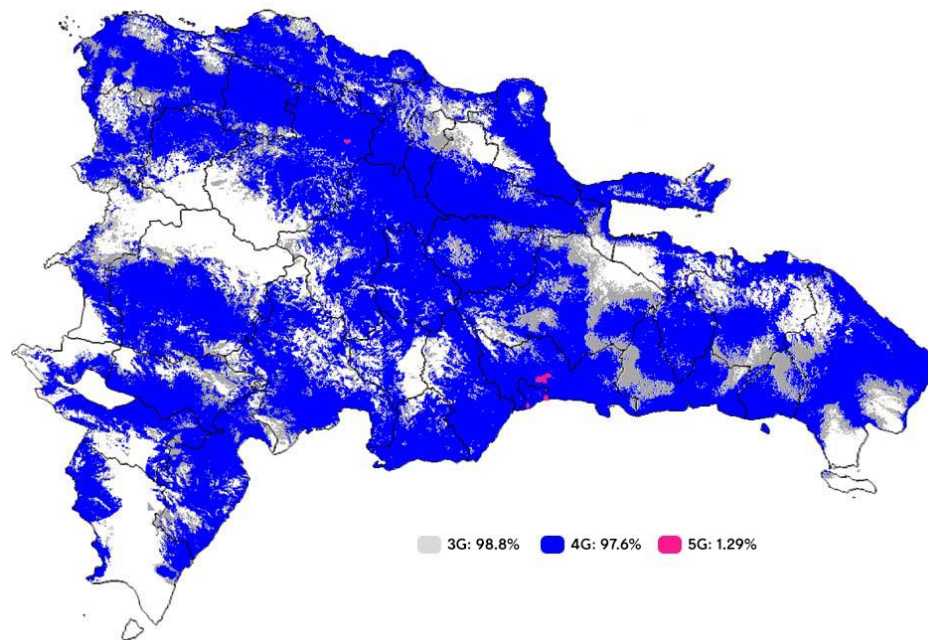


Figura 44. Mapa Cobertura (Altice, 2022)

Para determinar el porcentaje de cobertura con respecto al parque Valle Nuevo se procedió a realizar una proyección utilizando Photoshop del área con respecto al área de cobertura del proveedor de servicios. Después de calcular esto, usamos un programa para contar los píxeles por color. En el caso de esta imagen los píxeles azules representan el área de cobertura y los píxeles blancos áreas no cubiertas. Basta calcular la proporción de píxeles cubiertos sobre píxeles completos para calcular el total.

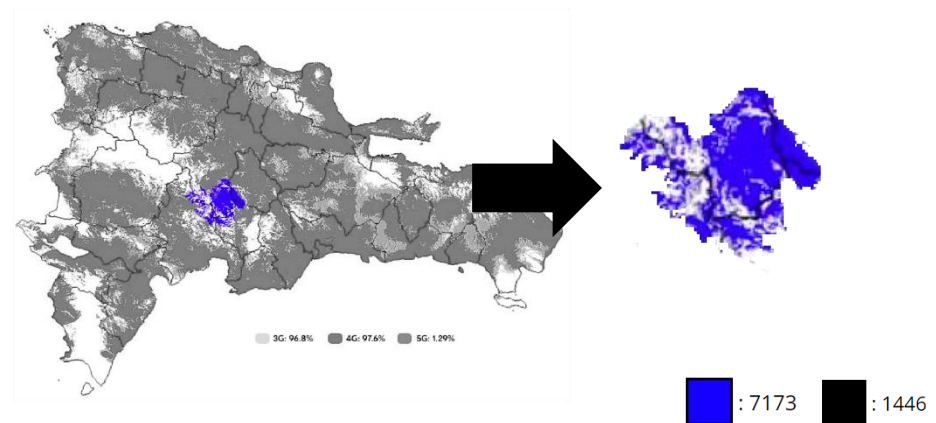


Figura 45. Cobertura de Altice en Valle Nuevo (Elaboración Propia)

En el caso de Altice, pudimos concluir que tiene una cobertura aproximada de **83.22%** para el parque de Valle Nuevo.

6.6.2 Claro

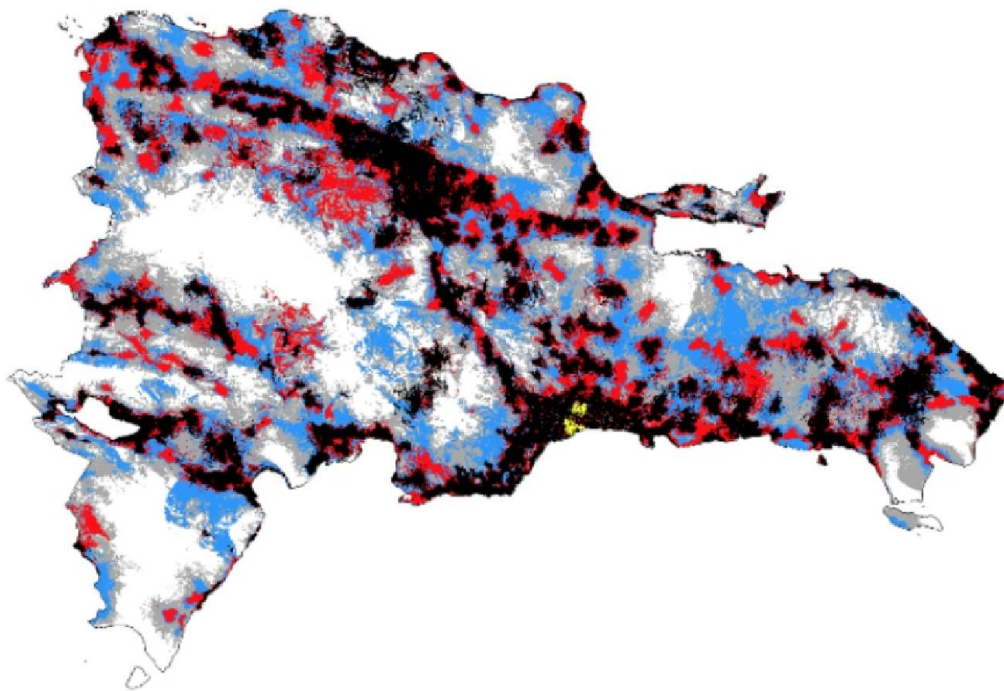


Figura 46. Mapa de Cobertura Claro (Claro, 2022)

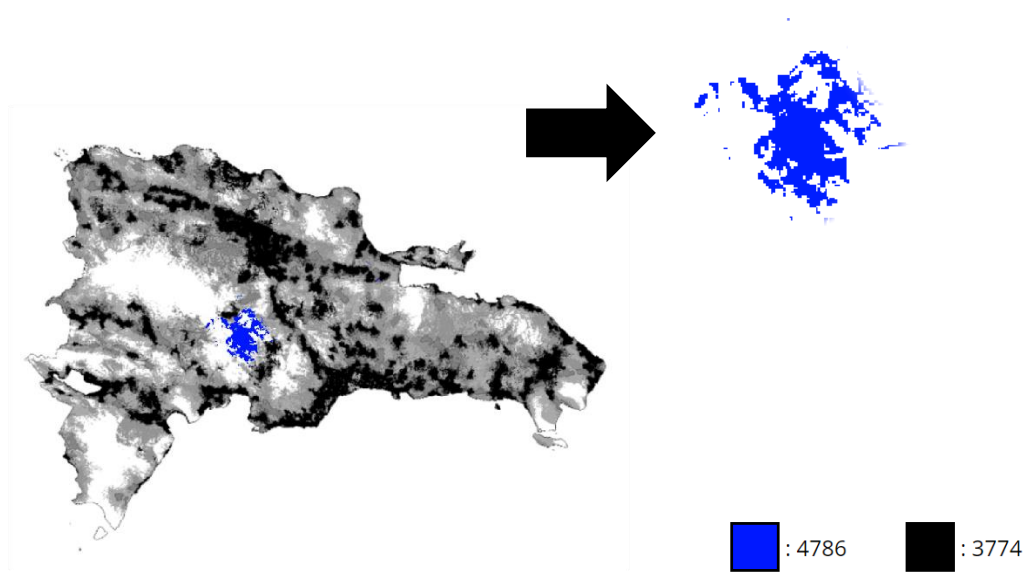


Figura 47 Cobertura de Claro en Valle Nuevo (Elaboración Propia)

En el caso de Claro, calculamos que cuenta con una cobertura aproximada de 55.91% del Parque Valle Nuevo.

6.6.3 Starlink

Starlink es la nueva proveedora de servicios de internet satelital a nivel mundial. Starlink fue una de las opciones más interesantes que tomamos en cuenta para este proyecto por la naturaleza de nuestro caso, que consiste en un conglomerado de estaciones en una zona rural con poco acceso a la comunicación móvil o internet.

Para Starlink esto no es una limitante, ya que como el internet es satelital puede accederse al mismo desde cualquier zona con facilidad, solo tomando en cuenta que puede generarse interferencia en la conexión es casos de tormenta. Según información este proveedor de servicios en su página web (Starlink, 2022), sus beneficios son los siguientes:

- Tiene 100% de cobertura en todo el territorio nacional.
- Alta velocidad, baja latencia. Con altas velocidades y latencia de tan solo 20 ms en la mayoría de las ubicaciones, Starlink permite videollamadas, juegos en línea, transmisión y otras actividades de alta velocidad de datos que históricamente no han sido posibles con Internet por satélite. Los usuarios también tienen la opción de llevar Starlink con ellos a través de la función Portabilidad o el servicio Starlink para RV.

- Fácil de configurar. Su kit de Starlink llega con todo lo que necesita para obtener conectividad, incluyendo la Starlink, el router Wi-Fi, la fuente de poder, los cables y la base. Starlink requiere una vista despejada del cielo para conectarse. Descargue la aplicación de Starlink para determinar su mejor ubicación de instalación.
- Ideal para comunidades rurales y remotas. Starlink es ideal para áreas donde la conectividad no ha sido confiable o completamente indisponible. Personas de todo el mundo están utilizando Starlink para obtener acceso a educación, servicios de salud e incluso soporte de comunicaciones durante desastres naturales.

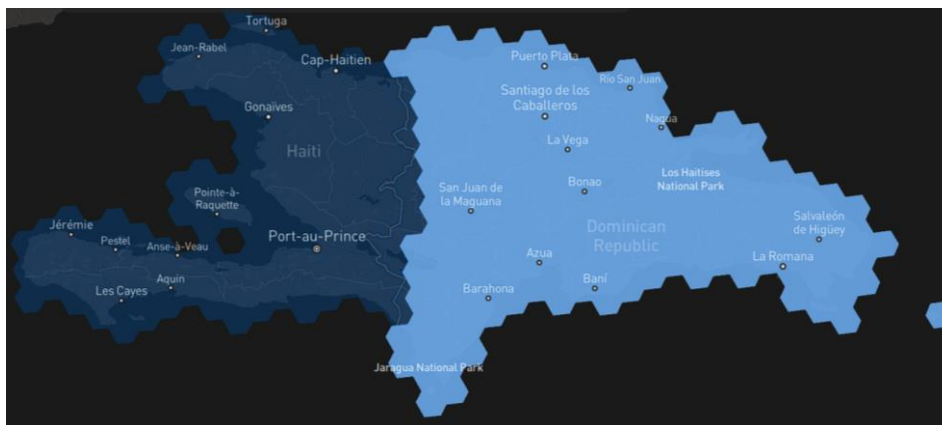


Figura 48. Mapa de Cobertura Starlink en República Dominicana (Starlink, 2022)

6.7 Recursos Cloud

La computación en la nube es pocas palabras “la entrega de servicios informáticos, incluidos servidores almacenamiento, bases de datos, redes, software, análisis e inteligencia, a través de Internet (“la nube”) para ofrecer una innovación más rápida, recursos flexibles y economías de escala”(Microsoft, 2022d, párr. 1). De acuerdo con la organización ya mencionada en uno de sus artículos publicados, algunos de los beneficios más importante de este tipo de tecnología son los siguientes:

1. Costo: La computación en la nube elimina el gasto de capital de comprar hardware y software y configurar y ejecutar centros de datos en el sitio: los bastidores de servidores, la electricidad las 24 horas para energía y refrigeración, y los expertos en TI para administrar la infraestructura. Se suman rápidamente.

2. Velocidad: La mayoría de los servicios de computación en la nube se brindan en autoservicio y bajo demanda, por lo que incluso grandes cantidades de recursos informáticos se pueden aprovisionar en minutos, generalmente con solo unos pocos clics del mouse, brindando a las empresas mucha flexibilidad y eliminando la presión de la planificación de la capacidad.

3. Escala global: Los beneficios de los servicios de computación en la nube incluyen la capacidad de escalar grandemente. En el lenguaje de la nube, eso significa entregar la cantidad correcta de recursos de TI, por ejemplo, más o menos poder de cómputo, almacenamiento, ancho de banda, justo cuando se necesitan y desde la ubicación geográfica correcta.

4. Productividad: Los centros de datos en el sitio generalmente requieren una gran cantidad de "estantería y apilamiento": configuración de hardware, parches de software y otras tareas de administración de TI que consumen mucho tiempo. La computación en la nube elimina la necesidad de muchas de estas tareas, por lo que los equipos de TI pueden dedicar tiempo a lograr objetivos comerciales más importantes.

5. Rendimiento: Los mayores servicios de computación en la nube se ejecutan en una red mundial de centros de datos seguros, que se actualizan regularmente a la última generación de hardware informático rápido y eficiente. Esto ofrece varios beneficios sobre un solo centro de datos corporativo, incluida una latencia de red reducida para aplicaciones y mayores economías de escala.

6. **Fiabilidad:** La computación en la nube hace que la copia de seguridad de datos, la recuperación ante desastres y la continuidad del negocio sean más fáciles y menos costosas porque los datos se pueden duplicar en múltiples sitios redundantes en la red del proveedor de la nube.

7. **Seguridad:** Muchos proveedores de la nube ofrecen un amplio conjunto de políticas, tecnologías y controles que fortalecen su postura de seguridad en general, lo que ayuda a proteger sus datos, aplicaciones e infraestructura de posibles amenazas. (Microsoft, 2022d, párr. 3-9)

Para este proyecto se alejaron todos los recursos en el grupo de recursos rg-Unibe-dev-eastus2-001. Empleando la suscripción de Azure Student que nos ofrece Unibe se crearon este grupo de recursos en la nube en conjunto con otros que serán detallados a continuación:

- **Azure Stream Analytics:** Es un motor de procesamiento de flujos completamente administrado y diseñado con el objetivo de analizar y procesar grandes volúmenes de datos de streaming con latencias de submilisegundos. Es posible identificar patrones y relaciones en los datos suministrados a partir de una diversidad de orígenes de entrada, entre las cuales podemos mencionar: aplicaciones, dispositivos, sensores, flujos de clics y orígenes de los medios sociales. A través de estos patrones, se pueden desencadenar acciones y flujos de trabajo como: la creación de alertas, la provisión e información a una herramienta de generación de informes o el almacenamiento de datos transformados para su uso posterior (Microsoft, 2022c).

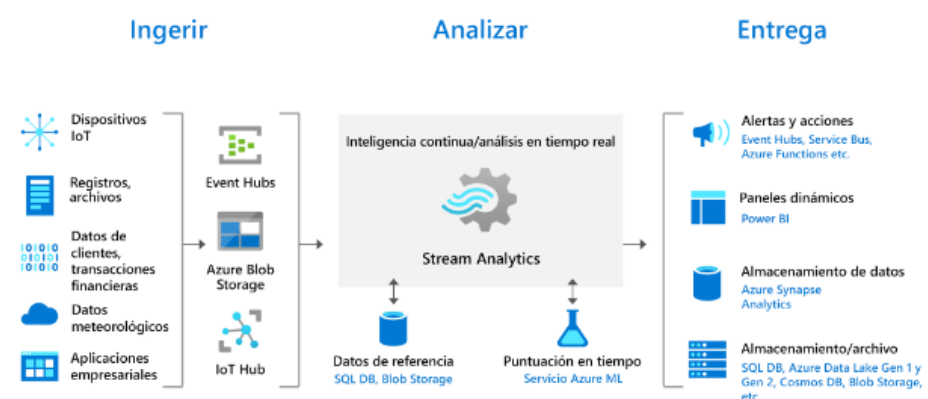


Figura 49. Funcionamiento de Azure Stream Analytics (Microsoft, 2022c)

- Azure IoT Hub: “Es un servicio administrado hospedado en la nube que actúa como un centro de mensajes central para la comunicación entre una aplicación de IoT y sus dispositivos” (Microsoft, 2022e).
- Azure Machine Learning: Permite acelerar y administrar el ciclo de vida de proyectos de aprendizaje automático. Cualquier profesional del aprendizaje automático, científico o analista de datos o ingeniero puede usarlo en flujos de trabajos cotidianos como el entrenamiento de modelos y administración de MLOps. También, es posible crear un modelo creado a partir de una plataforma open source como TensorFlow, Pytorch o Scikit-learn (Microsoft, 2022f).
- Azure Key Vault: Es un servicio en la nube que permite al usuario almacenar y controlar estrictamente el acceso a claves de API, contraseñas, certificados o claves criptográficas. Este servicio admite dos tipos de contenedores: almacenes y grupos administrados de módulos de seguridad de hardware (HSM). Dichos almacenes admiten el almacenamiento de softwares y claves, secretos y certificados respaldados por HSM y, los grupos administrados de módulos aceptan exclusivamente claves respaldadas por HSM. (Microsoft, 2021)
- Azure Functions: Es una solución sin servidor que proporciona “compute on-demand” o “computación por demanda” en dos renglones claves como implementar la lógica de un sistema en bloques de código disponibles, denominados “funciones” y en satisfacer la demanda de recursos e instancias de funciones, permitiendo su aumento o disminución tanto como sea necesario (Microsoft, 2022b).
- Azure Application Insights: Proporciona administración extensible del rendimiento de la aplicación (APM) y supervisión para aplicaciones web en vivo. Es muy útil a la hora de detectar anomalías de rendimiento, diagnosticar problemas a través de herramientas de análisis, ver las acciones de sus usuarios, y ayudar a mejorar continuamente el rendimiento y la usabilidad de la aplicación (Microsoft, 2022b).
- Azure App Service: Basado en HTTP se encarga de hospedar aplicaciones web, API REST y back-ends móviles. Permite desarrollar en cualquier

lenguaje de programación y las explicaciones se ejecutan y escalan con facilidad en entornos Windows y Linux (Microsoft, 2022a).

- Power BI: Es una solución de análisis e inteligencia empresarial hospedado en la nube que permite unir varias fuentes de datos, analizarlos, procesarlos, disponer de esta información en tiempo real en un solo lugar y preparar informes creativos y, paneles y gráficos interactivos. (Menéndez, 2022) abunda sobre las bondades de la plataforma con las siguientes palabras:

Power BI nos permite analizar los datos y obtener patrones “poco visibles” que nos ayudan a sacar conclusiones y tomar decisiones a favor de nuestra organización. Para ello puede utilizar pronósticos, agrupaciones, medidas rápidas; y para usuarios más avanzados esta herramienta proporciona un potente lenguaje de fórmulas DAX, que nos da un control total sobre el modelo. También cuenta con una funcionalidad de inteligencia artificial, que no requiere código, con la que los usuarios pueden descubrir “información oculta” que permite realizar pronósticos futuros y resultados estratégicos a nivel empresarial. (sección Origen de datos, párr. 4)

Para nombrar los recursos optamos por emplear la siguiente nomenclatura:

[siglas del recurso]-[proyecto]-[ambiente]-[región de alojo de servidor]-[no] }

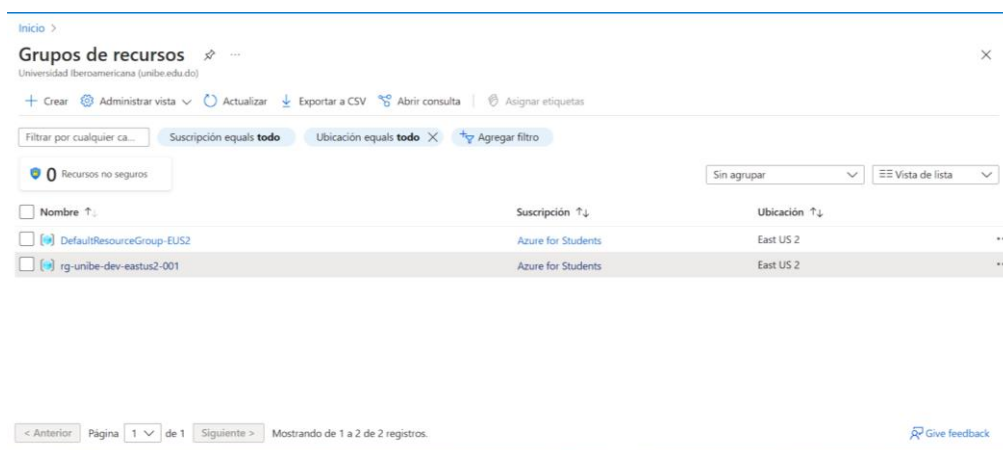


Figura 50. Grupo de recursos en Azure (Elaboración propia)

El grupo de recursos contiene dentro los siguientes recursos:

- 2 jobs de Stream Analytics saj-valleneuve-dev-eastus2-001, saj-valleneuve-dev-eastus2-002
- 1 servidor svr-valleneuve-dev-eastus2-001
- 1 base de datos db-valleneuve-eastus2-001

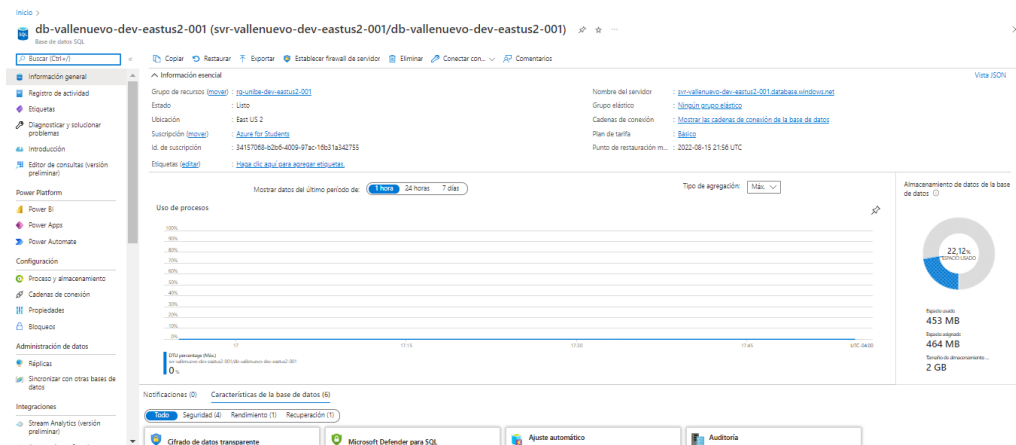


Figura 51. Especificaciones técnicas de base de datos SQL en Azure (Elaboración Propia)

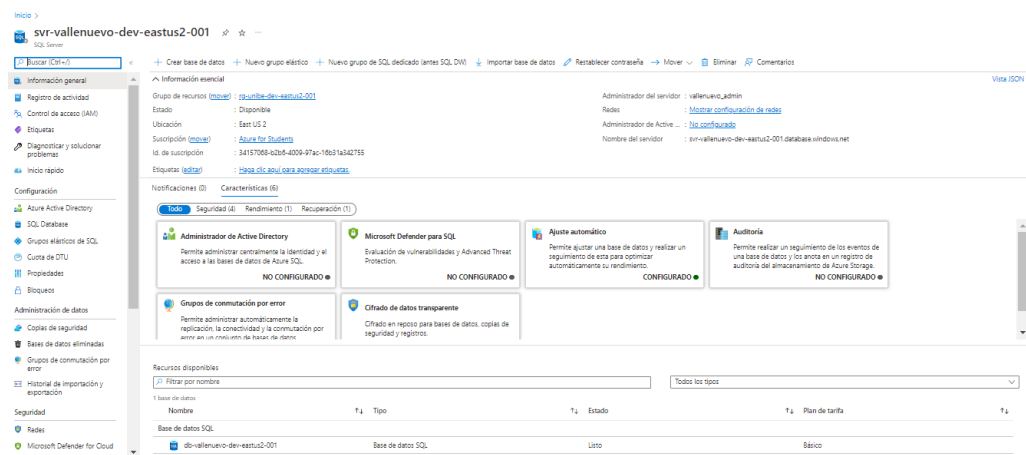


Figura 52. Especificaciones técnicas de SQL server en Azure (Elaboración Propia)

- 1 storage account rgUnibedeveastusab1f

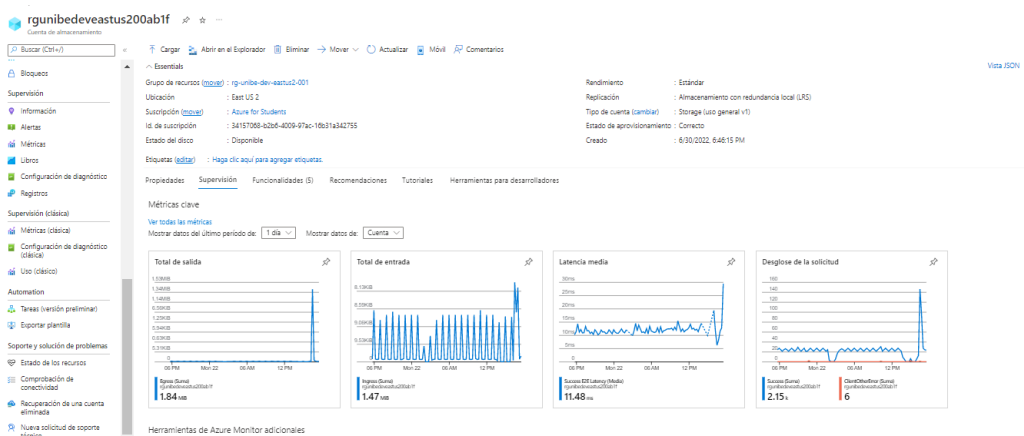


Figura 53. Especificaciones técnicas del storage center en Azure (Elaboración Propia)

- 1 almacén de claves Azure Key Vault kvs-valleneuve-001

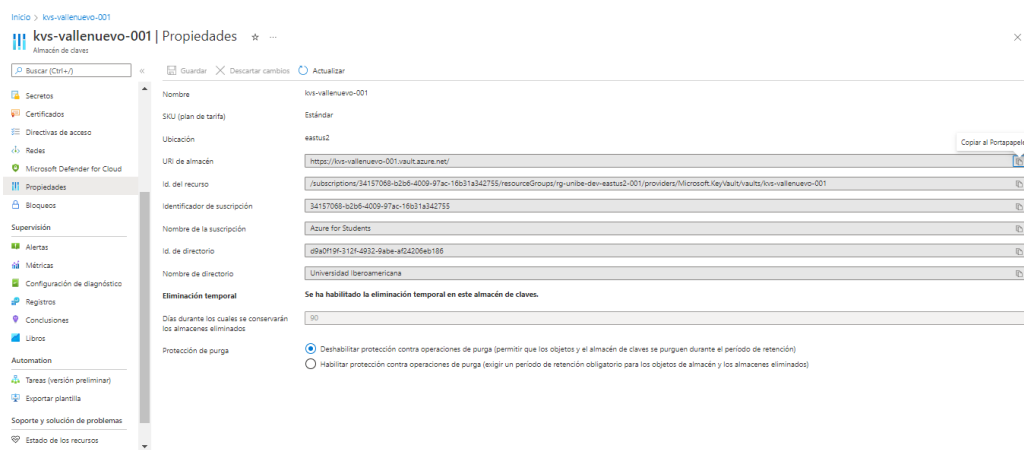


Figura 54. Especificaciones técnicas de Azure Key Vault (Elaboración Propia)

- 1 recurso de Azure IoT Hub `iot-valleneuve-eastus2-001`

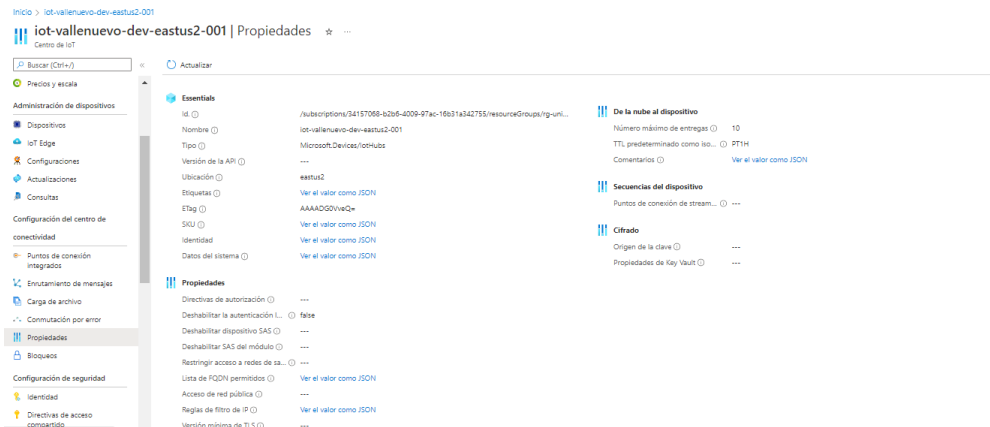


Figura 55. Especificaciones técnicas del Azure IoT Hub (Elaboración Propia)

- 1 plan de App Service `ASP-rgUnibedeveastus2001-81a0`



Figura 56. Especificaciones técnicas de Azure App Service (Elaboración Propia)

- 1 workspace de Power BI
- 1 dashboard de Power BI
- 1 Azure Machine Learning Workspace `aml-valleneuve-eastus2-001`

aml-vallenevo-eastus2-001 | Propiedades

Azure Machine Learning

Buscar (Ctrl+F)

Etiquetas

Diagnosticar y solucionar problemas

Eventos

Configuración

Redes

Propiedades

Bloqueos

Supervisión

Alertas

Métricas

Configuración de diagnóstico

Registros

Automation

Tareas (versión preliminar)

Exportar plantilla

Soporte y solución de problemas

Uso y cuotas

Nueva solicitud de soporte

Creado el 2022-07-25T22:42:33.5400941+00:00

Ubicación eastus2

Id. del área de trabajo 296fd7f-aa6d-4ba8-89cc-6e6300791cd

Id. de suscripción 34157068-b2b6-4009-97ac-18631a342755

Nombre de la suscripción Azure for Students

Grupo de recursos rg-unibe-dev-eastus2-001

Id. de recurso /subscriptions/34157068-b2b6-4009-97ac-18631a342755/resourceGroups/rg-unibe-dev-eastus2-001/providers/Microsoft.MachineLearningServices/workspaces/aml-vallenevo-eastus2-001

Id. de la cuenta de almacenamiento /subscriptions/34157068-b2b6-4009-97ac-18631a342755/resourceGroups/rg-unibe-dev-eastus2-001/providers/Microsoft.Storage/storageAccounts/rgunibedeveastus200a01f

Id. de registro de contenedor -

Id. del almacén de claves /subscriptions/34157068-b2b6-4009-97ac-18631a342755/resourceGroups/rg-unibe-dev-eastus2-001/providers/Microsoft.KeyVault/vaults/kv-vallenevo-001

Application Insights

Figura 57. Especificaciones técnicas de Azure Machine Learning (Elaboración Propia)

- 1 Azure Function azf-vallenevo-dev-eastus2-001

azf-vallenevo-dev-eastus2-001 | Propiedades

Aplicación de funciones

Buscar (Ctrl+F)

Propiedades

Bloqueos

Plan de App Service

Plan de App Service

Cuentas

Cambiar el plan de App Service

Herramientas de desarrollo

Extensiones

API

API Management

CORS

Estado Running

Dirección URL azf-vallenevo-dev-eastus2-001.azurewebsites.net

Dirección IP virtual 52.177.169.150

Modo Consumo

FTP/usuario de implementación No se definió ningún FTP/usuario de implementación

Nombre del host FTP ftp://waiss-prod-bn1-025.fpa.azurewebsites.windows.net/site/wwwroot

Registros de diagnóstico de FTP ftp://waiss-prod-bn1-025.fpa.azurewebsites.windows.net/site/wwwroot/LogFiles

Nombre del host FTPS ftps://waiss-prod-bn1-025.fpa.azurewebsites.windows.net/site/wwwroot

Registros de diagnóstico de FTPS ftps://waiss-prod-bn1-025.fpa.azurewebsites.windows.net/site/wwwroot/LogFiles

Figura 58. Especificaciones técnicas de Azure Function (Elaboración Propia)

azf-vallenevo-dev-eastus2-001 | Propiedades

Aplicación de funciones

Buscar (Ctrl+F)

Propiedades

Bloqueos

Plan de App Service

Plan de App Service

Cuentas

Cambiar el plan de App Service

Herramientas de desarrollo

Extensiones

API

API Management

CORS

Registros de diagnóstico de FTP ftp://waiss-prod-bn1-025.fpa.azurewebsites.windows.net/site/wwwroot/LogFiles

Nombre del host FTP ftp://waiss-prod-bn1-025.fpa.azurewebsites.windows.net/site/wwwroot

Registros de diagnóstico de FTPS ftps://waiss-prod-bn1-025.fpa.azurewebsites.windows.net/site/wwwroot/LogFiles

Identificador de recurso /subscriptions/34157068-b2b6-4009-97ac-18631a342755/resourceGroups/rg-unibe-dev-eastus2-001/providers/Microsoft.Web/sites/azf-vallenevo-dev-eastus2-001

Ubicación East US 2

Grupo de recursos rg-unibe-dev-eastus2-001

Cambiar el grupo de recursos

Nombre de la suscripción Azure for Students

Id. de la suscripción 34157068-b2b6-4009-97ac-18631a342755

Figura 59. Propiedades técnicas de Azure Function (Elaboración Propia)

- 1 Application Insights Resource ain-vallenuevo-dev-eastus2-001



Figura 60. Propiedades técnicas de Azure Application Insights (Elaboración Propia)

Para la administración de controles de acceso (IAM) se usa el mismo componente que posee Azure para esa labor. Actualmente solo tienen acceso a ese grupo de recursos los usuarios autorizados en el sistema que son los sustentantes de este trabajo de tesis. (Además de Christopher Borona quien administra las suscripciones de Azure de UNIBE)

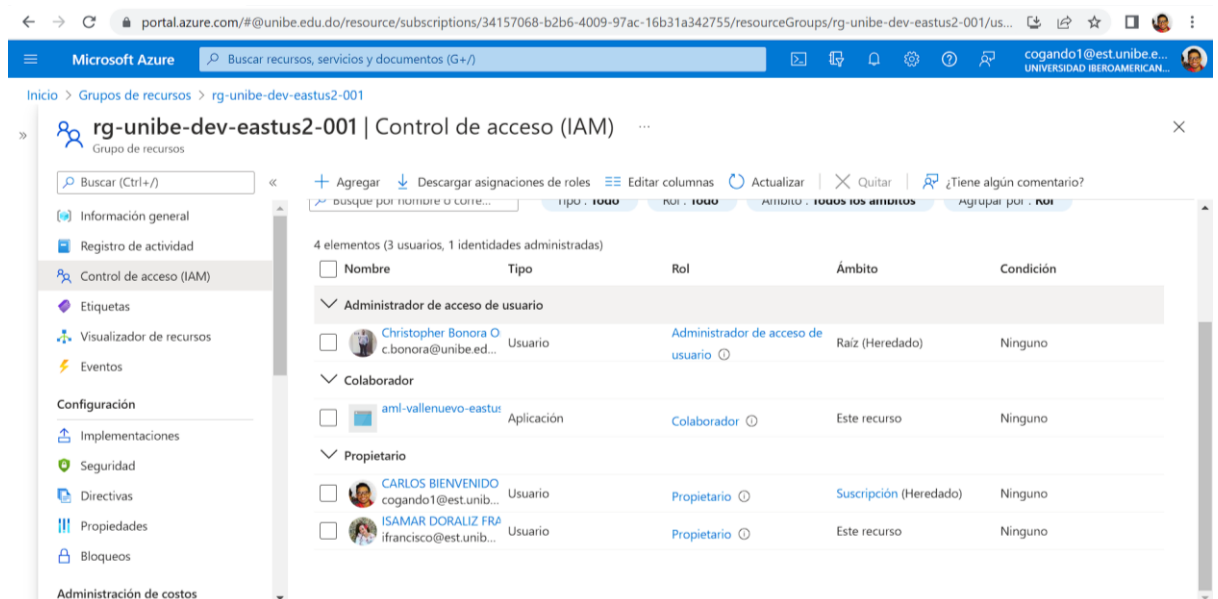


Figura 61. Control de acceso del grupo de recursos de Azure (Elaboración propia)

Para una añadir otra capa de seguridad nuestras fuentes de datos cuentan igual con un Firewall que solo da acceso a las IP que asignemos.

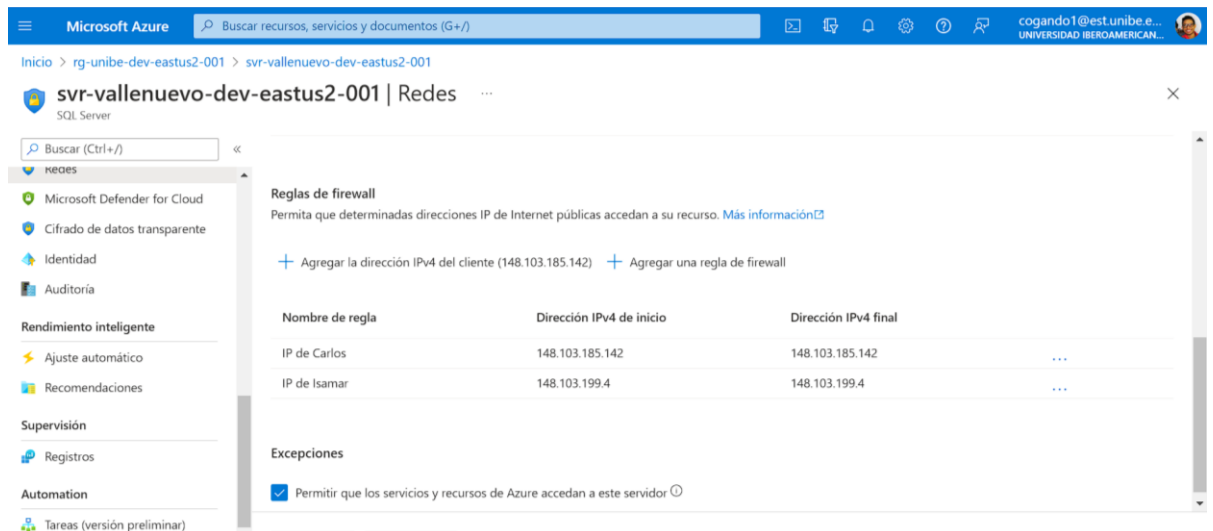


Figura 62. Servicios de Redes en Azure (Elaboración propia)

Para esta demo solo tenemos acceso nosotros como desarrolladores a la base de datos, además de los otros servicios de Azure que creamos con las llaves correspondientes de Azure Key Vault.

6.8 Configuración de dispositivos IoT

Para configurar los dispositivos IoT se usa el SDK de Python para Raspberry Pi y Azure IoT Hub. De igual forma, se debe instalar en el device el Azure IoT Hub Explorer y Azure IoT Edge para realizar la conexión al centro de dispositivos IoT.

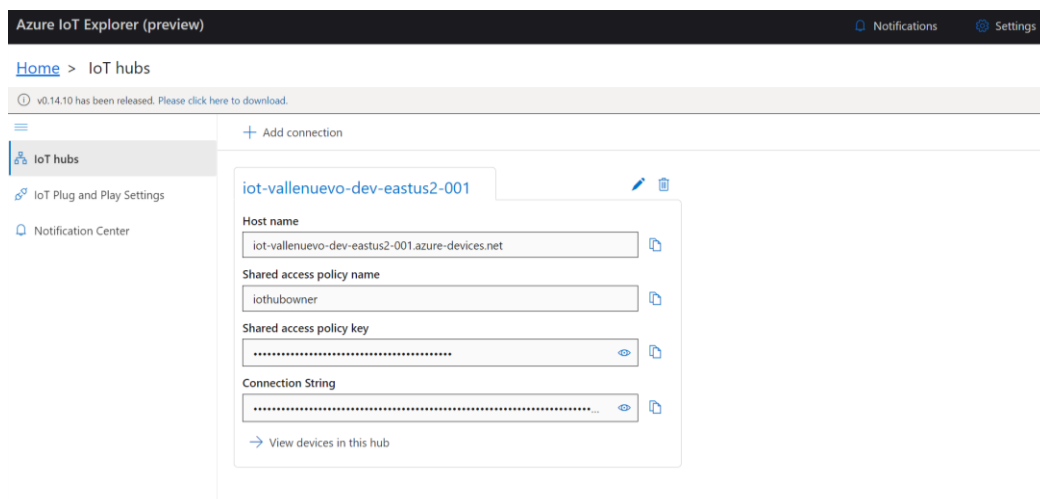


Figura 63. Azure IoT Explorer (Elaboración propia)

Aquí podremos encontrar la lista de dispositivos y las telemetrías en vivo de cada uno.

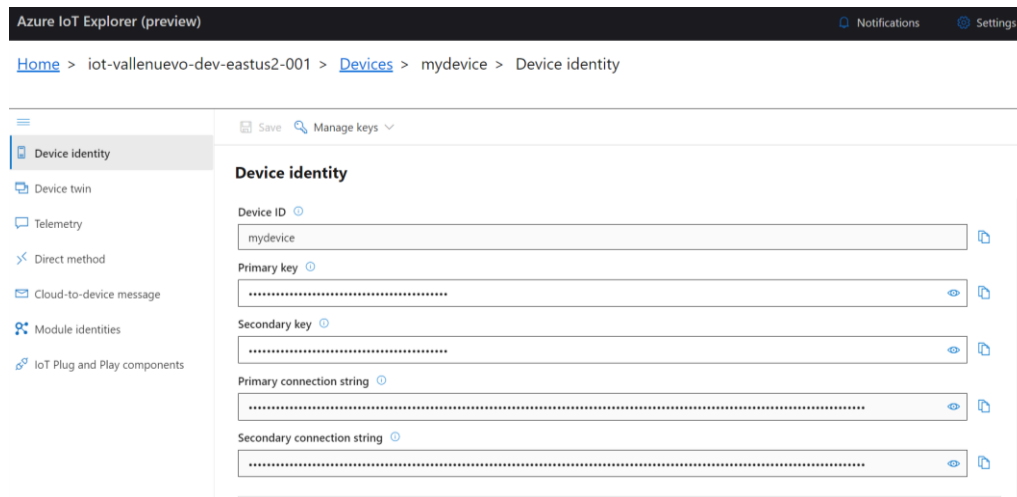


Figura 64. Device Identity en el Azure IoT Explorer (Elaboración propia)

6.9 Entrenamiento de modelos de inteligencia artificial

Los modelos de inteligencia artificial fueron entrenados en Azure Machine Learning Studio, un recurso que creamos con nuestra suscripción de Azure Student que no ofrece UNIBE.

Para el desarrollo de modelos en AML se creó una máquina virtual de modelo DS11_v2 con 2 cores, 14 GB de RAM y 28 GB de Storage como configuración más básica.

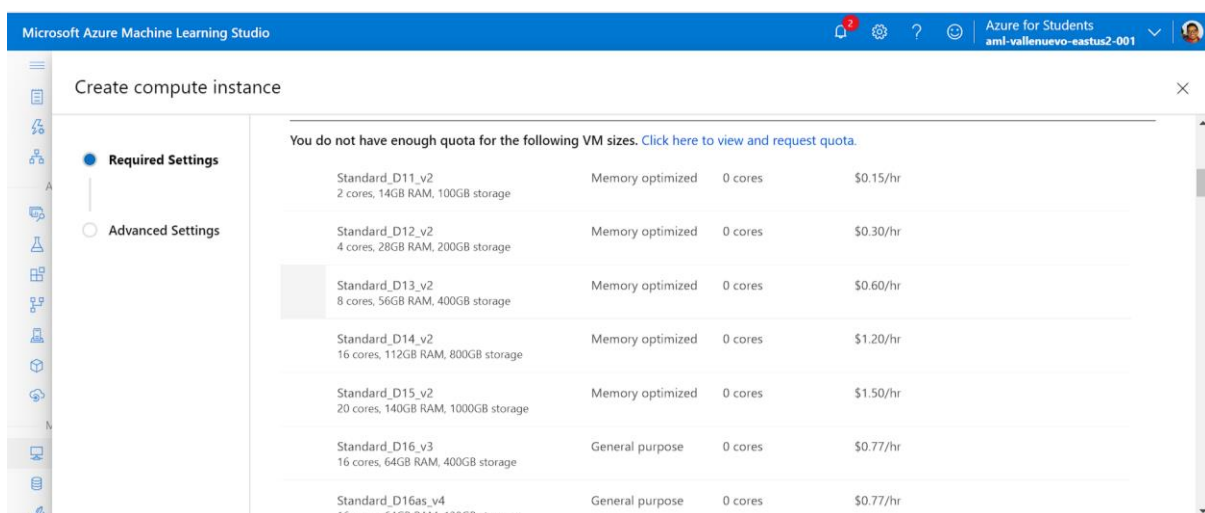


Figura 65. Compute instance creation en Microsoft Azure Machine Learning (Elaboración propia)

Esta máquina contiene el cuaderno de Jupyter que usamos para entrenar los modelos de IA. Para esta demo usaremos de ejemplo el modelo de clasificación de audio.

Este modelo lo que busca es a partir de un audio detectado por un micrófono poder clasificar si es sonido de sierra, hacha, sierra eléctrica, árboles, pájaros, entre otros e indicar el nivel de confianza del resultado o nivel de probabilidad de la clase.

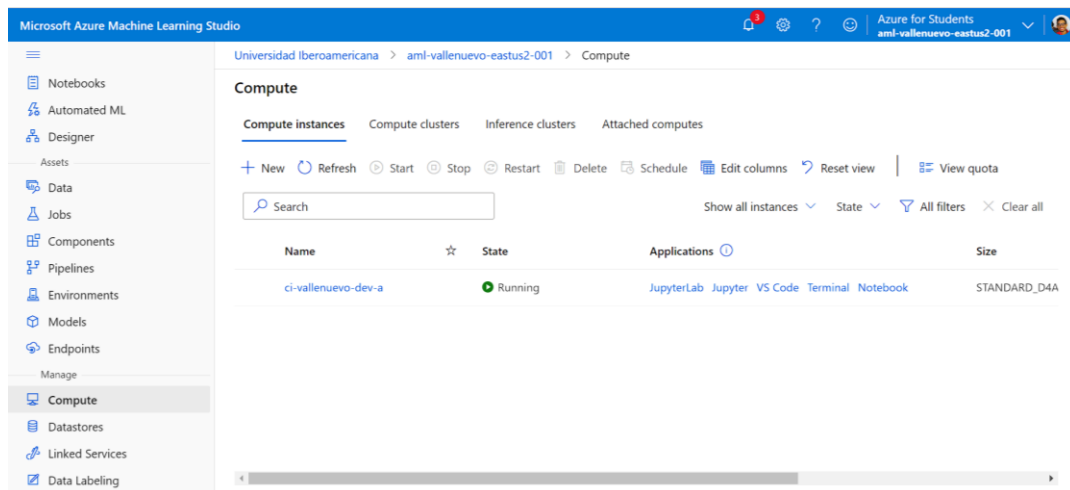


Figura 66. Compute instance en Azure Machine Learning (Elaboración propia)

Para el desarrollo de los modelos se usaron cuadernos de Jupyter con Python, las siguientes librerías:

- Librosa: para análisis de espectrograma de audio y frecuencias mel.
- TensorFlow: para creación de redes neuronales.
- Scikit-learn: para la validación del modelo.
- Pandas y Numpy: para procesamiento de la data matemática/tabular y exportación.

Se determinó como margen mínimo de confianza o probabilidad para aceptar una clase como detectada el número 0.9, es decir 90%. Pues, durante el proceso de pruebas convergimos en que era el valor más coherente

6.9.1 Recolección de datos y etiquetado

Para poder entrenar este modelo de reconocimiento de audio se tuvo que recolectar una muestra mínima de 500 audios en formato .WAV de diez segundos cada uno. Para ello minamos en internet a través de varios videos los audios en formato mp3 en donde aparecían

estos sonidos. Luego a través del programa Audacity procedió a editar los clips y cortarlos en pedazos iguales y por último a validar, limpiarlos y compilarlos en formato rar. Esta es una labor extremadamente laboriosa y que toma bastante tiempo. Es una de las características más únicas del Machine Learning supervisado y se le conoce como etiquetado.

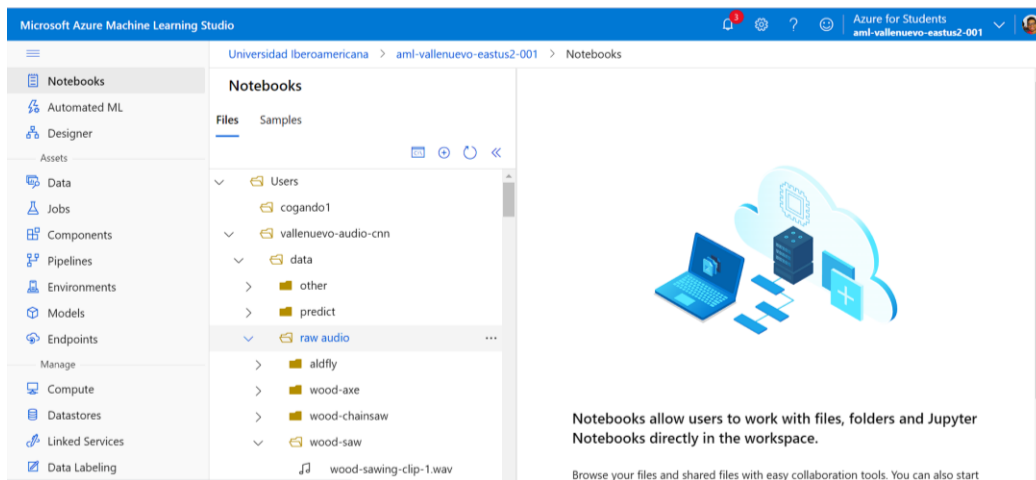


Figura 67. Notebooks en MS Azure Machine Learning Studio (Elaboración propia)

La data recolectada fue etiquetada de la siguiente forma:

- 100 archivos wav como “aldfly” (aves)
- 100 archivos wav como “trees” (árboles)
- 100 archivos wav como “wood-axe” (sonido de hacha)
- 100 archivos wav como “wood-saw” (sonido de sierra)
- 100 archivos wav como “wood-chainsaw” (sonido de sierra eléctrica)

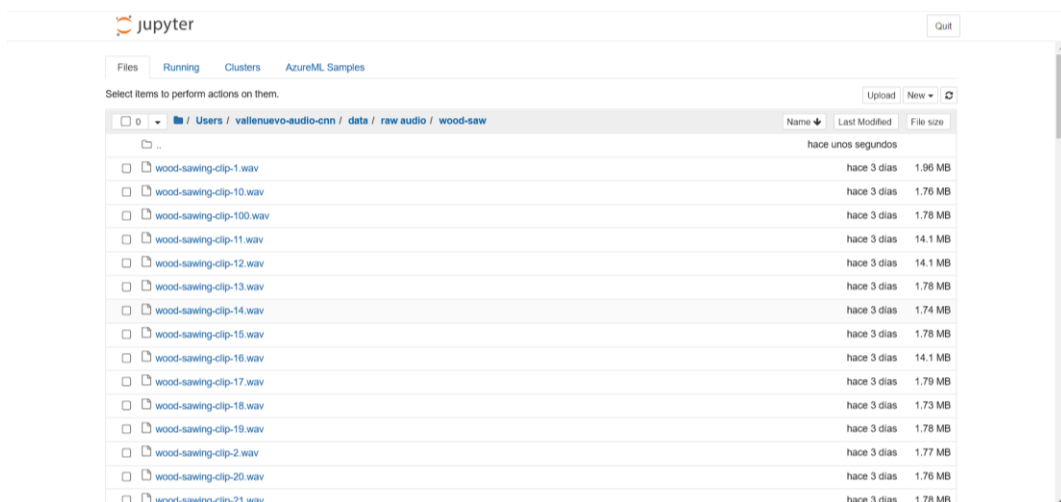


Figura 68. Data en Jupyter (Elaboración propia)

6.9.2 Preprocesamiento de la data y adecuación para el modelo.

El caso de este modelo que busca determinar clases de sonidos en un clip de audio estamos trabajando con un modelo de Machine Learning supervisado para clasificación lo que implicó un proceso largo de etiquetado de la data recolectada. Esto es porque en el Machine Learning supervisado es necesario tener la data dividida en entradas y salidas, pares de coordenadas, vectores y etiquetas o mejor conocido también como características y etiquetas.

Esto se debe a que los modelos supervisados lo que buscan es hallar un patrón entre entradas y salidas, y en base a eso reproducir el patrón lo más atinado posible para posibles datos nuevos.

Dependiendo del caso de uso un desarrollador de ML optará por usar o TensorFlow o Scikit-Learn para realizar Machine Learning supervisado. En este caso especial como el problema consiste en desarrollar un modelo no solo de clasificación sino de visión/audición artificial entonces es necesario crear una red neuronal con Deep Learning.

El Deep Learning es una técnica especializada del Machine Learning que busca resolver problemas de regresión y clasificación a través de las redes neuronales. Las redes neuronales en palabras llanas son un conjunto de funciones matemática conectadas en cadena que realizan operaciones aritméticas, matriciales, vectoriales y de convolución en un vector de entrada de datos para producir una salida específica. Esto es sumamente útil porque nos permite generalizar cualquier problema como un problema de Deep Learning como lo son la detección de objetos en imágenes/video.

La realidad es que los modelos de IA solo trabajan con números, es decir, con vectores, matrices o tensores, pero eso no quiere decir que no podamos usar texto, imágenes u otros datos. Solamente tenemos que transformar esos datos no numéricos a un formato numérico que preserve su identidad y sería suficiente. En el caso de las imágenes es bastante fácil.

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 165 | 187 | 209 | 58 | 7 |
| | 14 | 125 | 233 | 201 | 98 | 159 |
| 253 | 144 | 120 | 251 | 41 | 147 | 204 |
| 67 | 100 | 32 | 241 | 23 | 165 | 30 |
| 209 | 118 | 124 | 27 | 59 | 201 | 79 |
| 210 | 236 | 105 | 169 | 19 | 218 | 156 |
| 35 | 178 | 199 | 197 | 4 | 14 | 218 |
| 115 | 104 | 34 | 111 | 19 | 196 | |
| 32 | 69 | 231 | 203 | 74 | | |

Figura 69. Matriz tridimensional RGB (Courtney, 2002)

Las imágenes se pueden interpretar como matrices tridimensionales, es decir, tensores de rango 3, en donde dos dimensiones son ocupadas por la coordenada del pixel, otra por el valor de luminosidad del pixel y la última por el canal de color, es decir, si es Rojo, Verde o Azul (RGB).

Como todas las imágenes se pueden interpretar así, pues para todas las imágenes podemos hacer tanto modelos de regresión como clasificación con redes neuronales, y por eso precisamente existen inteligencias artificiales que detectan caras, personas, objetos y demás en videos e imágenes, gracias al procesamiento de estas imágenes como vectores en redes neuronales.

Cabe destacar que estos vectores de entrada son sumamente inmensos, ya que al introducir una imagen de dimensión (1080x720) lo que le entra al modelo realmente es un vector de $1080 \times 720 \times 3 = 2332800$, lo que resulta en un modelo con más de 2 millones de características. Esto provoca una computación paralela bastante intensiva que se generalmente se mejora mucho con el uso de GPU pero aun así no es suficiente.

Como los modelos para imágenes y video tienen que calcular tantos parámetros para cada neurona de regresión lineal, pues para este tipo de casos se usa lo que son redes

neuronales convolucionales. Estas no son más que redes neuronales que usan la operación matricial-vectorial de convolución para reducir el número de dimensiones o características del modelo denso. Esto nos permitirá en vez de usar directamente todos los píxeles de la imagen, solo los más importantes como lo serán los bordes, las esquinas o las zonas de alto contraste, donde el gradiente o la derivada es mucho mayor en términos de intensidad luminosa.

Ahora, ¿por qué hablar tanto de imágenes si el modelo que mencionaremos en la demo es de detección de audio? Es porque, así como para poder procesar imágenes se tiene que transformar la misma en una matriz, para procesar audio en la red neuronal lo tendremos que convertir en imagen. Esto es porque los clips de audio no son tan eficientes para convertir a matriz como lo es una imagen, un clip de audio de unos pocos segundos puede generar millones y millones de parámetros en función de su tasa de muestreo. Por ejemplo, un audio con una tasa de muestreo de 56 kHz que dure 5 segundos tiene almacenado dentro $56000 \times 5 \times 2$ valores que representan la señal de audio; esto es equivalente a medio millón de valores. Por esta razón optamos por transformar el audio en una imagen que permite preservar su información para que luego esta pueda ser procesada por una red neuronal convolucional para clasificación de imágenes.

Para este preprocesamiento del audio se usará el espectrograma como imagen que representa las características principales del audio, esto es porque un espectrograma nos resume tiempo, frecuencia e intensidad en una sola matriz.

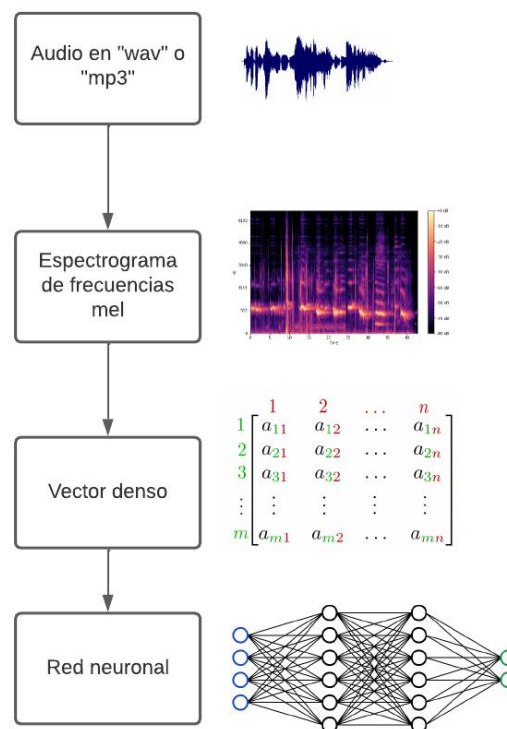


Figura 70. Procesamiento de audio (Elaboración propia)

Antes de ello, tenemos que importar las librerías necesarias citadas en el acápite anterior.

The screenshot shows a Jupyter Notebook with the following content:

Valle Nuevo Audio CNN

Valle Nuevo Audio Convolutional Neural Network is a model trained for audio classification of forest sounds in Valle Nuevo National Park at Constanza. This model was built for the thesis project "", ICT Engineering, UNIBE.

The team members are Carlos Ogando and Isamar Francisco. The sounds were recollected by Isamar Francisco. The model was trained by Carlos Ogando.

Installing and importing libraries

```
In [*]: !pip install --upgrade tensorflow
!pip install --upgrade tensorflow_io
!pip install --upgrade librosa
```

Requirement already up-to-date: tensorflow in /anaconda/envs/azureml_py38/lib/python3.8/site-packages (2.9.1)
Requirement already satisfied, skipping upgrade: flatbuffers<2,>=1.12 in /anaconda/envs/azureml_py38/lib/python3.8/site-packages (from tensorflow) (1.12)
Requirement already satisfied, skipping upgrade: libclang=13.0.0 in /anaconda/envs/azureml_py38/lib/python3.8/site-packages (from tensorflow) (14.0.1)
Requirement already satisfied, skipping upgrade: keras-preprocessing=1.1.1 in /anaconda/envs/azureml_py38/lib/python3.8/site-packages (from tensorflow) (1.1.2)
Requirement already satisfied, skipping upgrade: numpy>=1.20 in /anaconda/envs/azureml_py38/lib/python3.8/site-packages (from tensorflow) (1.23.1)
Requirement already satisfied, skipping upgrade: tensorflow-io-gcs-filesystem>=0.23.1 in /anaconda/envs/azureml_py38/lib/python3.8/site-packages (from tensorflow) (0.26.0)

Figura 71. Instalación e importación de librerías en Jupyter (Elaboración propia)

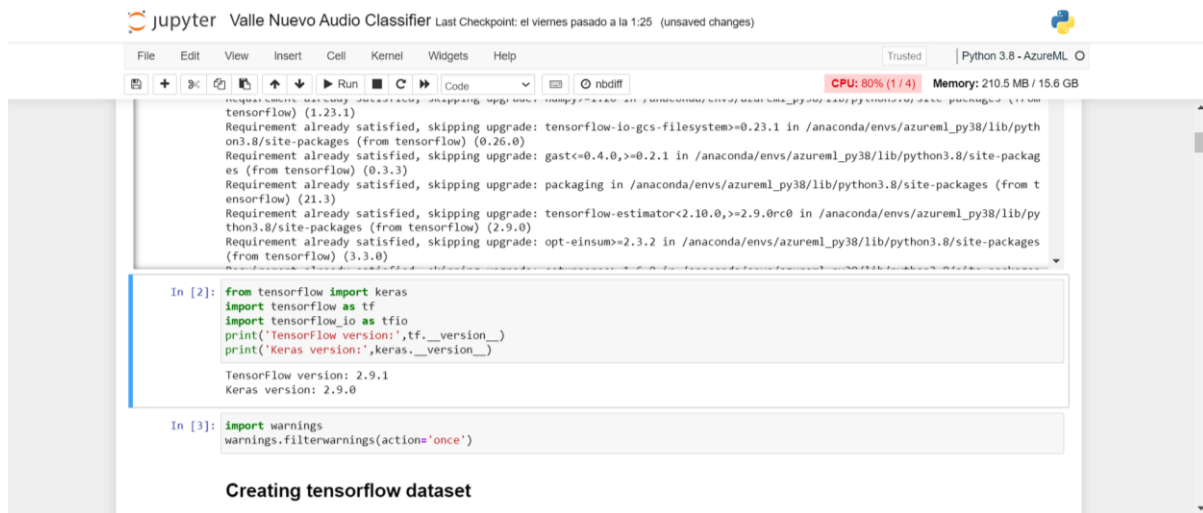


Figura 72. TensorFlow dataset (Elaboración propia)

Creamos un dataset de TensorFlow con los archivos de audio de la carpeta etiquetada.

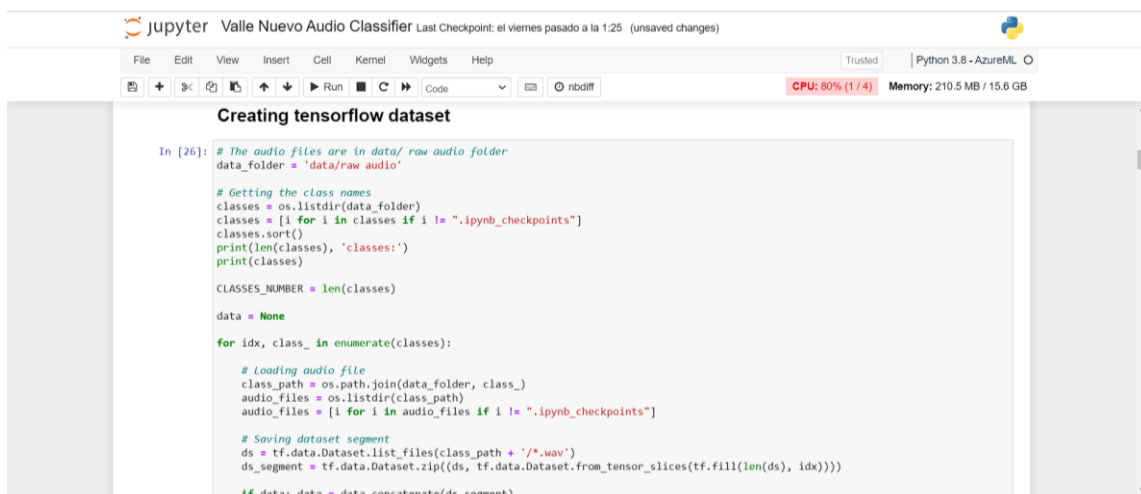
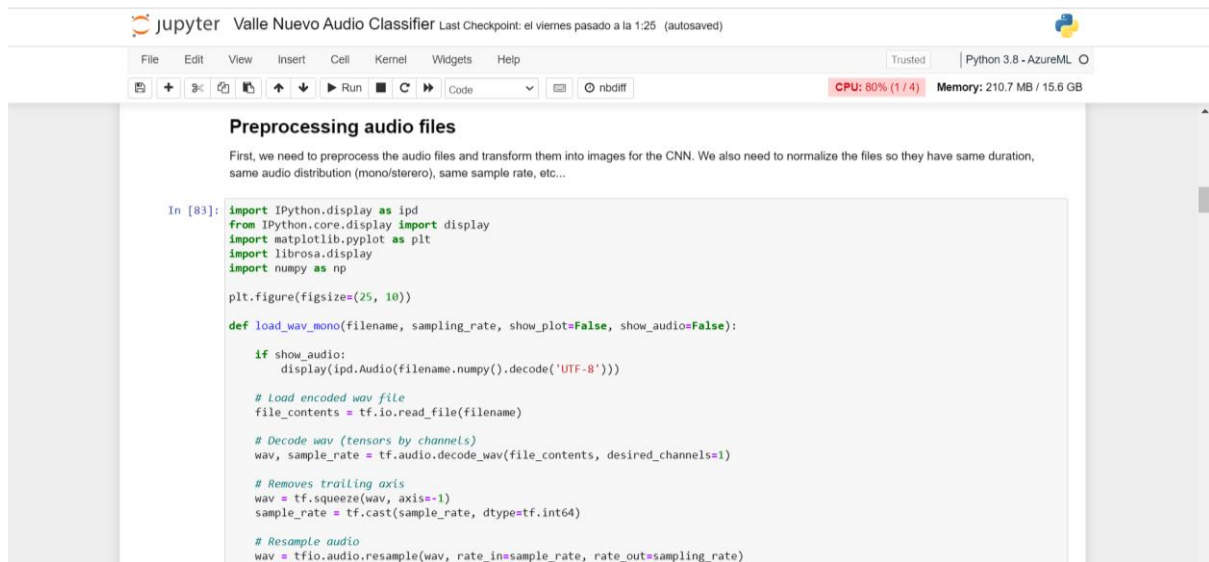


Figura 73. Creación del TensorFlow dataset (Elaboración propia)

Luego sí procedemos a crear las funciones de preprocesamiento. Para ello se han desarrollado dos Loaders, uno de archivos wav y uno de archivos mp3. Ambos realizan la misma función, se encargan de convertir los archivos de audio a vectores de TensorFlow para su luego procesamiento como espectrograma de frecuencias. Cada una toma un archivo de audio, la codifica en vector, obtiene la frecuencia de muestreo y luego la demuestra a un valor fijo de 16kHz por default, se reducen los dos canales de audio, es decir, se convierte de estéreo a mono y listo, ya el audio queda preparado para convertirlo posteriormente en un espectrograma de frecuencias mel.



Preprocessing audio files

First, we need to preprocess the audio files and transform them into images for the CNN. We also need to normalize the files so they have same duration, same audio distribution (mono/sterero), same sample rate, etc...

```
In [83]: import IPython.display as ipd
from IPython.core.display import display
import matplotlib.pyplot as plt
import librosa.display
import numpy as np

plt.figure(figsize=(25, 10))

def load_wav_mono(filename, sampling_rate, show_plot=False, show_audio=False):

    if show_audio:
        display(ipd.Audio(filename.numpy().decode('UTF-8')))

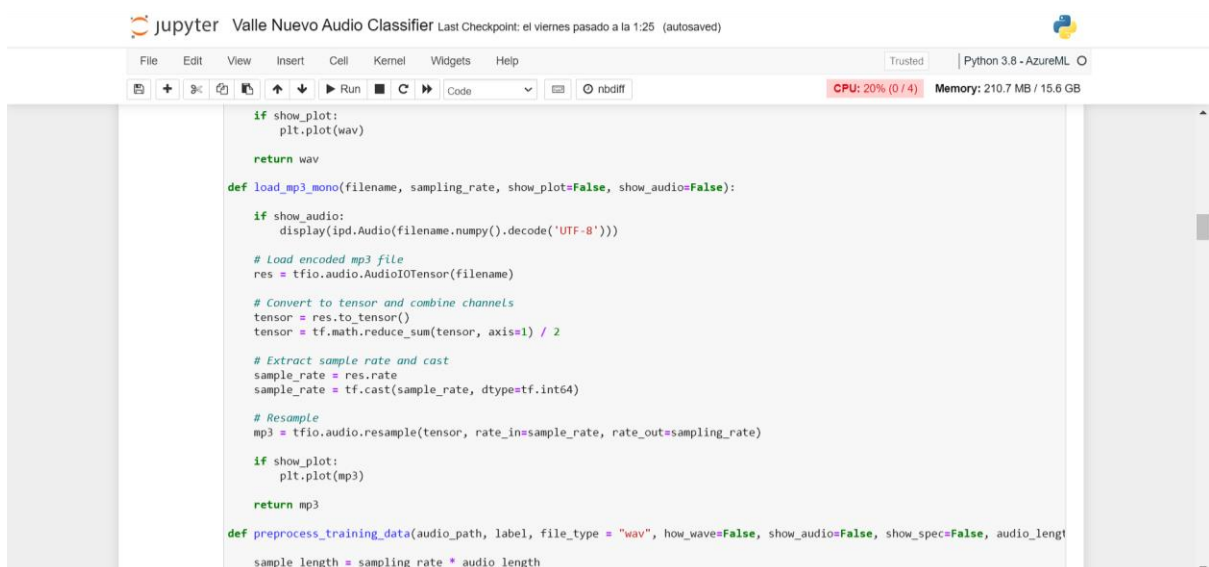
    # Load encoded wav file
    file_contents = tf.io.read_file(filename)

    # Decode wav (tensors by channels)
    wav, sample_rate = tf.audio.decode_wav(file_contents, desired_channels=1)

    # Removes trailing axis
    wav = tf.squeeze(wav, axis=-1)
    sample_rate = tf.cast(sample_rate, dtype=tf.int64)

    # Resample audio
    wav = tfio.audio.resample(wav, rate_in=sample_rate, rate_out=sampling_rate)
```

Figura 74. Preprocesamiento de archivos de audio en Jupyter (Elaboración propia)



```
if show_plot:
    plt.plot(wav)

return wav

def load_mp3_mono(filename, sampling_rate, show_plot=False, show_audio=False):

    if show_audio:
        display(ipd.Audio(filename.numpy().decode('UTF-8')))

    # Load encoded mp3 file
    res = tfio.audio.AudioIOTensor(filename)

    # Convert to tensor and combine channels
    tensor = res.to_tensor()
    tensor = tf.math.reduce_sum(tensor, axis=1) / 2

    # Extract sample rate and cast
    sample_rate = res.rate
    sample_rate = tf.cast(sample_rate, dtype=tf.int64)

    # Resample
    mp3 = tfio.audio.resample(tensor, rate_in=sample_rate, rate_out=sampling_rate)

    if show_plot:
        plt.plot(mp3)

    return mp3

def preprocess_training_data(audio_path, label, file_type = "wav", how_waves=False, show_audio=False, show_spec=False, audio_length):
    sample_length = sampling_rate * audio_length
```

Figura 75. Código de preprocesamiento de archivos de audio en Jupyter (Elaboración propia)

Este es el tipo de entrada y de salida que devuelven estas funciones, tanto la función `load_mp3` y `load_wav`. En este ejemplo, se le ha pasado a la función `load_wav` un archivo de audio de un ave y ha retornado un tensor de 815,000 valores.

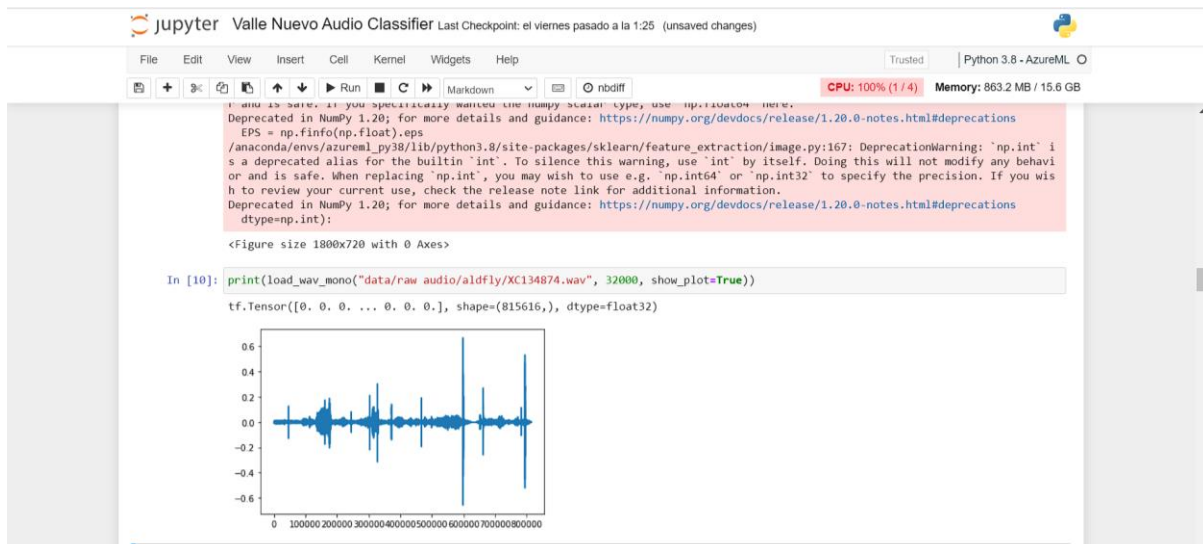


Figura 76. Ejemplo #1 de preprocesamiento de archivos de audio en Librosa y TensorFlow (Elaboración propia)

Ahora con esto, ya se emplea una nueva función creada para transformar muestras a espectrogramas, usando las funciones de TensorFlow y librosa. Cabe destacar que en vez de transformar a un espectrograma crudo se ha optado por usar espectrogramas mel, que son espectrogramas que muestran las frecuencias escaladas en una balanza que nos permite a nosotros los seres humanos diferenciar entre un tono y otro. Esto, es porque naturalmente mientras más agudo es el tono, mayor frecuencia, y mientras mayor frecuencia más minuciosidad percibimos los humanos entre nota y nota. Los espectrogramas de tipo frecuencias mel, nos permiten interpretar la data de manera coherente.

Esta labor de convertir los audios en espectrogramas mel la hace la función preprocess training data. Esta función primero llama a los Loader para convertir los audios en tensores y a partir de ahí devuelve una matriz con los espectrogramas mel.

Esta función de preprocesamiento también se encarga de aplicarle OneHotEncoding al label, para que cada clase quede en la etiqueta como una única columna a la cual asignarle probabilidad, y estandarizar los audios de entrada en caso de que no midan la longitud deseada.

En caso de que el audio tenga una duración mayor a la deseada simplemente se corta en el máximo. En caso de que tenga una duración menor, entonces se añaden ceros a la izquierda, es decir, un silencio en el audio los segundos que faltan.


```

jupyter Valle Nuevo Audio Classifier Last Checkpoint: el viernes pasado a la 1:25 (autosaved)
File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help Trusted Python 3.8 - AzureML
CPU: 100% (1 / 4) Memory: 863.4 MB / 15.6 GB

def preprocess_training_data(audio_path, label, file_type = "wav", how_wav=False, show_audio=False, show_spec=False, audio_length):
    sample_length = sampling_rate * audio_length

    if file_type == "wav":
        audio_data = load_wav_mono(audio_path, sampling_rate, show_plot=show_wav, show_audio=show_audio)
    elif file_type == "mp3":
        audio_data = load_mp3_mono(audio_path, sampling_rate, show_plot=show_wav, show_audio=show_audio)
    else:
        raise Exception("File type function must be either mp3 or wav")

    audio_data = audio_data[:sample_length]

    if sample_length - tf.shape(audio_data)[0] > 0:
        zero_padding = tf.zeros([sample_length] - tf.shape(audio_data), dtype=tf.float32)
        audio_data = tf.concat([zero_padding, audio_data], 0)

    spectrogram = tfio.audio.spectrogram(audio_data, nfft=2048, window=2048, stride=512)
    mel_spectrogram = tfio.audio.melscale(spectrogram, rate=sampling_rate, mels=132, fmin=0, fmax=sampling_rate/2)
    dbscale_mel_spectrogram = tfio.audio.dbscale(mel_spectrogram, top_db=100)
    full_mel_spectrogram = tf.expand_dims(dbscale_mel_spectrogram, axis=2)

    if show_spec:
        librosa.display.specshow(dbscale_mel_spectrogram.numpy().transpose(), x_axis="time", y_axis="mel", sr=sampling_rate, cmap=)
        plt.show()

    return full_mel_spectrogram, tf.one_hot(label, CLASSES_NUMBER)

```

Figura 77. Código de entrenamiento de preprocesamiento de data. (Elaboración propia)

Por ejemplo, para el audio anterior, el espectrograma mel sería el siguiente.

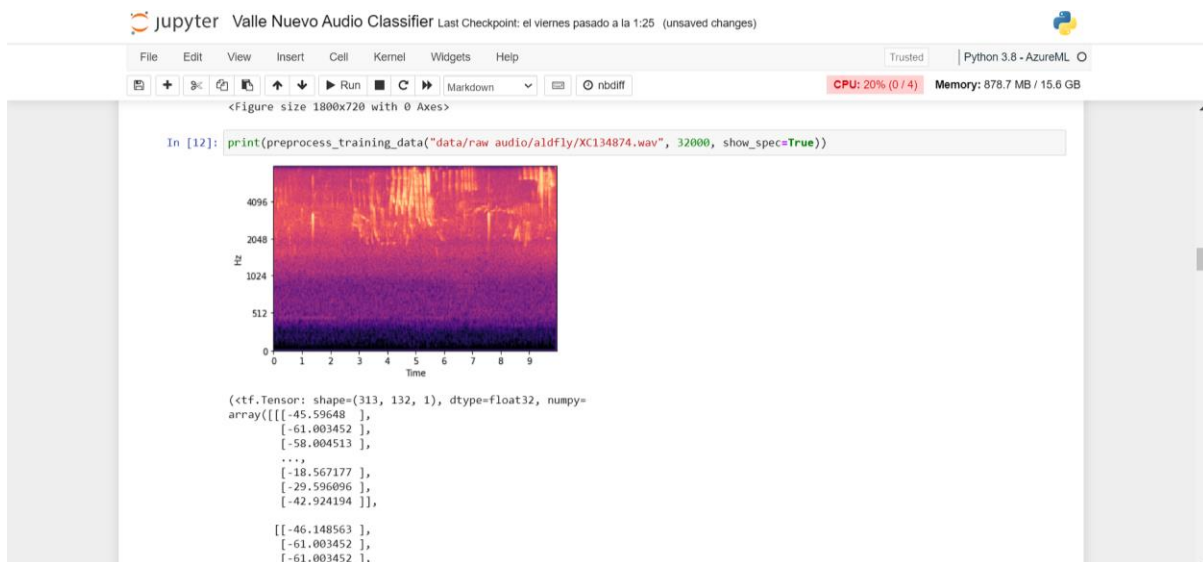


Figura 78. Ejemplo de espectrograma mel (Elaboración propia)

Como podemos apreciar, aquí en el espectrograma mel se ha resumido efectivamente este audio de 10 segundos como una imagen que contiene las frecuencias en el eje y, el tiempo en el eje x y los decibelios en color (eje z) (mientras más amarillo más alto, mientras más negro más bajo). Esta imagen en específico muestra claramente la frecuencia en la que el ave cantó, cuanto duró, qué tan rápido fue el ascenso, etc. Además de que incluye todos los armónicos del sonido.

También vamos en esa imagen el tensor de rango dos que quedó del resultado, es decir, los valores de la imagen que se podrán usar en la red neuronal convolucional.

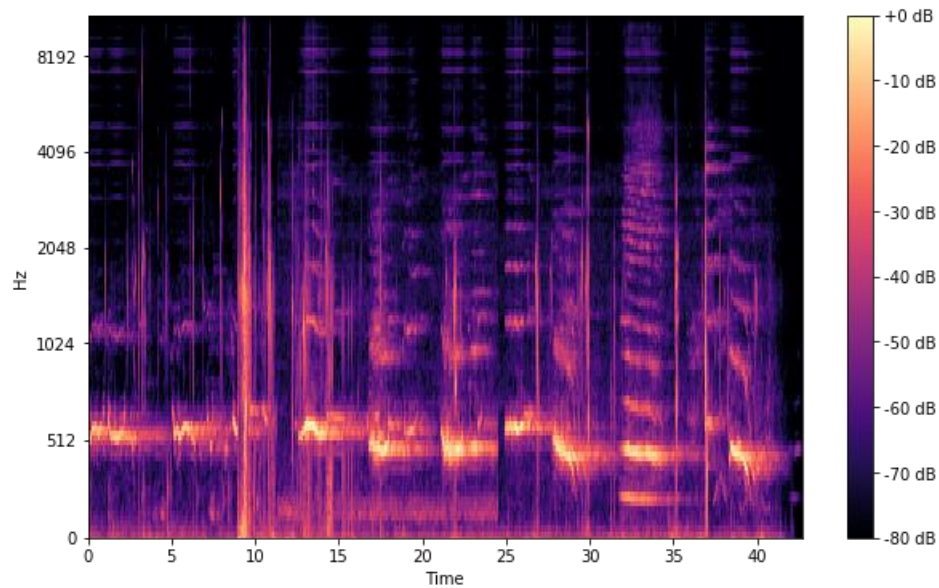


Figura 79. *Espectrograma mel (Elaboración propia)*

Para realizar estos espectrograma mel se han configurado los siguientes hiperparámetros de preprocesamiento del modelo:

- NFFT/número de transformadas de Fourier rápidas igual a 2048.
- Ventanas de 2048 muestras.
- Saltos de 512 muestras.
- Frecuencia de muestreo de 16000 hercios.
- Máximo longitud de audio de 10 segundos.
- Escala logarítmica de decibelios.
- Máximos decibelios del espectrograma igual a 100 dB.
- Número de bandas mel igual a 132.
- Frecuencia mínima de 0 hercios.
- Frecuencia máxima de 8000 hercios.

6.9.3 Creación de canalización/pipeline de procesamiento

Luego se procedió a definir el pipeline de procesamiento de datos que consiste en los siguientes pasos:

Mapear cada archivo de entrada con la función de preprocesamiento que recibe una ruta de archivo y una etiqueta y devuelve un tensor con una matriz (imagen) y otro tensor codificado con la técnica de OneHotEncoding.

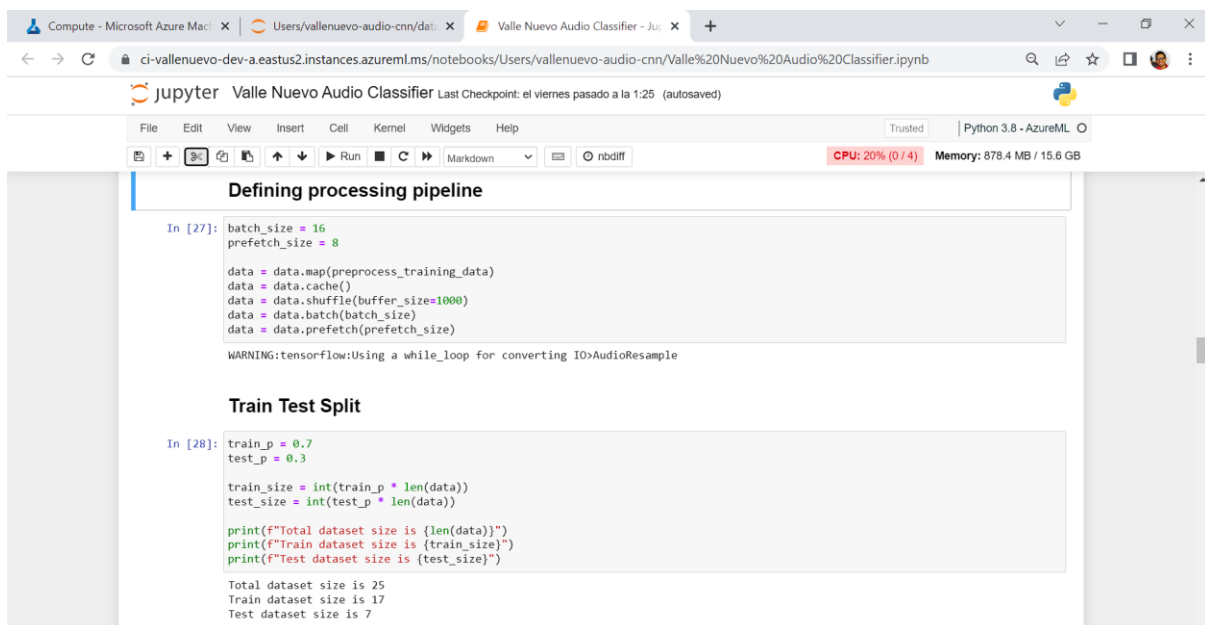
Se crea una caché para el dataset.

Se baraja el dataset para que los datos se encuentren en orden aleatorio y poder reducir el sesgo y la varianza del modelo.

Se define el tamaño de batches de datos de entrada para el procesamiento de la red neuronal con el GPU.

Se define el tamaño de datos en prefetch para la red neuronal.

Se divide el dataset en un 70% datos para entrenar la red neuronal y un 30% de datos para validar su precisión y verificar si tuvo overfitting.



The screenshot shows a Jupyter Notebook titled "Valle Nuevo Audio Classifier" running on an Azure ML instance. The notebook contains two code cells. The first cell, labeled "Defining processing pipeline", sets batch_size to 16 and prefetch_size to 8, then maps the preprocess_training_data function to the data, caches it, shuffles it with a buffer_size of 1000, and finally batches and prefetches the data. A warning message indicates that TensorFlow is using a while_loop for converting IO to AudioResample. The second cell, labeled "Train Test Split", sets train_p to 0.7 and test_p to 0.3, calculates the train_size and test_size, and prints the total, train, and test dataset sizes. The output shows a total dataset size of 25, a train dataset size of 17, and a test dataset size of 7.

```
In [27]: batch_size = 16
prefetch_size = 8

data = data.map(preprocess_training_data)
data = data.cache()
data = data.shuffle(buffer_size=1000)
data = data.batch(batch_size)
data = data.prefetch(prefetch_size)

WARNING:tensorflow:Using a while_loop for converting IO to AudioResample

Defining processing pipeline

In [28]: train_p = 0.7
test_p = 0.3

train_size = int(train_p * len(data))
test_size = int(test_p * len(data))

print(f"Total dataset size is {len(data)}")
print(f"Train dataset size is {train_size}")
print(f"Test dataset size is {test_size}")

Total dataset size is 25
Train dataset size is 17
Test dataset size is 7
```

Figura 80. Definición del process pipeline (Elaboración propia)

6.9.4 Diseño de la red neuronal

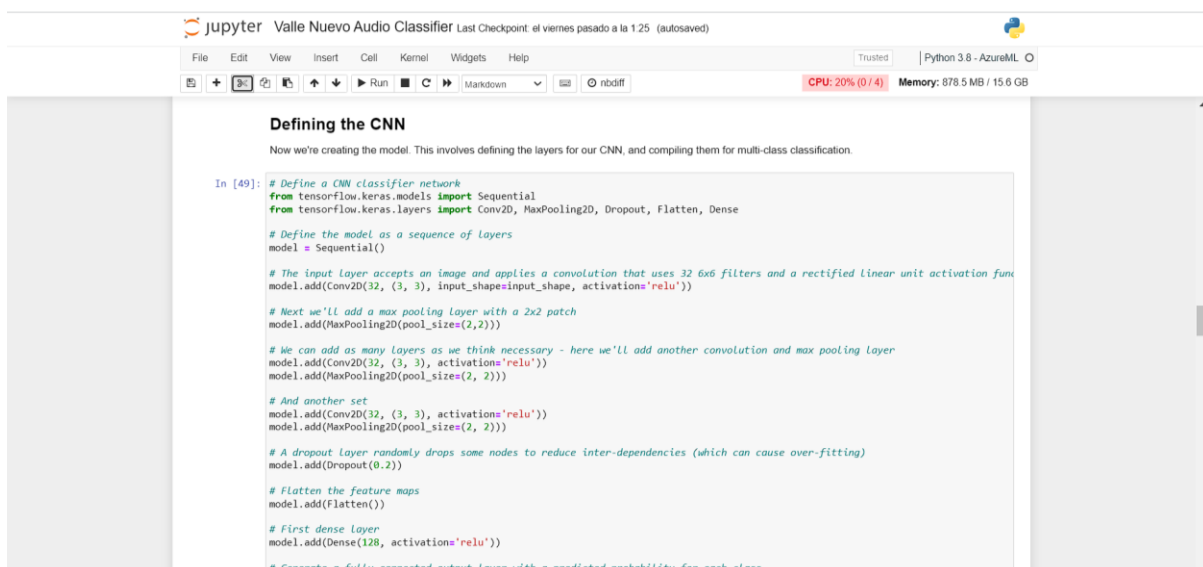
Para esta red neuronal optamos por la siguiente configuración después de realizar validación con múltiples configuraciones para las matrices de convolución y cantidad de capas.

Nuestra red neuronal cuenta con 11 capas. De las 11 capas, 1 es de entrada, 9 son hidden layers y 1 es de salida.

Dado que la imagen del espectrograma de entrada es de 2 Megapíxeles, se procedió a usar 3 capas de convolución con matrices convolucionales de tamaño 3x3 para más minuciosidad y evitar generar un filtrado de desenfoque gaussiano en las imágenes. Estas tres capas de convolución usan la función de activación ReLU para la transformación de la regresión lineal interna de sus neuronas. Cada una de estas capas está separada entre sí de la otra por 3 capas de MaxPooling para reducir la dimensionalidad de las imágenes progresivamente sin perder la esencia de esta ni la información importante. Estas capas de MaxPooling usan matrices 2x2. También se ha agregado una capa de Dropout al final de las primeras 6 capas para evitar demasiado overfitting y añadir aleatoriedad a cada epoch del entrenamiento.

Después de realizar las convoluciones se añaden las capas de regresión. Se añadió una capa para aplanar la matriz a vector, y dos capas densas, una con 128 neuronas y función de activación relu y otra con 5 neuronas, una para cada clase de salida, con función de activación sigmoide.

Toda esta red neuronal está empotrada en un optimizador por gradiente de tipo Adam, usando como función de error al “entropía categórica cruzada” y que métrica al “accuracy”.



```

jupyter Valle Nuevo Audio Classifier Last Checkpoint: el viernes pasado a la 1:25 (autosaved)
Python 3.8 - AzureML

File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help Trusted Python 3.8 - AzureML
CPU: 20% (0 / 4) Memory: 878.5 MB / 15.6 GB

Defining the CNN
Now we're creating the model. This involves defining the layers for our CNN, and compiling them for multi-class classification.

In [49]: # Define a CNN classifier network
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, Dropout, Flatten, Dense

# Define the model as a sequence of layers
model = Sequential()

# The input layer accepts an image and applies a convolution that uses 32 6x6 filters and a rectified linear unit activation function
model.add(Conv2D(32, (3, 3), input_shape=input_shape, activation='relu'))

# Next we'll add a max pooling layer with a 2x2 patch
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))

# We can add as many layers as we think necessary - here we'll add another convolution and max pooling layer
model.add(Conv2D(32, (3, 3), activation='relu'))
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))

# And another set
model.add(Conv2D(32, (3, 3), activation='relu'))
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))

# A dropout layer randomly drops some nodes to reduce inter-dependencies (which can cause over-fitting)
model.add(Dropout(0.2))

# Flatten the feature maps
model.add(Flatten())

# First dense layer
model.add(Dense(128, activation='relu'))

# Generate a fully-connected output layer with a predicted probability for each class

```

Figura 81. Definición del CNN (Elaboración propia)

Las estadísticas de las capas son las siguientes:

```

Model: "sequential_6"
-----
Layer (type)                Output Shape                Param #
-----
conv2d_18 (Conv2D)          (None, 311, 130, 32)       320
max_pooling2d_18 (MaxPoolin (None, 155, 65, 32)       0
g2D)
conv2d_19 (Conv2D)          (None, 153, 63, 32)       9248
max_pooling2d_19 (MaxPoolin (None, 76, 31, 32)       0
g2D)
conv2d_20 (Conv2D)          (None, 74, 29, 32)       9248
max_pooling2d_20 (MaxPoolin (None, 37, 14, 32)       0
g2D)
dropout_6 (Dropout)         (None, 37, 14, 32)       0
flatten_6 (Flatten)         (None, 16576)             0
dense_12 (Dense)            (None, 128)               2121856
dense_13 (Dense)            (None, 4)                 516
-----
Total params: 2,141,188
Trainable params: 2,141,188
Non-trainable params: 0

```

Figura 82. Estadísticas CNN (Elaboración propia)

Esto nos dejó con un total de aproximadamente dos millones de parámetros que entrenar en nuestra red neuronal.

6.9.5 Entrenamiento del modelo

Una vez lista la creación de la red neuronal, se procedió a entrenar por 60 iteraciones. Este entrenamiento duró alrededor de 1 hora.

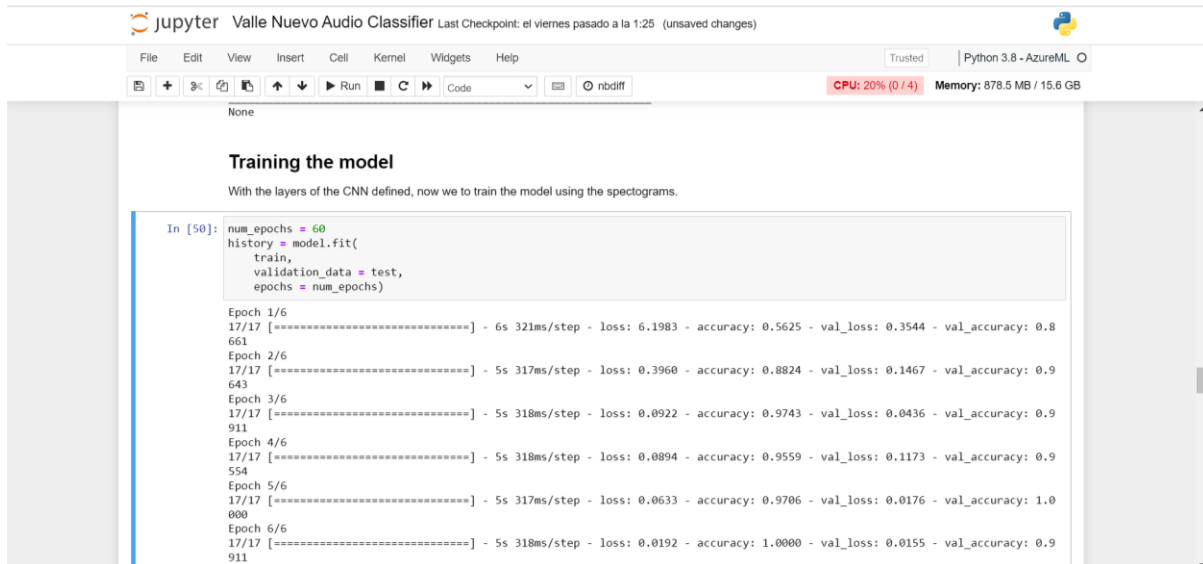


Figura 83. Entrenamiento del modelo (Elaboración propia)

Se procedió a analizar el histórico de accuracy para ver si hubo overfitting comparando el error de validación contra el error de entrenamiento. Nos dimos cuenta de que no hubo overfitting, por lo que dejamos el modelo tal como estaba.

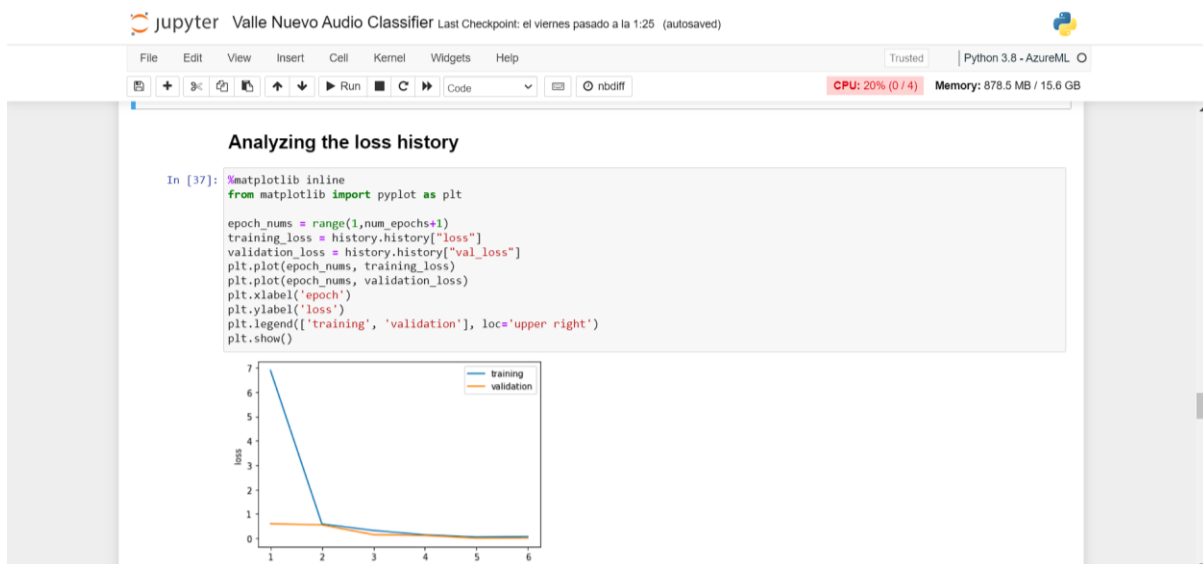
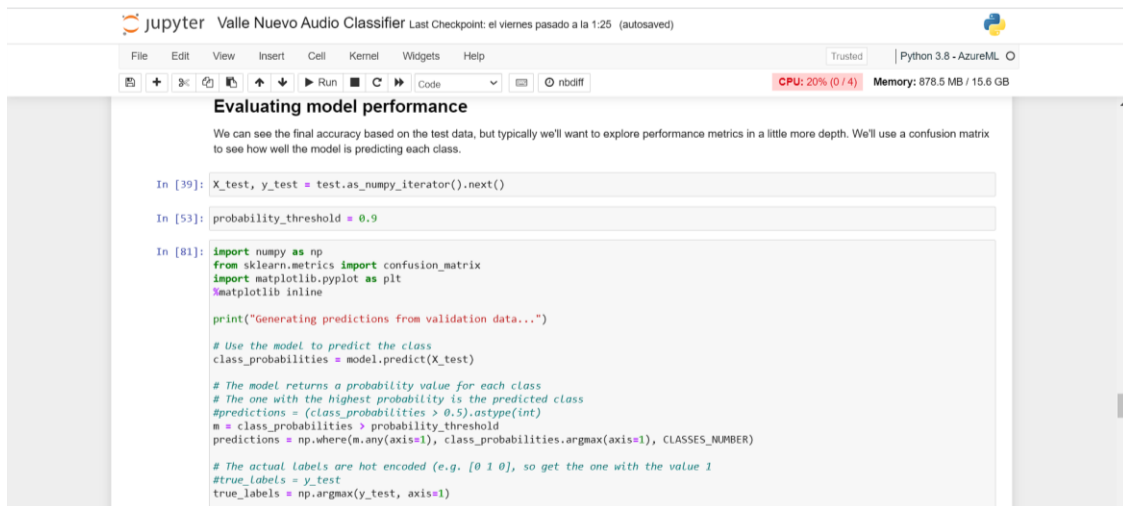


Figura 84. Loss History (Elaboración propia)

6.9.6 Evaluación del modelo

Este modelo en entrenamiento logró alcanzar un performance de 97% accuracy. Después de crear un módulo para hacer pruebas decidimos construir la matriz de confusión del modelo para comprobar si ese accuracy se mantiene.



```

jupyter Valle Nuevo Audio Classifier Last Checkpoint: el viernes pasado a la 1:25 (autosaved)
File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help Trusted Python 3.8 - AzureML
CPU: 20% (0 / 4) Memory: 878.5 MB / 15.6 GB

Evaluating model performance
We can see the final accuracy based on the test data, but typically we'll want to explore performance metrics in a little more depth. We'll use a confusion matrix to see how well the model is predicting each class.

In [39]: X_test, y_test = test.as_numpy_iterator().next()

In [53]: probability_threshold = 0.9

In [81]: import numpy as np
from sklearn.metrics import confusion_matrix
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline

print("Generating predictions from validation data...")

# Use the model to predict the class
class_probabilities = model.predict(X_test)

# The model returns a probability value for each class
# The one with the highest probability is the predicted class
# predictions = (class_probabilities > 0.5).astype(int)
m = class_probabilities > probability_threshold
predictions = np.where(m.any(axis=1), class_probabilities.argmax(axis=1), CLASSES_NUMBER)

# The actual labels are hot encoded (e.g. [0 1 0]), so get the one with the value 1
true_labels = y_test
true_labels = np.argmax(y_test, axis=1)

```

Figura 85. Evaluación del performance del modelo (Elaboración propia)

En efecto, la matriz de confusión nos muestra que no se dieron falsos positivos ni falsos negativos, la data fue clasificada sin ningún error, es decir, que para este batch de testeo el precisión fue de cien por ciento (100%).

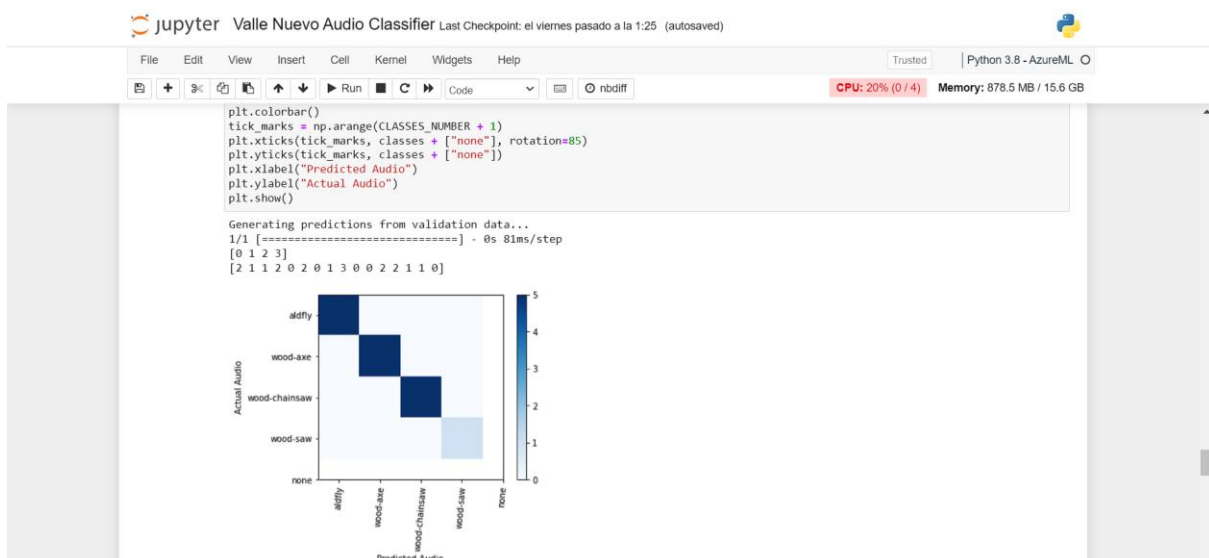
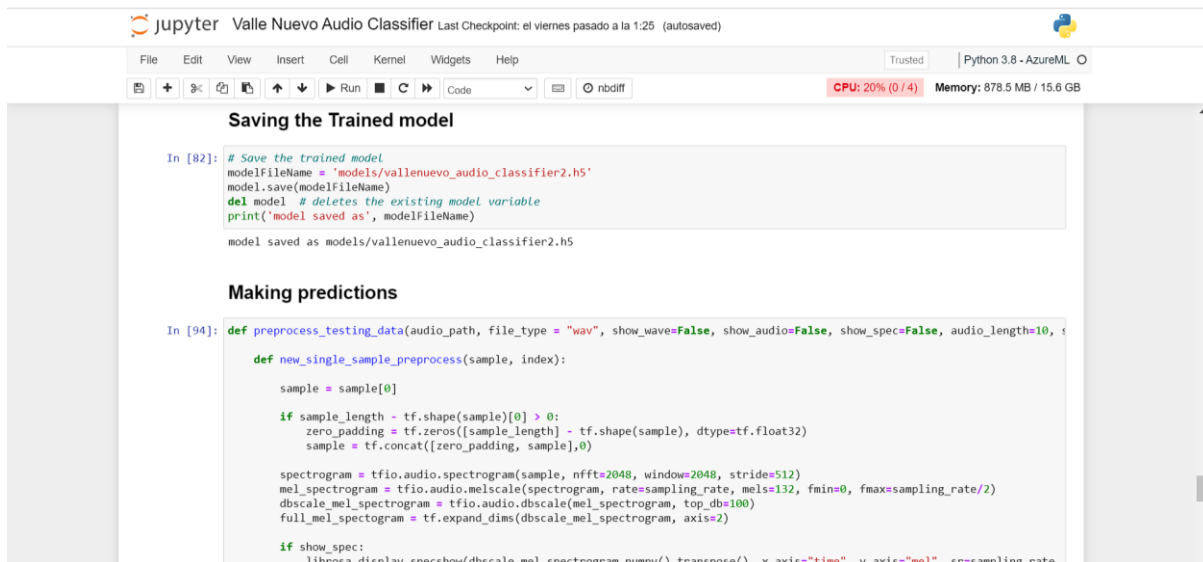


Figura 86. Matriz de confusión. (Elaboración propia)

Después de tener nuestro modelo entrenado y validado, se guardó y se desplegó a producción para a través de los servicios vinculados de Azure ML poder realizar llamadas de predicciones o usar el modelo exportado en el Raspberry Pi.



The screenshot shows a Jupyter Notebook interface with the following code:

```

Saving the Trained model

In [82]: # Save the trained model
modelFileName = 'models/vallenuovo_audio_classifier2.h5'
model.save(modelFileName)
del model # deletes the existing model variable
print('model saved as', modelFileName)

model saved as models/vallenuovo_audio_classifier2.h5

Making predictions

In [94]: def preprocess_testing_data(audio_path, file_type = "wav", show_wave=False, show_audio=False, show_spec=False, audio_length=10, s

def new_single_sample_preprocess(sample, index):

    sample = sample[0]

    if sample_length - tf.shape(sample)[0] > 0:
        zero_padding = tf.zeros([sample_length] - tf.shape(sample), dtype=tf.float32)
        sample = tf.concat([zero_padding, sample],0)

    spectrogram = tfio.audio.spectrogram(sample, nfft=2048, window=2048, stride=512)
    mel_spectrogram = tfio.audio.melscale(spectrogram, rate=sampling_rate, mels=132, fmin=0, fmax=sampling_rate/2)
    dbscale_mel_spectrogram = tfio.audio.dbscale(mel_spectrogram, top_db=100)
    full_mel_spectrogram = tf.expand_dims(dbscale_mel_spectrogram, axis=2)

    if show_spec:
        librosa.display.specshow(dbscale_mel_spectrogram.numpy().transpose(), x axis="time", y axis="mel", sr=sampling_rate,

```

Figura 87. Modelo entrenado guardado (Elaboración propia)



The screenshot shows a Jupyter Notebook interface with the following code and output:

```

for file in audio_files:

    # Creating path
    audio_path = os.path.join(data_folder, file)

    # Predicting
    spec = preprocess_testing_data(audio_path)

    raw_results[file] = model.predict(spec)

WARNING:tensorflow:6 out of the last 6 calls to <function pfor.<locals>.f at 0x7fe9c799160> triggered tf.function retracing. T
racing is expensive and the excessive number of tracings could be due to (1) creating @tf.function repeatedly in a loop, (2) pa
ssing tensors with different shapes, (3) passing Python objects instead of tensors. For (1), please define your @tf.function ou
tside of the loop. For (2), @tf.function has reduce_retracing=True option that can avoid unnecessary retracing. For (3), please
refer to https://www.tensorflow.org/guide/function#controlling_retracing and https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/fun
ction for more details.
1/1 [=====] - 0s 270ms/step
1/1 [=====] - 0s 240ms/step

In [100]: results = {}

for key, value in raw_results.items():
    m = value > probability_threshold
    predictions = np.where(m.any(axis=1), value.argmax(axis=1), CLASSES_NUMBER)
    results[key] = [classes[i] for i in predictions]

In [101]: results

Out[101]: {'wood-axe-cutting-clip-100-Copy1.wav': ['wood-axe'],
'XC134874-Copy1.wav': ['aldfly', 'aldfly']}

```

Figura 88. Predicciones del modelo (Elaboración propia)

6.10 Análisis funcional del sistema

6.10.1 Requerimientos funcionales

- Detectar incendios forestales en el Parque Nacional Valle Nuevo.
- Detectar tala de árboles ilegal en áreas en el Parque Nacional Valle Nuevo.
- Capturar y almacenar la información termográfica del Parque Nacional Valle Nuevo con el fin de contar la temperatura específica de una coordenada geográfica del parque.
- Capturar y almacenar la información sonora del Parque Nacional Valle Nuevo con el fin de analizar qué tipo de personas/actividades pueden estar realizándose en zonas del parque.
- Capturar y almacenar información sobre otras variables como la humedad, pluviometría y velocidad del viento de las zonas forestales con el objetivo de contar con el estado de los bosques en tiempo real.
- Analizar la información sonora capturada de los parques a través de una inteligencia artificial con el objetivo de determinar qué tipo de personas/actividades pueden estar realizándose en zonas del parque.
- Analizar información termográfica capturada de los parques a través de una inteligencia artificial con el objetivo de determinar incendios u otras anomalías térmicas.
- Enviar alertas automáticas por correo y SMS a los organismos pertinentes en caso de detectar una anomalía en la temperatura (incendio) o sonido (actividad ilegal).
- Mostrar estadísticas en tiempo real sobre el estado de las diferentes zonas de las áreas forestales del país a través de un aplicativo web.
- Recolección automática de datos de forma simultánea sin intervención humana.
- Almacenamiento del estado de las zonas del parque para disponibilidad de esta información a las instituciones de medioambiente para la toma oportuna de decisiones.
- Uso de la inteligencia artificial para detección automática de anomalías, visión y audición artificiales.

- Disponibilidad de un banco de información con la data histórica de las variables visuales-sonoras-meteorológicas del parque con el fin de que pueda usarse para estudios más exhaustivos locales e internacionales.

6.10.2 Requerimientos no funcionales

- El tiempo de actualización de la data proveída en el sistema no debe ser menor a un minuto.
- Los dashboard disponibles en Power BI deben ser completos y tener un diseño amigable.
- Debe ser adaptable a otras arquitecturas, con el fin de que sea posible integrar a intranets de otras instituciones públicas relacionadas al MIMARENA.
- El sistema debe tener un acceso restringido a los técnicos y usuarios competentes y relacionados.

6.11 Diagramas de flujo de los procesos

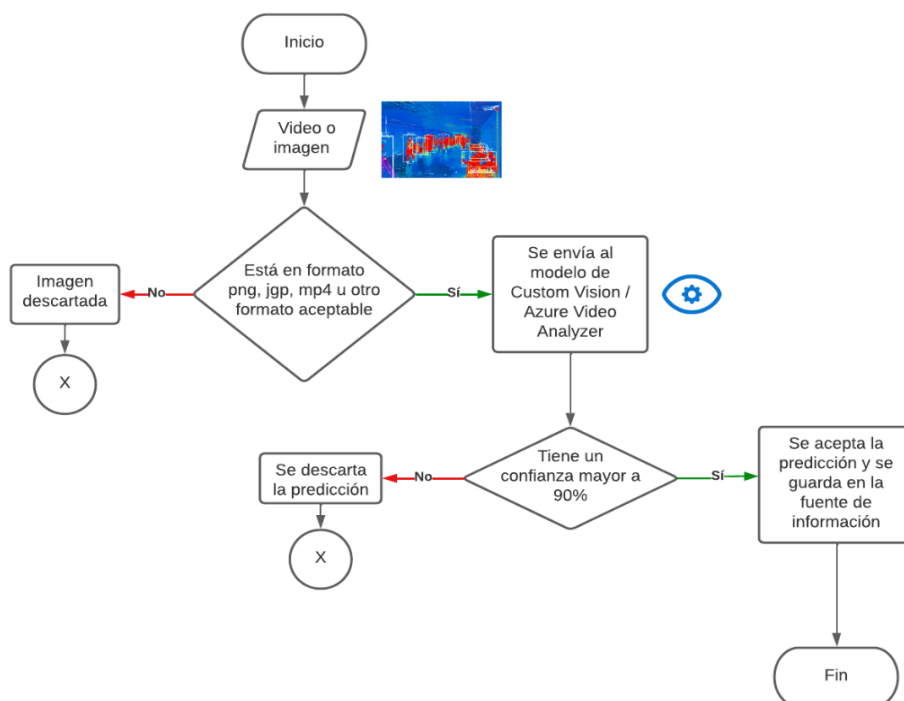


Figura 89. Diagrama de Clasificación de Videos e Imágenes (Elaboración propia)

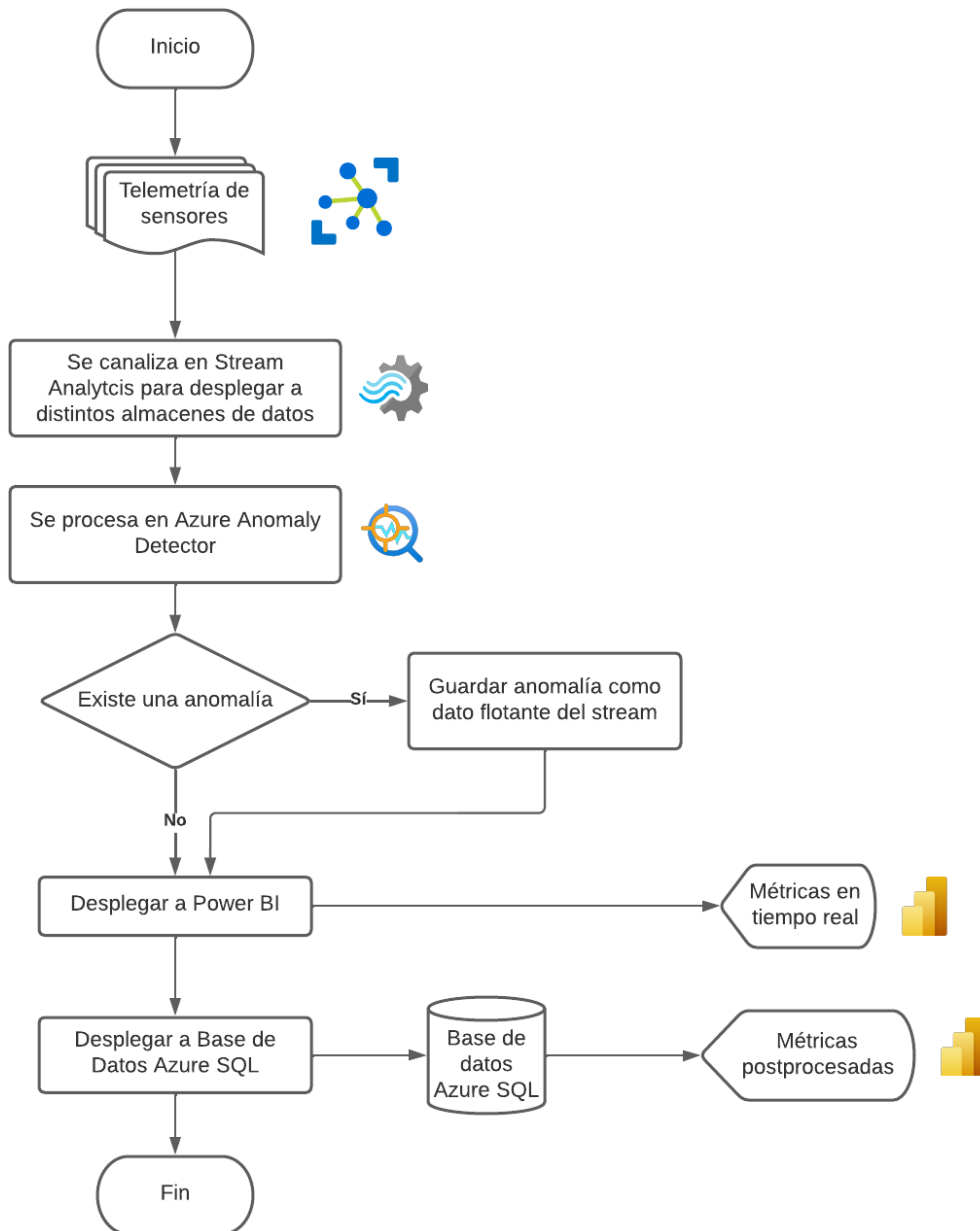


Figura 90. Diagrama de Streaming de Datos (Elaboración propia)

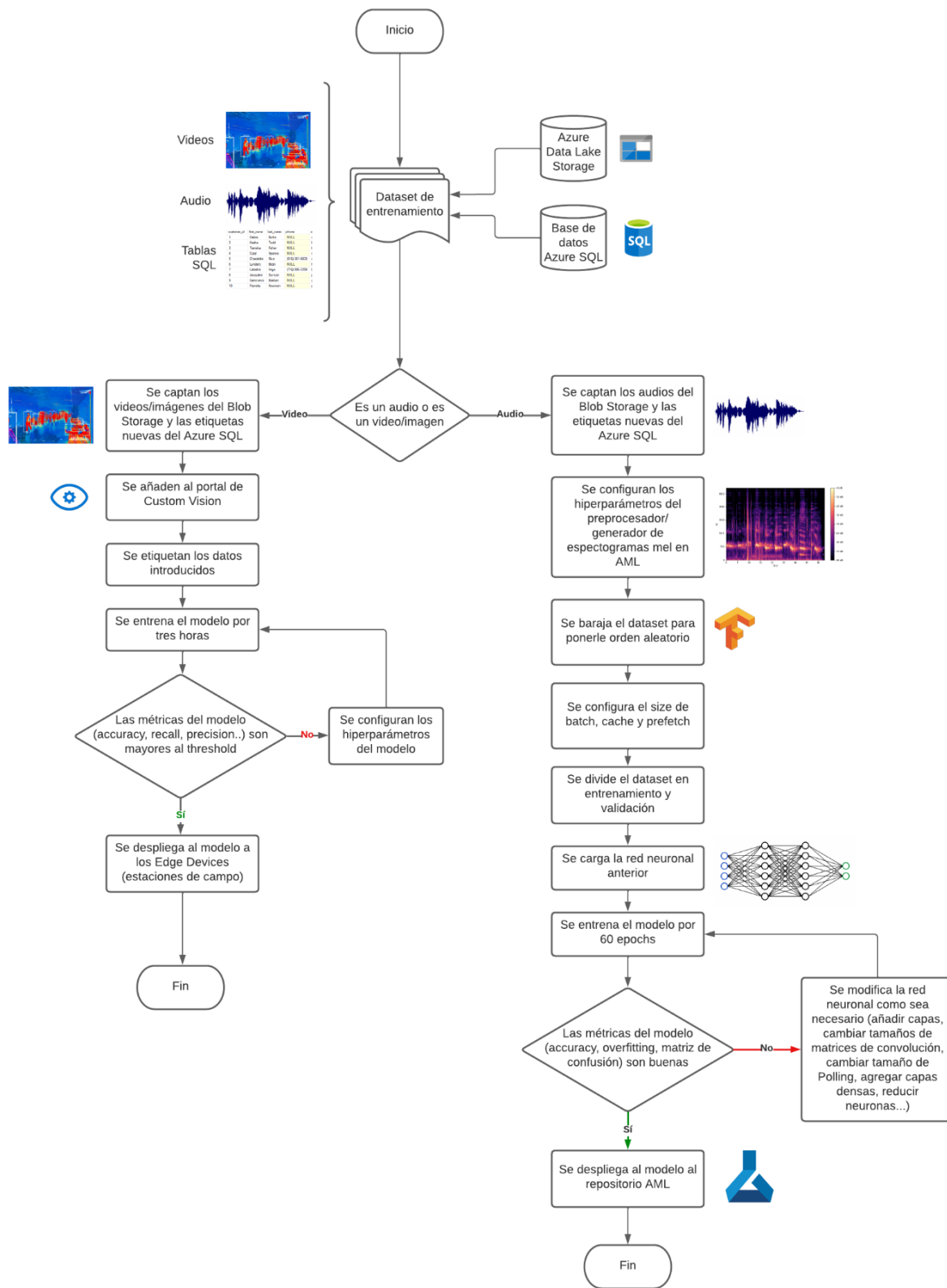


Figura 91. Diagrama de Reentrenamiento de Modelo de IA (Elaboración Propia)

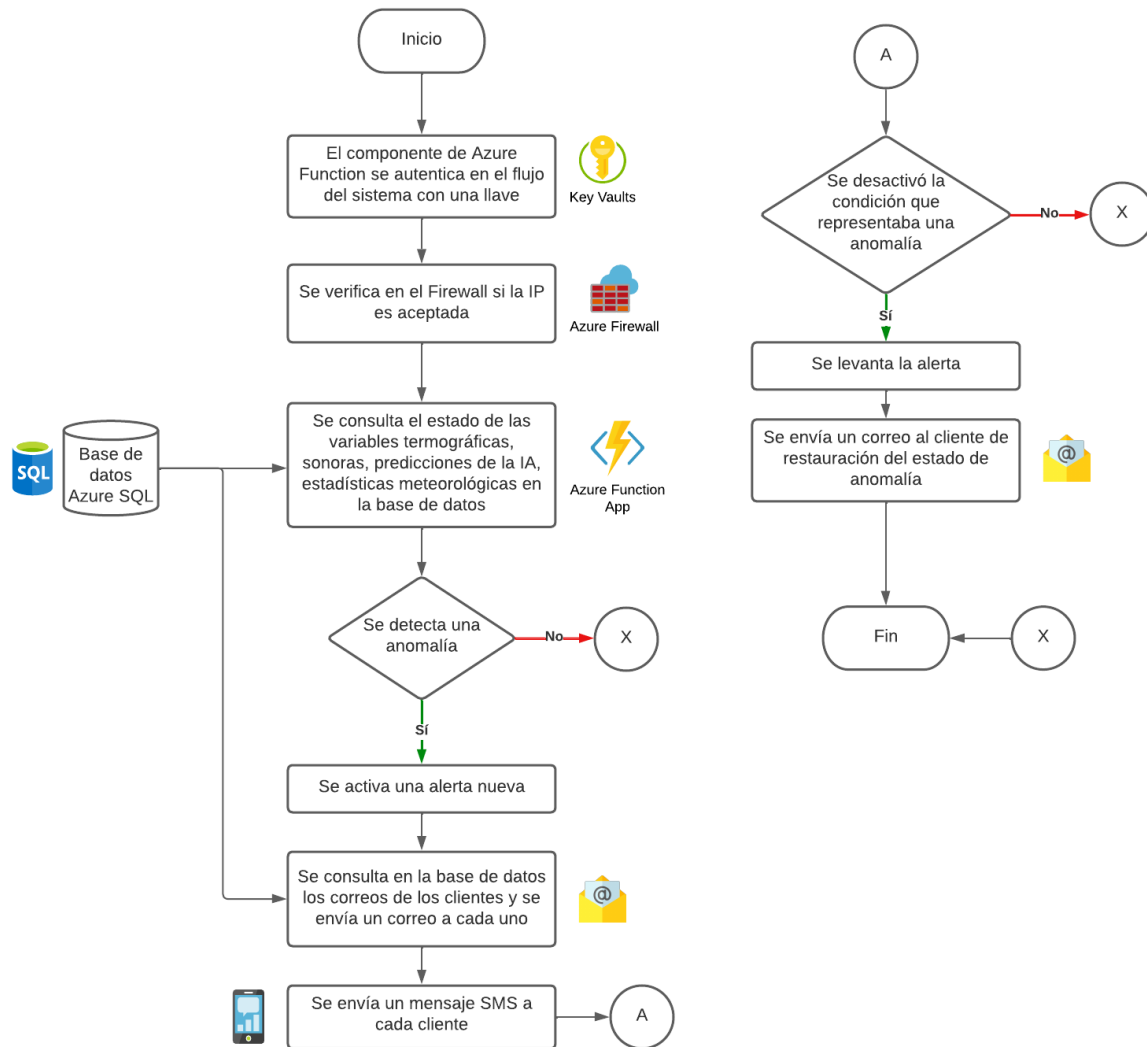


Figura 92. Diagrama Envío de Alertas (Elaboración propia)

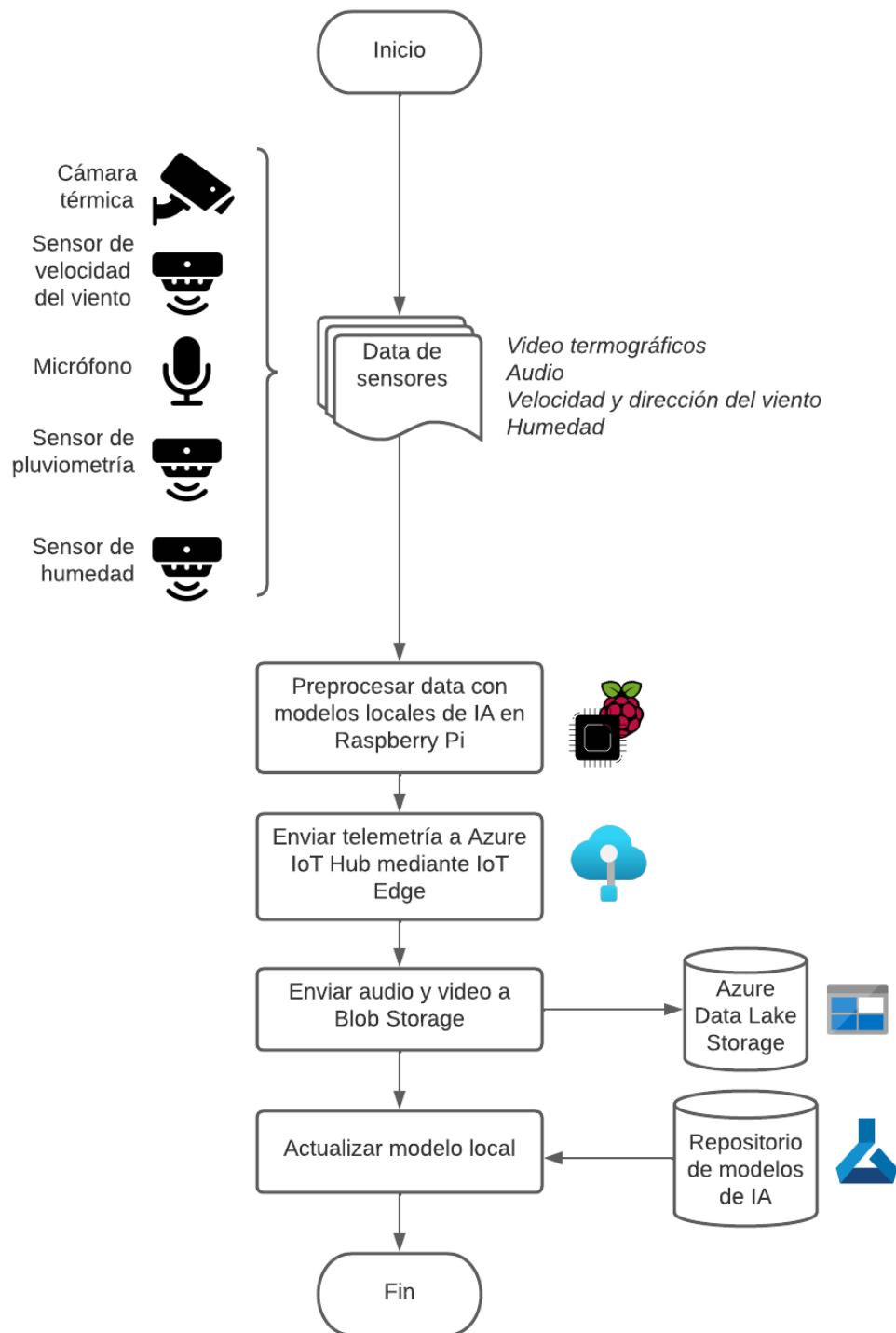


Figura 93. Diagrama Station Local Processing (Elaboración propia)

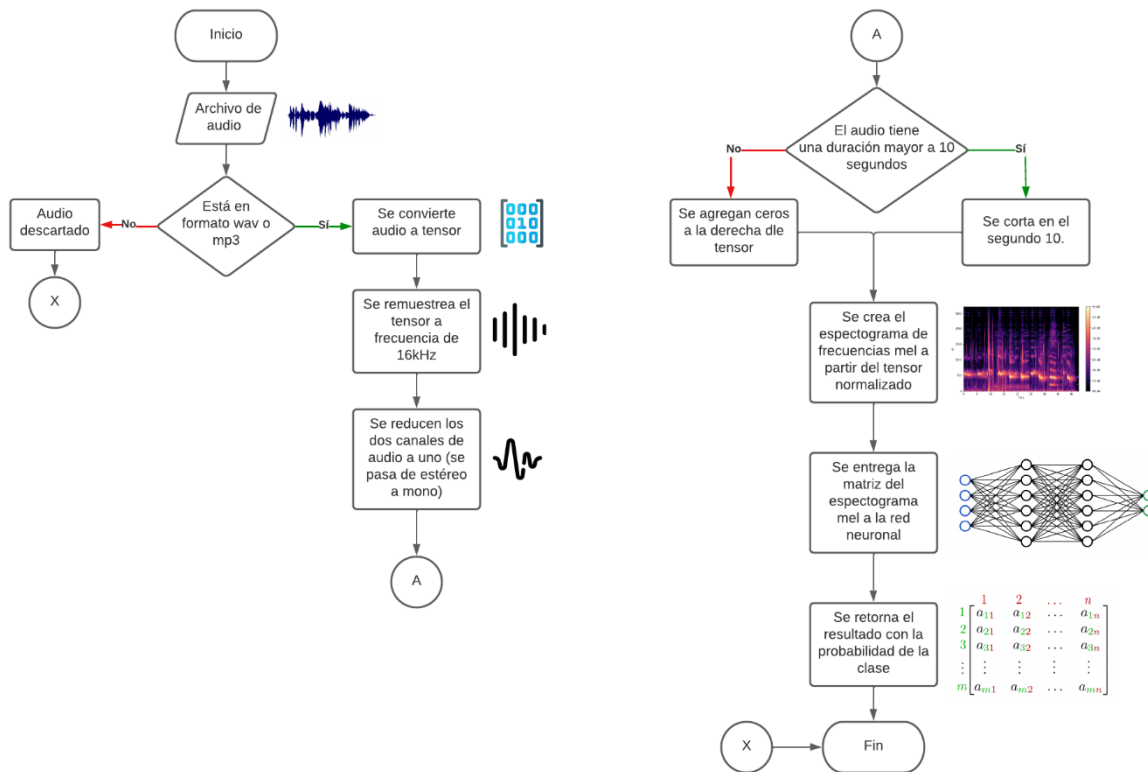


Figura 94. Diagrama de Clasificación de Audios

6.12 Diagrama de Contexto

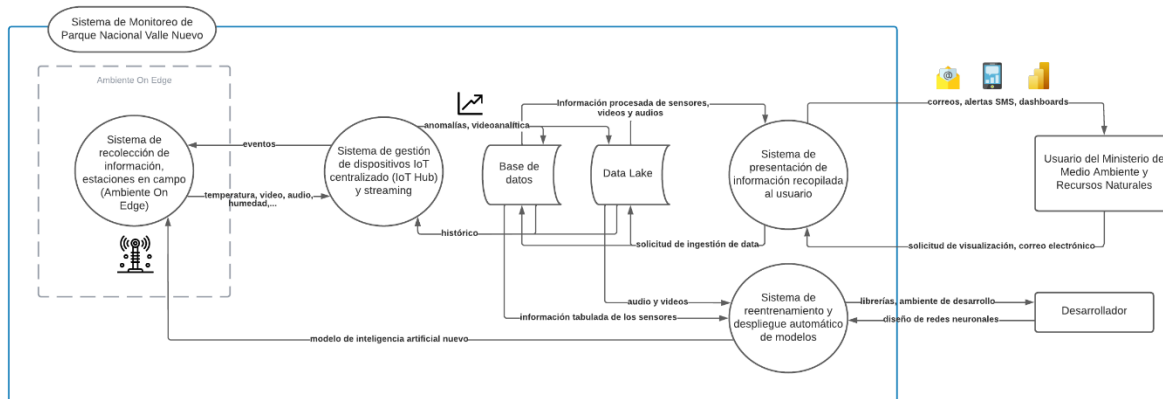


Figura 95. Diagrama de Contexto (Elaboración propia)

6.13 Diagrama de Flujo de Datos (DFD) del sistema propuesto: *modelo helpDesk*

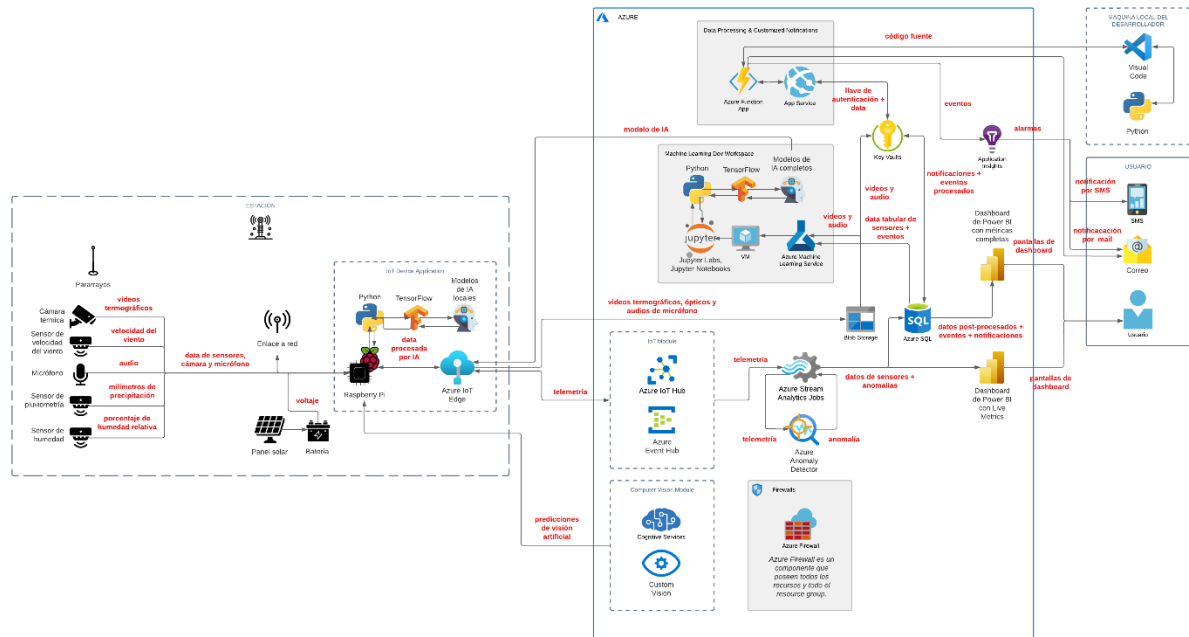


Figura 96. DFD del sistema en vista completa (Elaboración propia)

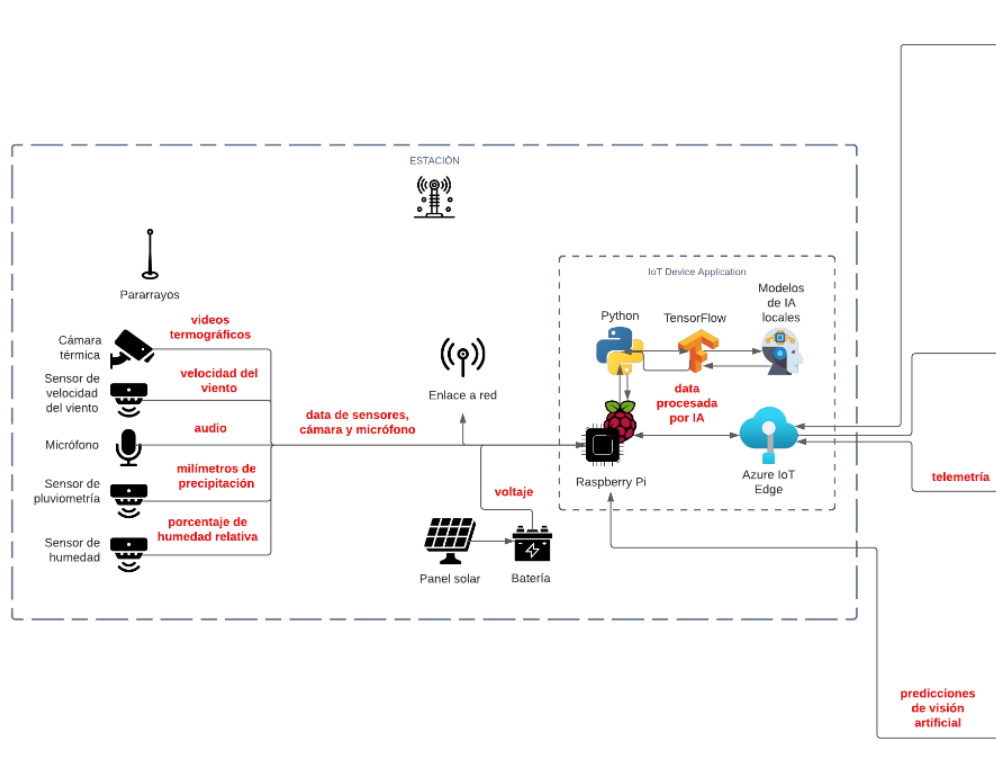


Figura 97. DFD del sistema. Vista lateral izquierda. (Elaboración propia)

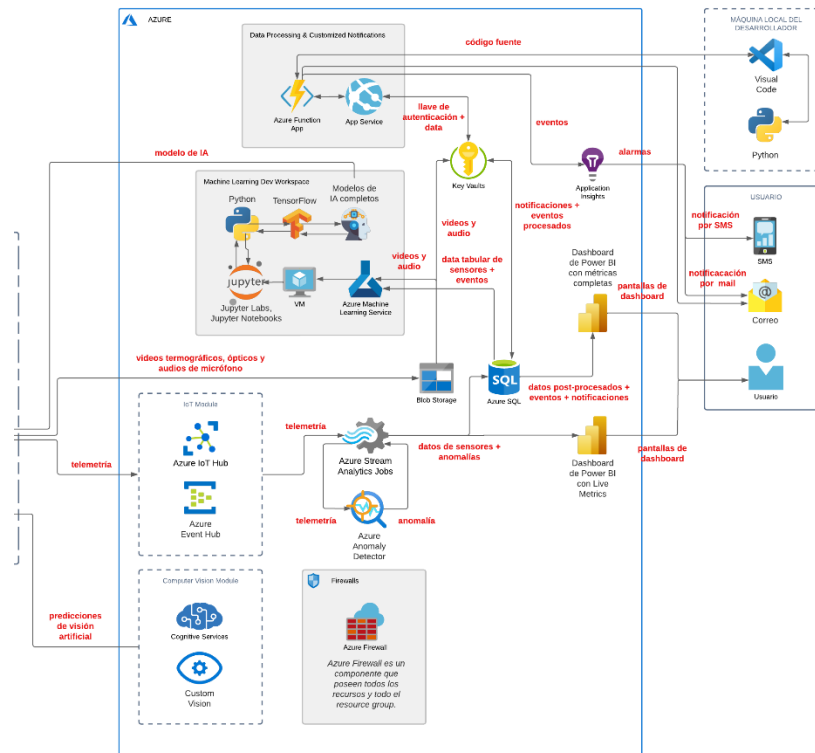


Figura 98. DFD del sistema. Vista lateral derecha. (Elaboración propia)

6.14 Diseño de la Base de Datos

Para crear la base de datos de este proyecto utilizamos Microsoft SQL Server. A continuación, se mostrarán los distintos esquemas y diagramas, además del diccionario de datos del sistema.

6.14.1 Esquema de la base de datos

En las siguientes imágenes se constatará la lógica y organización empleada para la creación de los índices y tablas de la base de datos del proyecto.

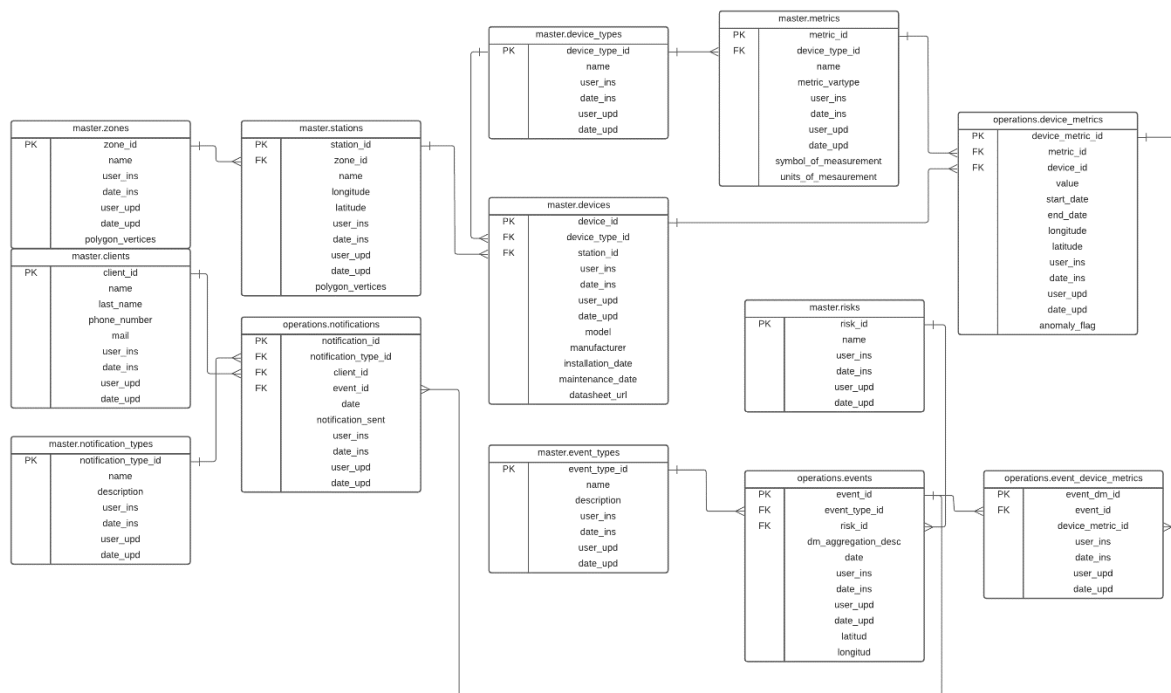


Figura 99. Diagrama de la base de dato del sistema en vista completa (Elaboración propia)

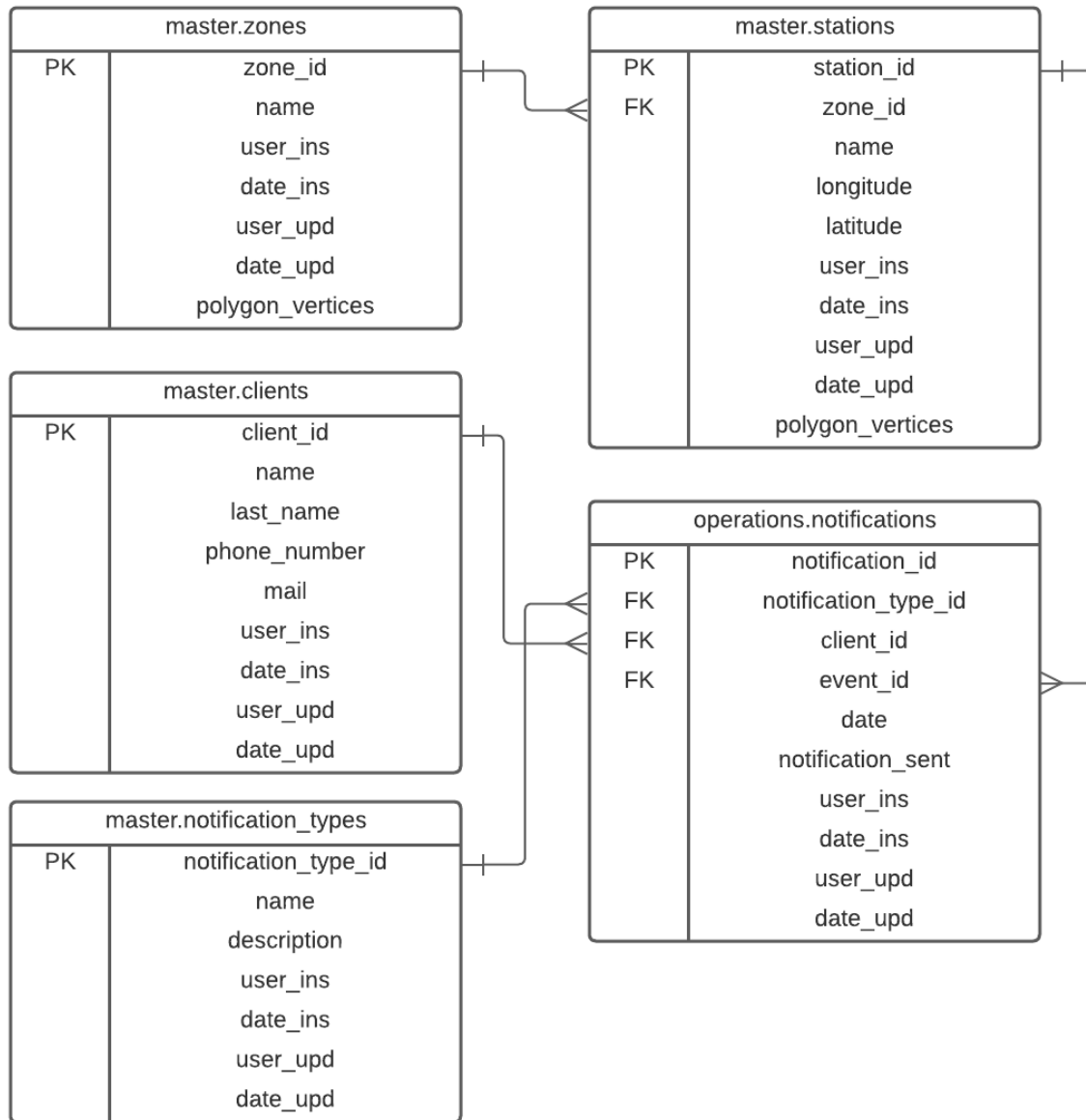


Figura 100. Diagrama de la base de datos del sistema. Vista lateral izquierda. (Elaboración propia)

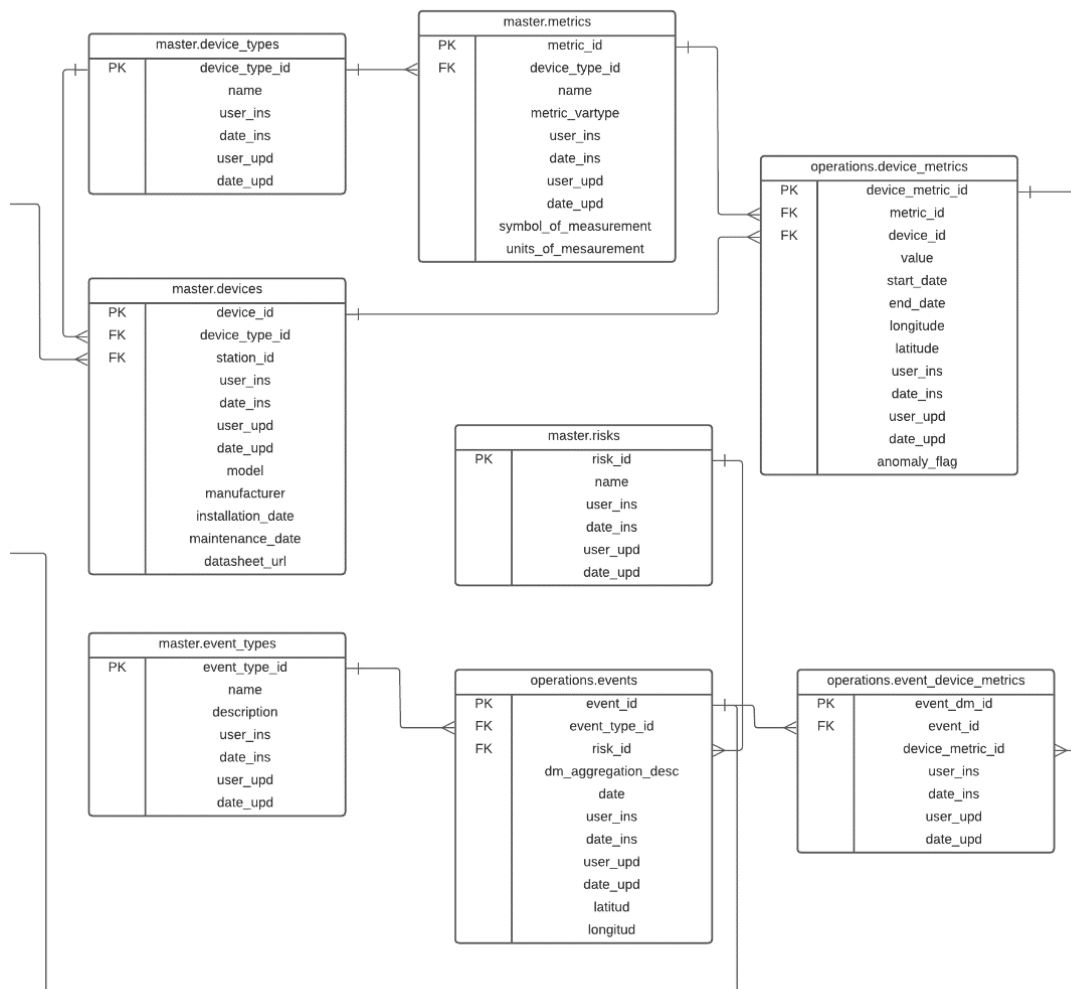


Figura 101. Diagrama de la base de datos del sistema. Vista lateral derecha. (Elaboración propia)

6.14.2 Diagrama Entidad Relación

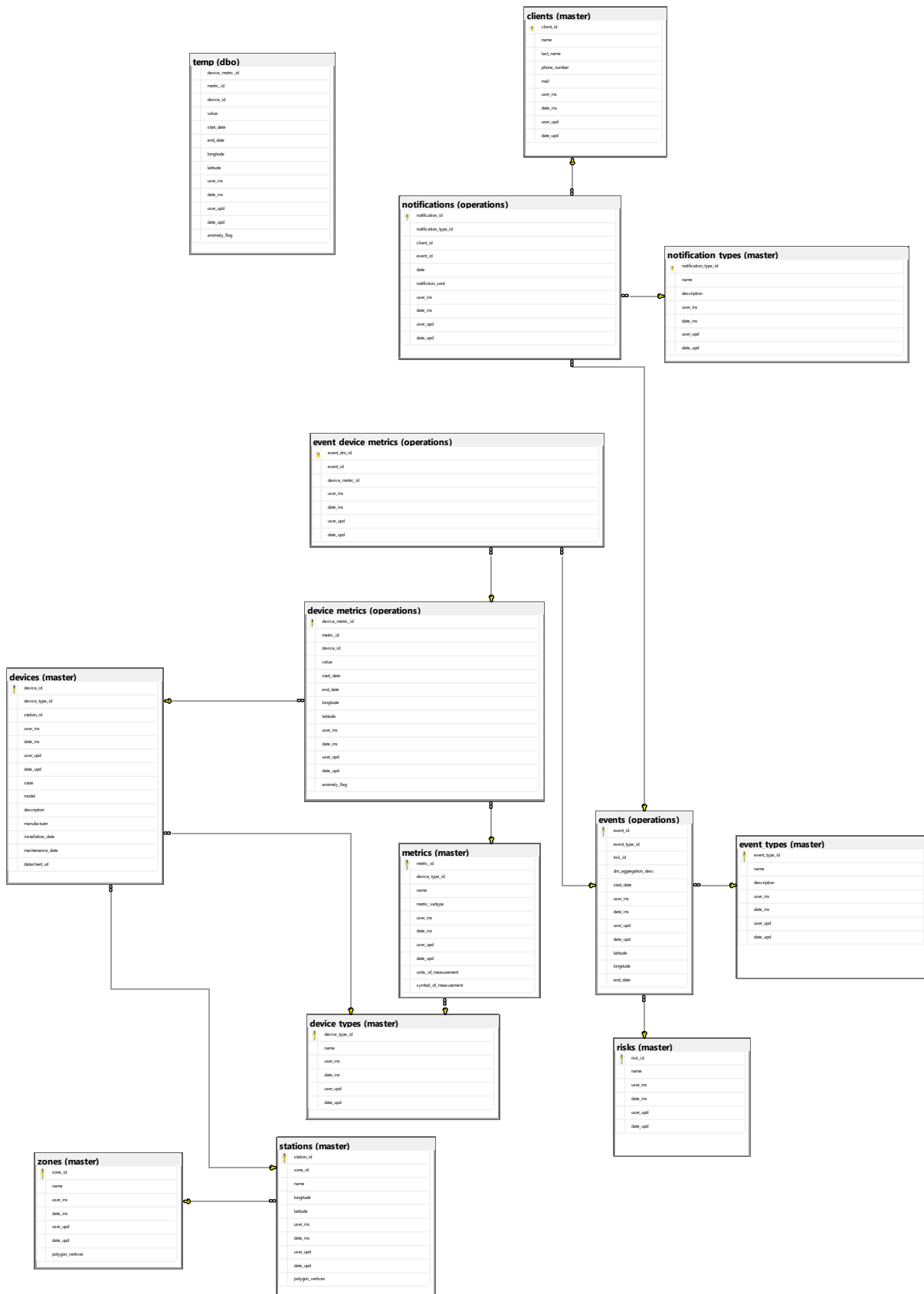


Figura 102. Diagrama entidad-relación del sistema

6.14.3 Diccionario de datos del sistema

6.14.3.1 Esquema máster

Tabla 7.

MASTER.CLIENTS

| NOMBRE | MASTER.CLIENTS | | | | | |
|--------------|--|--------------|-------|-----------------|-------|---------------|
| DESCRIPCIÓN | Tabla de maestro de clientes que contiene a cada cliente con su contacto con el objetivo de enviar notificaciones. | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| CLIENT_ID | ID del cliente | INT | NO | 4 | NO | PK |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| LAST_NAME | Apellido del cliente | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| MAIL | Correo electrónico del cliente | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| NAME | Nombre del cliente | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| PHONE_NUMBER | Número telefónico del cliente | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

Tabla 8

MASTER.DEVICE_TYPES

| NOMBRE | | | | | | |
|---------------------|--|--------------|-------|-----------------|-------|---------------|
| MASTER.DEVICE_TYPES | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | Tabla de maestro de los tipos de dispositivos que incluye cada estación. | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DEVICE_TYPE_ID | ID del tipo de dispositivo | INT | NO | 4 | NO | PK |
| NAME | Nombre del tipo de dispositivo | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

Tabla 9.

MASTER.DEVICES

| NOMBRE | | | | | | |
|----------------|--|--------------|-------|-----------------|-------|---------------|
| MASTER.DEVICES | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | Tabla de maestro de los dispositivos en todas las estaciones | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| DATASHEET_URL | URL con las especificaciones del dispositivo | VAR CHAR | SI | 1000 | SI | NULL |

| | | | | | | |
|-------------------|---|--------------|----|------|----|------|
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DESCRIPTION | Descripción del dispositivo | VAR CHAR | SI | 1000 | SI | NULL |
| DEVICE_ID | ID del dispositivo | INT | NO | 4 | NO | PK |
| DEVICE_TYPE_ID | ID del tipo de dispositivo | INT | SI | 4 | SI | FK |
| INSTALLATION_DATE | Fecha de instalación del dispositivo | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| MAINTENANCE_DATE | Fecha del último mantenimiento del dispositivo | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| MANUFACTURER | Fabricante del dispositivo | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| MODEL | Modelo del dispositivo | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| STATE | Estado actual del dispositivo | VAR CHAR | SI | 10 | SI | NULL |
| STATION_ID | ID de la estación en el que está ubicado el dispositivo | INT | SI | 4 | SI | NULL |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

Tabla 10.

MASTER.EVENT_TYPES

| NOMBRE | MASTER.EVENT_TYPES | | | | | |
|--------------------|--|---------------------|--------------|------------------------|--------------|----------------------|
| DESCRIPCIÓN | Tabla de maestro que contiene todos los tipos de eventos que el sistema puede monitorear y reportar. | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DESCRIPTION | Descripción del tipo de evento | VAR CHAR | SI | 100 | SI | NULL |
| EVENT_TYPE_ID | ID del tipo de evento | INT | NO | 4 | NO | PK |
| NAME | Nombre del tipo de dispositivo | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

Tabla 11.
MASTER.METRICS

| NOMBRE | MASTER.METRICS | | | | | |
|-----------------------|---|---------------------|--------------|------------------------|--------------|----------------------|
| DESCRIPCIÓN | Tabla de maestro que contiene todos los tipos de métricas que el sistema puede monitorear y reportar. | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULLS | TIPO DE LLAVE |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DEVICE_TYPE_ID | ID del tipo de dispositivo | INT | SI | 4 | SI | FK |
| METRIC_ID | ID de la métrica | INT | NO | 4 | NO | PK |
| METRIC_VARTYPE | Nombre del cliente | VARCHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| NAME | Nombre de la métrica | VARCHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| SYMBOL_OF_MEASUREMENT | Símbolo de la unidad de medida de la métrica | VARCHAR | SI | 5 | SI | NULL |
| UNITS_OF_MEASUREMENT | Unidad de medida de la métrica | VARCHAR | SI | 20 | SI | NULL |
| USER_INS | Usuario que inserta | VARCHAR | SI | 50 | SI | NULL |

| | | | | | | |
|----------|-----------------------|----------|----|----|----|------|
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VARC HAR | SI | 50 | SI | NULL |
|----------|-----------------------|----------|----|----|----|------|

Tabla 12.

MASTER.NOTIFICATION_TYPES

| NOMBRE | MASTER.NOTIFICATION_TYPES | | | | | |
|----------------------|---|--------------|-------|-----------------|-------|---------------|
| DESCRIPCIÓN | Tabla de maestro que contiene todos los tipos de notificaciones de eventos que el sistema puede reportar. | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATETIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATETIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DESCRIPTION | Descripción del tipo de notificación | VARC HAR | SI | 100 | SI | NULL |
| NAME | Nombre del tipo de notificación | VARC HAR | SI | 50 | SI | NULL |
| NOTIFICATION_TYPE_ID | ID del tipo de notificación | INT | NO | 4 | NO | PK |
| USER_INS | Usuario que inserta | VARC HAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VARC HAR | SI | 50 | SI | NULL |

Tabla 13.
MASTER.RISKS

| | | | | | | |
|--------------------|---|---------------------|--------------|------------------------|--------------|----------------------|
| NOMBRE | MASTER.RISKS | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | Tabla de maestro que contiene todos riesgos posibles que el sistema puede reportar. | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| NAME | Nombre del tipo de notificación | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| RISK_ID | ID del tipo de riesgo | INT | NO | 4 | NO | PK |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

Tabla 14 MASTER.STATIONS

| NOMBRE | MASTER.STATIONS | | | | | |
|--------------------|---|---------------------|--------------|------------------------|--------------|----------------------|
| DESCRIPCIÓN | Tabla de maestro que contiene todos los datos de todas las estaciones del sistema | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULLS | TIPO DE LLAVE |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| LATITUDE | Latitud de la ubicación de la estación | FLOAT | SI | 8 | SI | FK |
| LONGITUDE | Longitud de la ubicación de la estación | FLOAT | SI | 8 | SI | NULL |
| NAME | Nombre de la estación | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| POLYGON_VERTICES | Vértices del polígono | VAR CHAR | SI | 200 | SI | NULL |
| STATION_ID | ID de la estación | INT | NO | 4 | NO | PK |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| ZONE_ID | ID de la zona de la estación | INT | SI | 4 | SI | FK |

Tabla 15.

MASTER.ZONES

| | | | | | | |
|--------------------|---|---------------------|--------------|------------------------|--------------|----------------------|
| NOMBRE | MASTER.ZONES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | Tabla de maestro que contiene todas las zonas en las que están ubicadas las estaciones dentro del parque. | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| NAME | Nombre del tipo de notificación | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| POLYGON_VERTICES | Vértices del polígono | VAR CHAR | SI | 200 | SI | NULL |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | PK |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| ZONE_ID | ID de la zona | INT | NO | 4 | NO | NULL |

6.14.3.2 Esquema operations

Tabla 16.

OPERATIONS.DEVICE_METRICS

| NOMBRE | | OPERATIONS.DEVICE_METRICS | | | | |
|------------------|---|--|-------|-----------------|-------|---------------|
| DESCRIPCIÓN | | Almacena las métricas por dispositivo generadas. | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| ANOMALY_FLAG | Indicador de anomalía | INT | SI | 4 | SI | NULL |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DEVICE_ID | ID del dispositivo | INT | SI | 4 | SI | FK |
| DEVICE_METRIC_ID | ID de la métrica del dispositivo | INT | NO | 4 | NO | PK |
| END_DATE | Fecha de finalización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| LATITUDE | Latitud de la ubicación de la estación | FLOAT | SI | 8 | SI | NULL |
| LONGITUDE | Longitud de la ubicación de la estación | FLOAT | SI | 8 | SI | NULL |
| METRIC_ID | ID de la métrica | INT | SI | 4 | SI | FK |
| START_DATE | Fecha de comienzo | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

| | | | | | | |
|----------|-----------------------|-------------|----|----|----|------|
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| VALUE | Métrica capturada | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

Tabla 17.

OPERATIONS.EVENT_DEVICE_METRICS

| OPERATIONS.EVENT_DEVICE_METRICS | | | | | | |
|---------------------------------|---|--------------|-------|-----------------|-------|---------------|
| NOMBRE | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | Almacena las métricas generadas por los dispositivos al disparar un evento. | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DEVICE_METRIC_ID | ID de la métrica del dispositivo | INT | SI | 4 | SI | FK |
| EVENT_DM_ID | ID del evento device metric que activo el evento | INT | NO | 4 | NO | PK |
| EVENT_ID | ID del evento | INT | SI | 4 | SI | FK |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

Tabla 18.

OPERATIONS.EVENTS

| OPERATIONS.EVENTS | | | | | | |
|---------------------|--|--------------|-------|-----------------|-------|---------------|
| NOMBRE | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | Almacena los eventos por reportar. | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DM_AGGREGATION_DESC | Descripción de qué tipo de función de agregación su uso para activar el evento | VAR CHAR | SI | 100 | SI | NULL |
| END_DATE | Fecha de finalización de captura de una métrica en una estación | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| EVENT_ID | ID del evento | INT | NO | 4 | NO | PK |
| EVENT_TYPE_ID | ID del tipo de evento | INT | SI | 4 | SI | FK |
| LATITUDE | Latitud de la ubicación de la estación | FLOAT | SI | 8 | SI | NULL |
| LONGITUDE | Longitud de la ubicación de la estación | FLOAT | SI | 8 | SI | NULL |
| RISK_ID | ID del riesgo | INT | SI | 4 | SI | FK |

| | | | | | | |
|------------|---|-----------|----|----|----|------|
| START_DATE | Fecha de inicio de captura de una métrica en una estación | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

Tabla 19.

OPERATIONS.NOTIFICATIONS

| NOMBRE | | OPERATIONS.NOTIFICATIONS | | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|-------|-----------------|-------|---------------|
| DESCRIPCIÓN | Almacena las notificaciones del sistema | | | | | |
| COLUMNA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | ÚNICO | LONGITUD MÁXIMA | NULOS | TIPO DE LLAVE |
| CLIENT_ID | ID del cliente | INT | SI | 4 | SI | FK |
| DATE_INS | Fecha de inserción | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| DATE_UPD | Fecha de actualización | DATE TIME | SI | 8 | SI | NULL |
| EVENT_ID | ID del evento | INT | SI | 50 | SI | FK |
| NOTIFICATION_ID | ID de la notificación | INT | NO | 4 | NO | PK |
| NOTIFICATION_TY PE_ID | ID del tipo de notificación | INT | SI | 4 | SI | FK |
| NOTIFICATION_S ENT | Identificador de envío de la notificación | INT | SI | 4 | SI | NULL |

| | | | | | | |
|----------|-----------------------|-------------|----|----|----|------|
| USER_INS | Usuario que inserta | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |
| USER_UPD | Usuario que actualiza | VAR CHAR | SI | 50 | SI | NULL |

6.14.4 Queries de creación de tablas

```

/***** Object: Table [dbo].[temp] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [dbo].[temp](
    [device_metric_id] [int] NOT NULL,
    [metric_id] [int] NULL,
    [device_id] [int] NULL,
    [value] [varchar](50) NULL,
    [start_date] [datetime] NULL,
    [end_date] [datetime] NULL,
    [longitude] [float] NULL,
    [latitude] [float] NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
    [anomaly_flag] [int] NULL
) ON [PRIMARY]
GO

```

Figura 103. Query de creación de la tabla dbo.temp (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [master].[clients] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [master].[clients](
    [client_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [name] [varchar](50) NULL,
    [last_name] [varchar](50) NULL,
    [phone_number] [varchar](50) NULL,
    [mail] [varchar](50) NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,

PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [client_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

```

Figura 104. Query de creación de la tabla master.clients (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [master].[device_types] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [master].[device_types](
    [device_type_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [name] [varchar](50) NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,

PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [device_type_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

```

Figura 105. Query de creación de la tabla master.device_types (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [master].[devices] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [master].[devices](
    [device_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [device_type_id] [int] NULL,
    [station_id] [int] NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
    [state] [varchar](10) NULL,
    [model] [varchar](50) NULL,
    [description] [varchar](1000) NULL,
    [manufacturer] [varchar](50) NULL,
    [installation_date] [datetime] NULL,
    [maintenance_date] [datetime] NULL,
    [datasheet_url] [varchar](1000) NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [device_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

ALTER TABLE [master].[devices] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([device_type_id])
REFERENCES [master].[device_types] ([device_type_id])
GO

ALTER TABLE [master].[devices] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([station_id])
REFERENCES [master].[stations] ([station_id])
GO

```

Figura 106. Query de creación de la tabla *master.devices* (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [master].[event_types] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [master].[event_types](
    [event_type_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [name] [varchar](50) NULL,
    [description] [varchar](100) NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [event_type_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

```

Figura 107. Query de creación de la tabla *master.event_types* (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [master].[metrics] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [master].[metrics](
    [metric_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [device_type_id] [int] NULL,
    [name] [varchar](50) NULL,
    [metric_vartype] [varchar](50) NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
    [units_of_measurement] [varchar](20) NULL,
    [symbol_of_measurement] [varchar](5) NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [metric_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

ALTER TABLE [master].[metrics] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([device_type_id])
REFERENCES [master].[device_types] ([device_type_id])
GO

```

Figura 108. Query de creación de la tabla *master.metrics* (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [master].[notification_types] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [master].[notification_types](
    [notification_type_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [name] [varchar](50) NULL,
    [description] [varchar](100) NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [notification_type_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

```

Figura 109. Query de creación de la tabla *master.notification_types* (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [master].[risks] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [master].[risks](
    [risk_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [name] [varchar](50) NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [risk_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

```

Figura 110. Query de creación de la tabla master.risks (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [master].[stations] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [master].[stations](
    [station_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [zone_id] [int] NULL,
    [name] [varchar](50) NULL,
    [longitude] [float] NULL,
    [latitude] [float] NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
    [polygon_vertices] [varchar](200) NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [station_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

ALTER TABLE [master].[stations] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([zone_id])
REFERENCES [master].[zones] ([zone_id])
GO

```

Figura 111. Query de creación de la tabla master.stations (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [master].[zones] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [master].[zones](
    [zone_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [name] [varchar](50) NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
    [polygon_vertices] [varchar](200) NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [zone_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

```

Figura 112. Query de creación de la tabla master.zones (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [operations].[device_metrics] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [operations].[device_metrics](
    [device_metric_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [metric_id] [int] NULL,
    [device_id] [int] NULL,
    [value] [varchar](50) NULL,
    [start_date] [datetime] NULL,
    [end_date] [datetime] NULL,
    [longitude] [float] NULL,
    [latitude] [float] NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
    [anomaly_flag] [int] NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [device_metric_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

ALTER TABLE [operations].[device_metrics] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([device_id])
REFERENCES [master].[devices] ([device_id])
GO

ALTER TABLE [operations].[device_metrics] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([metric_id])
REFERENCES [master].[metrics] ([metric_id])
GO

```

Figura 113. Query de creación de la tabla operations.device_metrics (Elaboración propia)


```
/****** Object: Table [operations].[event_device_metrics] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [operations].[event_device_metrics](
    [event_dm_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [event_id] [int] NULL,
    [device_metric_id] [int] NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [event_dm_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

ALTER TABLE [operations].[event_device_metrics] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([device_metric_id])
REFERENCES [operations].[device_metrics] ([device_metric_id])
GO

ALTER TABLE [operations].[event_device_metrics] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([event_id])
REFERENCES [operations].[events] ([event_id])
GO
```

Figura 114. Query de creación de la tabla *operations.event_device_metrics* (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [operations].[events] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [operations].[events](
    [event_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [event_type_id] [int] NULL,
    [risk_id] [int] NULL,
    [dm_aggregation_desc] [varchar](100) NULL,
    [start_date] [datetime] NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
    [latitude] [float] NULL,
    [longitude] [float] NULL,
    [end_date] [datetime] NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [event_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

ALTER TABLE [operations].[events] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([event_type_id])
REFERENCES [master].[event_types] ([event_type_id])
GO

ALTER TABLE [operations].[events] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([risk_id])
REFERENCES [master].[risks] ([risk_id])
GO

```

Figura 115. Query de creación de la tabla *operations.events* (Elaboración propia)

```

/***** Object: Table [operations].[notifications] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [operations].[notifications](
    [notification_id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [notification_type_id] [int] NULL,
    [client_id] [int] NULL,
    [event_id] [int] NULL,
    [date] [datetime] NULL,
    [notification_sent] [int] NULL,
    [user_ins] [varchar](50) NULL,
    [date_ins] [datetime] NULL,
    [user_upd] [varchar](50) NULL,
    [date_upd] [datetime] NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [notification_id] ASC
)WITH (STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

ALTER TABLE [operations].[notifications] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([client_id])
REFERENCES [master].[clients] ([client_id])
GO

ALTER TABLE [operations].[notifications] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([event_id])
REFERENCES [operations].[events] ([event_id])
GO

ALTER TABLE [operations].[notifications] WITH CHECK ADD FOREIGN KEY([notification_type_id])
REFERENCES [master].[notification_types] ([notification_type_id])
GO

```

Figura 116. Query de creación de la tabla *operations.notifications* (Elaboración propia)

6.14.5 Queries de creación de stored procedures

```
/****** Object: StoredProcedure [master].[get_devices_from_metric] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE PROCEDURE [master].[get_devices_from_metric]
(
    @metric_id INT
)
AS
BEGIN
    SELECT * FROM master.devices dev
    INNER JOIN master.metrics met
    ON dev.device_type_id = met.device_type_id
    WHERE metric_id = @metric_id
END
GO
```

Figura 117. Query de creación del stored procedure `master.get_devices_from_metric`
(Elaboración propia)

```
/****** Object: StoredProcedure [master].[get_station_from_device] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE PROCEDURE [master].[get_station_from_device]
(
    @device_id INT
)
AS
BEGIN
    SELECT * FROM master.devices dev
    INNER JOIN master.stations sta
    ON dev.station_id = sta.station_id
    WHERE device_id = @device_id
END
GO
```

Figura 118. Query de creación del stored procedure master.get_station_from_device
(Elaboración propia)

```

/***** Object: StoredProcedure [operations].[insert_device_metric] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE PROCEDURE [operations].[insert_device_metric]
(
    -- Add the parameters for the stored procedure here
    @metric_id int,
    @device_id int,
    @value varchar (50),
    @start_date datetime,
    @end_date datetime,
    @longitude float,
    @latitude float,
    @anomaly_flag int
)
AS
BEGIN
    -- SET NOCOUNT ON added to prevent extra result sets from
    -- interfering with SELECT statements.
    SET NOCOUNT OFF

    -- Insert statements for procedure here
    INSERT into operations.device_metrics SELECT
    @metric_id ,
    @device_id,
    @value,
    @start_date,
    @end_date,
    @longitude,
    @latitude,
    HOST_NAME(),
    GETDATE(),
    NULL,
    NULL,
    @anomaly_flag
END
GO

```

Figura 119. Query de creación del stored procedure `operations.insert_device_metric`
(Elaboración propia)

```
/****** Object: StoredProcedure [operations].[insert_event] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE PROCEDURE [operations].[insert_event]
(
    -- Add the parameters for the stored procedure here
    @event_type_id int,
    @risk_id int,
    @dm_aggregation_desc varchar(100),
    @date DATETIME
)
AS
BEGIN
    -- SET NOCOUNT ON added to prevent extra result sets from
    -- interfering with SELECT statements.
    SET NOCOUNT ON

    -- Insert statements for procedure here
    INSERT into operations.events SELECT
    @event_type_id,
    @risk_id,
    @dm_aggregation_desc,
    @date,
    HOST_NAME(),
    GETDATE(),
    NULL,
    NULL
END
GO
```

Figura 120. Query de creación del stored procedure operations.insert_event (Elaboración propia)

```
/****** Object: StoredProcedure [operations].[insert_event_device_metric] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE PROCEDURE [operations].[insert_event_device_metric]
(
    -- Add the parameters for the stored procedure here
    @event_id int,
    @device_metric_id int
)
AS
BEGIN
    -- SET NOCOUNT ON added to prevent extra result sets from
    -- interfering with SELECT statements.
    SET NOCOUNT ON

    -- Insert statements for procedure here
    INSERT into operations.event_device_metrics SELECT
    @event_id,
    @device_metric_id,
    HOST_NAME(),
    GETDATE(),
    NULL,
    NULL
END
GO
```

Figura 121. Query de creación del stored procedure `operations.insert_event_device_metric`
(Elaboración propia)


```

/***** Object: StoredProcedure [operations].[insert_notifications] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE PROCEDURE [operations].[insert_notifications]
(
    -- Add the parameters for the stored procedure here
    @notification_type_id int,
    @client_id int,
    @event_id int,
    @date datetime,
    @notification_sent int
)
AS
BEGIN
    -- SET NOCOUNT ON added to prevent extra result sets from
    -- interfering with SELECT statements.
    SET NOCOUNT ON

    -- Insert statements for procedure here
    INSERT into operations.notifications SELECT
    @notification_type_id,
    @client_id,
    @event_id,
    @date,
    @notification_sent,
    HOST_NAME(),
    GETDATE(),
    NULL,
    NULL
END
GO

```

Figura 122. Query de creación del stored procedure `operations.insert_notifications`
(Elaboración propia)

6.14.6 SQL Schemas

Nuestra base de datos tiene las tablas y procedimientos almacenados segmentados en tres esquemas de seguridad importantes. Estos esquemas son:

- Esquema master
- Esquema operaciones
- Esquema dbo

6.14.6.1 Esquema master

El esquema master contiene todas las tablas de tipo no transaccional, es decir, todas las tablas de dimensionamiento o también conocidas como tablas maestras. Estas tablas contienen exclusivamente la data que generalmente no cambia y que se usa de referencia para encontrar la información de su contraparte, las transacciones. Existen también algunos procedimientos relacionados en el esquema master que nos permite obtener información de estas tablas.

6.14.6.2 Esquema operaciones

El esquema operaciones contiene a las tablas y procedimientos transaccionales, es decir, las que representan una acción en nuestro modelo de datos. Todas las tablas de este esquema tienen un tráfico regular de gran volumetría por transacciones de métricas por estación, notificaciones y eventos. La naturaleza de los procedimientos almacenados de este esquema es que nos permitirán solo escribir en las tablas operacionales para añadir transacciones.

6.14.6.3 Esquema dbo

Es el esquema predeterminado de la base de datos SQL que contiene tablas de sistema y tablas temporales de prueba.

6.14.7 Modelo de datos de Power BI

Para poder utilizar la data de la base de datos SQL en las visualizaciones de Power BI se tuvo que completar el modelo de datos en el aplicativo de Power BI. El modelo de datos final que usa Power BI después de transformaciones con Power Query, DAX, medidas y columnas calculadas, el esquema de entidad-relación resultante es el siguiente:

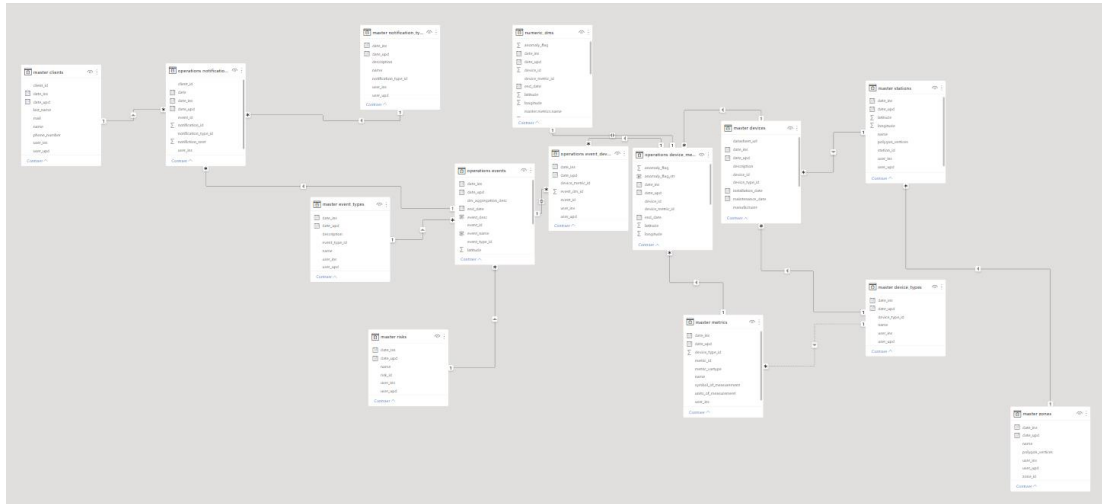


Figura 123. Diagrama de Modelo de datos del Power BI (Elaboración propia)

Este cuenta con 14 tablas, de las cuales solo se ha agregado una nueva al modelo de datos de Power BI llamada `numeric_dms`. Esta tabla guarda la misma información que la tabla de transacciones `operations.device_metrics`, solo que por razones de que una columna solo puede tener un tipo de valor único (no múltiples), entonces hay que segmentar los string de los números para que puedan usarse en visuales, medidas y columnas calculadas.

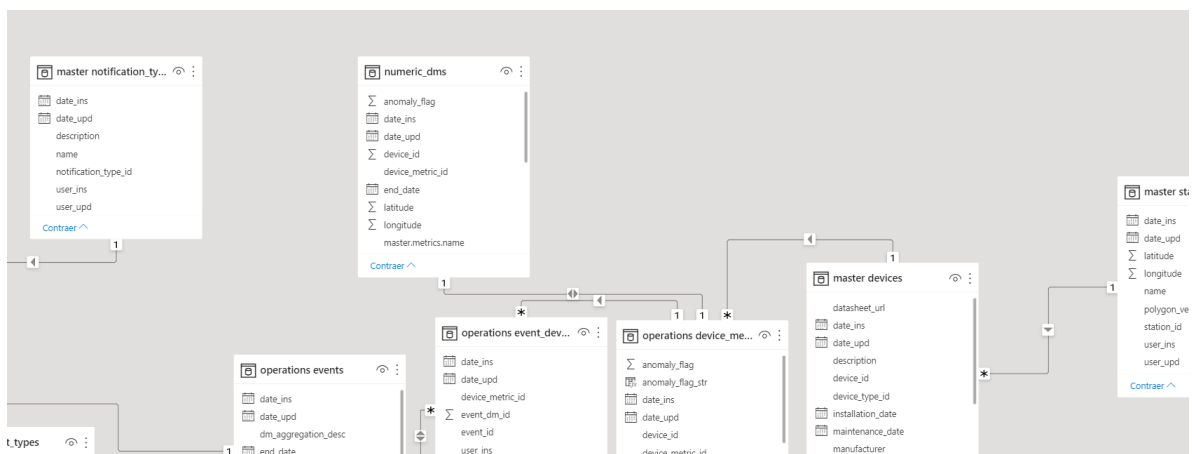


Figura 124. Tablas en el modelo de datos en Power BI (Elaboración propia)

Se realizaron cuatro transformaciones en Power Query a la tabla `operations.device_metrics` para añadir de forma dinámica al modelo de datos a la tabla `numeric_dms`.

Es posible que esta vista previa tenga 40 días. Actualizar

Configuración de la consulta

PROPIEDADES

Nombre
numeric_dms

Todas las propiedades

PASOS APLICADOS

Origen
Navegación
Tipo cambiado
Errores quitados
Se expandió master.metrics

| | device_metric_id | metric_id | device_id | value | start_date |
|----|------------------|-----------|-----------|-------------|------------|
| 1 | 1 | 1 | 3 | 11.29161846 | 30/6 |
| 2 | 2 | 1 | 7 | 11.80494351 | 30/6 |
| 3 | 3 | 1 | 11 | 11.04221655 | 30/6 |
| 4 | 4 | 1 | 15 | 11.19014406 | 30/6 |
| 5 | 5 | 1 | 19 | 11.54978052 | 30/6 |
| 6 | 6 | 1 | 23 | 11.09319376 | 30/6 |
| 7 | 7 | 1 | 27 | 11.44804711 | 30/6 |
| 8 | 8 | 1 | 31 | 11.22273787 | 30/6 |
| 9 | 9 | 1 | 35 | 11.66310366 | 30/6 |
| 10 | 10 | 1 | 39 | 11.81126983 | 30/6 |
| 11 | 11 | 2 | 2 | 17.52967731 | 30/6 |
| 12 | 12 | 2 | 6 | 17.26856301 | 30/6 |
| 13 | 13 | 2 | 10 | 13.41864746 | 30/6 |
| 14 | 14 | 2 | 14 | 20.43133286 | 30/6 |
| 15 | 15 | 2 | 18 | 16.66772514 | 30/6 |
| 16 | 16 | 2 | 22 | 16.08568917 | 30/6 |
| 17 | 17 | 2 | 26 | 18.91598523 | 30/6 |
| 18 | 18 | 2 | 30 | 19.92997699 | 30/6 |
| 19 | 19 | 2 | 34 | 21.96060428 | 30/6 |

Figura 125. Editor de Power Query (Elaboración propia)

Aparte de eso, también se han actualizado las relaciones entre algunas columnas sobrescribiendo la relación por default que tenían en la base de datos. Estas tablas son:

- Relación 1 a varios entre tablas master.notification_types y operations.notifications
- Relación 1 a varios entre tablas master.clients y operations.notifications
- Relación 1 a varios entre tablas operations.events y operations.notifications

Entre las medidas y columnas calculadas agregadas se encuentran:

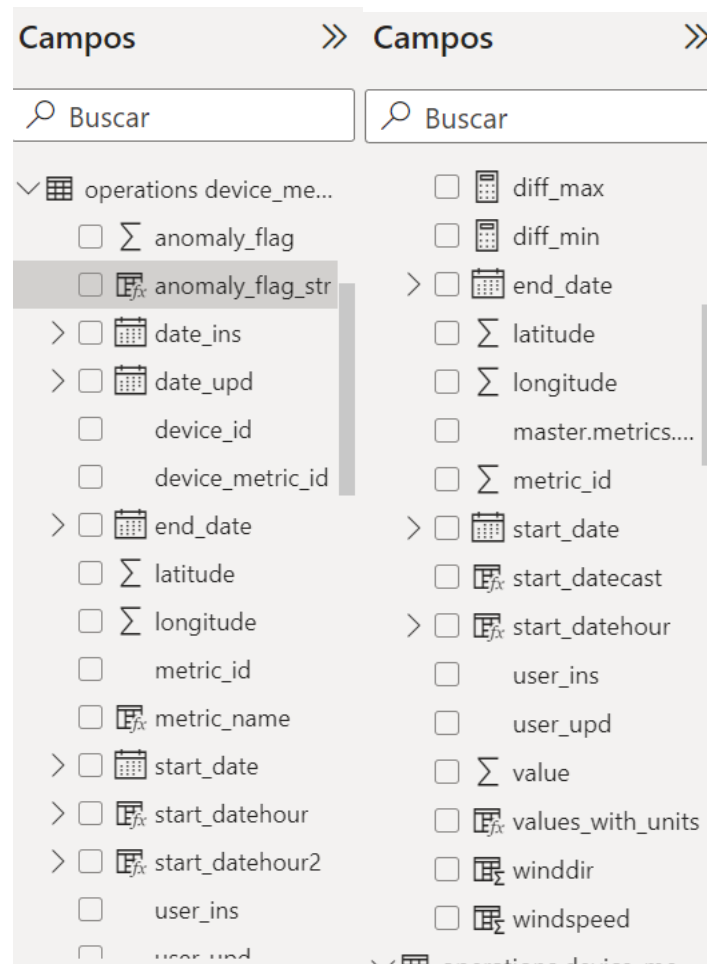


Figura 126. Campos en Power BI. (Elaboración propia)

- La columna calculada `anomaly_flag_str` representa el valor en texto que resulta al pasar la columna `anomaly_flag` por el siguiente diccionario:
 - 1 es “Sí”
 - 0 es “No”
- La columna calculada `start_datehour` y `start_datehour2` nos permiten tener las gráficas con la data por fecha sin demasiada granularidad para fines analíticos.
- La columna calculada `values_with_units` combina el valor de la métrica con su unidad de medida.

6.15 Dashboard en Power BI (Formato de pantallas para las E/S de datos del sistema)

Para presentar las métricas capturadas por las estaciones al usuario y que éste pueda visualizar variables de incendio y tala de árboles, eventos y notificaciones, así como otras variables meteorológicas que captan los sensores y estado de estaciones, se ha creado un dashboard en Power BI con seis pantallas en donde el usuario puede analizar a través de distintas gráficas y tablas el comportamiento de las métricas capturadas en tiempo real en del Parque Valle Nuevo. Las pantallas que contiene el dashboard son:

- Incendios
- Tala de árboles
- Detección de objetos
- Meteorología
- Estaciones
- Detalles

Aspectos generales

El dashboard de forma general cuenta con una UI fija que aparece en todas las pantallas con un menú a la izquierda que contiene el listado de pantallas, cada una con un símbolo. A través de este menú se puede cambiar entre pantallas.

En la parte de arriba del UI se encuentra el nombre del dashboard, así como los filtros de estación y zona. Estos filtros nos permitirán ver por pantalla solo la información de las estaciones/zonas que indiquemos a través de ellos.

Por último, en la parte de arriba siempre aparecerá la cantidad de métricas capturadas del caso de uso, la cantidad de eventos disparados y la cantidad de notificaciones disparados.

A continuación, se procede a explicar en qué consiste cada pantalla y las visuales que contiene.

6.15.1 Pantalla No. 1: Incendios



Figura 127. Pantalla No. 1: Incendios (Elaboración propia)

6.15.1.1 Segmentaciones

La pantalla cuenta con dos objetos de segmentación. El primero te permite segmentar la data por fecha y se encuentra en la esquina superior izquierda. El último, ubicado en el centro superior, permite filtrar por si tiene la bandera de anomalía encendida o no.

6.15.1.2 Visuales

Esta pantalla nos permite visualizar toda la información relacionada con los incendios que ocurren en el parque, eventos desencadenados de anomalías tipo incendio y métricas de temperatura en el tiempo. Para ello con lo primero que cuenta es con un mapa con la densidad de incendios por coordenada geográfica. Con este mapa podemos apreciar las zonas en donde se detectan más incendios con un color rojo intenso que va difuminándose hacia un tono azul turquesa transparente a medida que la densidad se reduce.

< Volver al informe | DENSIDAD DE INCENDIOS

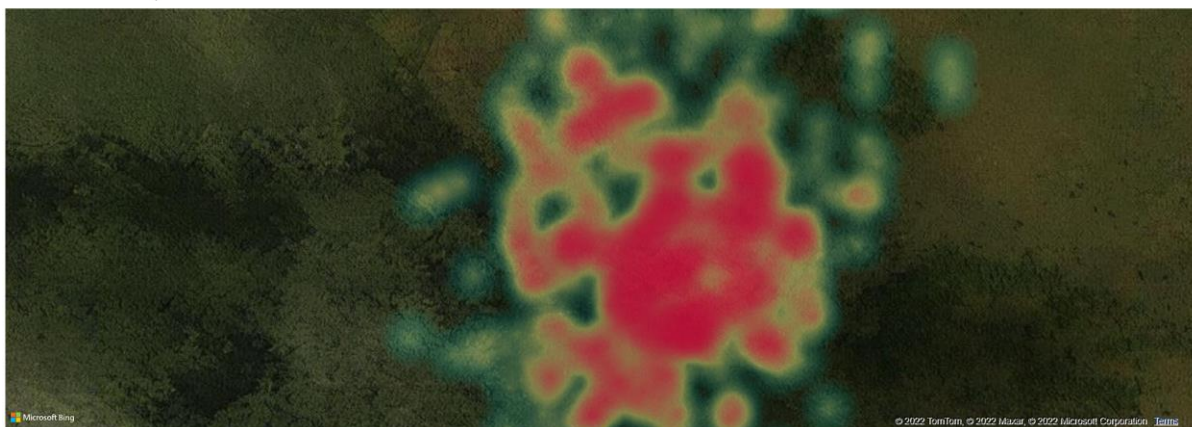


Figura 128. Densidad de incendios. (Elaboración propia)

La gráfica titulada “Densidad de incendios y anomalías por fecha” muestra a través de un gráfico híbrido barras-línea cuál es la densidad de incendios y cantidad de anomalías por fecha calendario para explorar la correlación entre ambas variables.

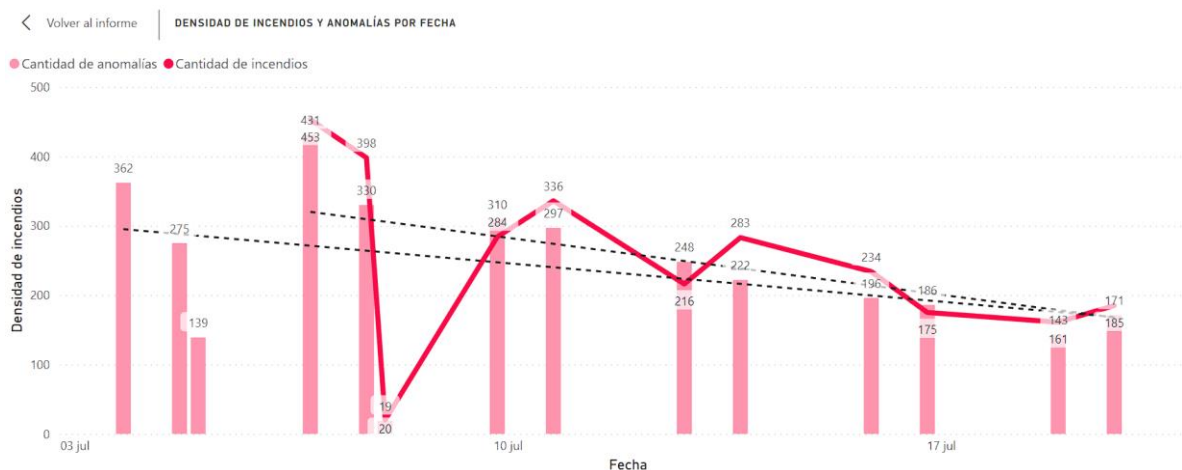


Figura 129. Densidad de incendios y anomalías por fecha (Elaboración propia)

Esta pantalla cuenta también con dos tablas. Una de ellas se encuentra en el medio de esta y nos muestra una de las informaciones más importantes: la cantidad de eventos de incendios activados por fecha, es decir, el historial de incendios. La otra nos muestra el historial de temperatura por fecha.

Este histórico de temperatura se puede apreciar gráficamente en la esquina superior derecha a través de tres tarjetas numéricas con el mínimo, máximo y promedio de temperatura, acompañado debajo con una gráfica de área con los rangos de temperatura por instante de detección.

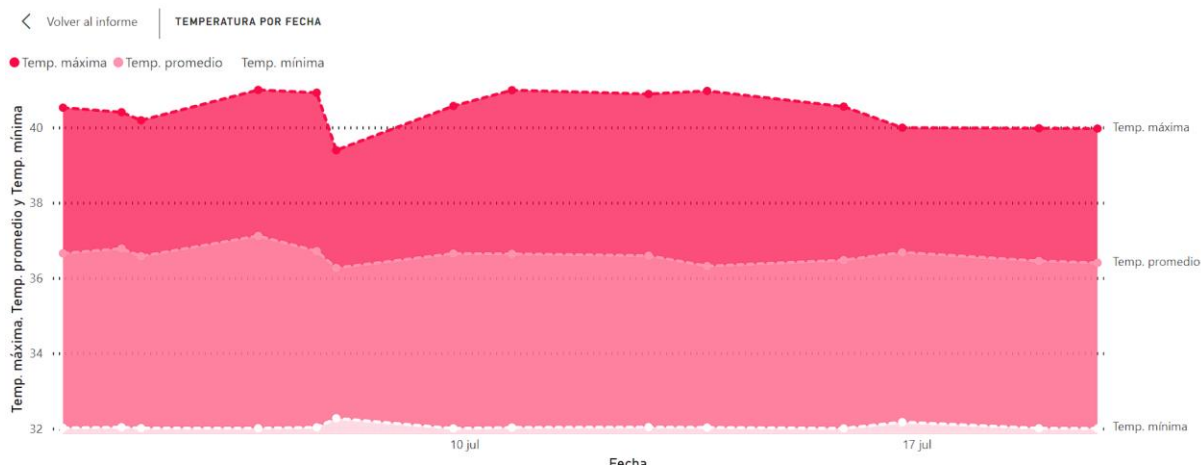


Figura 130. Temperatura por fecha. (Elaboración propia)

Otra visualización es la gráfica de barras “Incendios por estación”. Esta gráfica está ordenada de forma automática por cantidad de incendios de mayor a menor verticalmente. Esta gráfica es de gran utilidad porque nos permite hacer segmentación por estación haciendo clic en una barra sin usar el deslizador de la parte superior de la UI global.

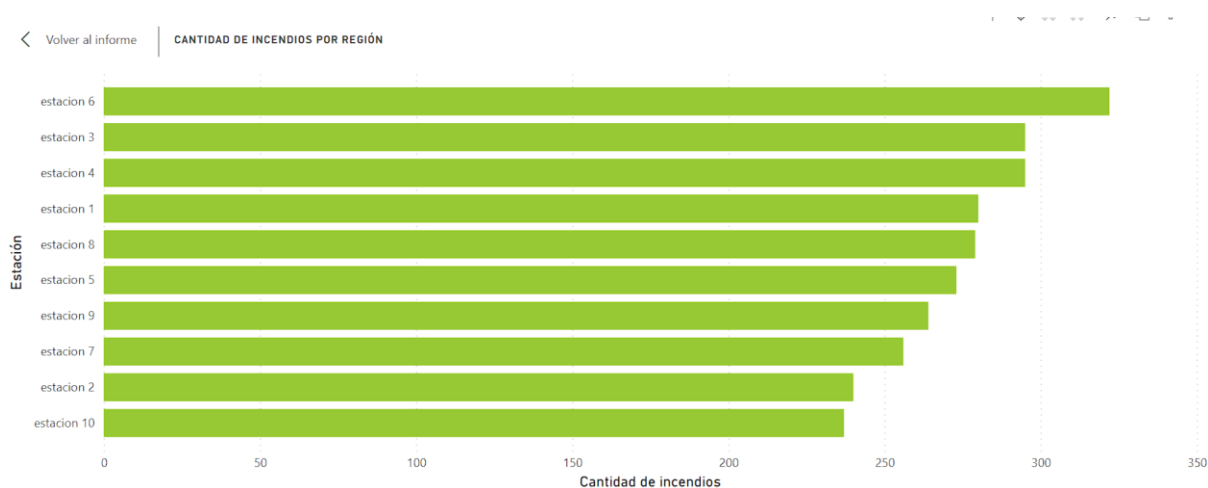


Figura 131. Cantidad de incendios por región. (Elaboración propia)

Por último, la gráfica de cintas “Cantidad de incendios por estación por día” es una visual que nos resume el comportamiento de la cantidad de incendios a través del tiempo ranqueando las estaciones. Es como tener varias gráficas de barra ordenadas por cantidad de incendio iterado en todo el espacio temporal segmentado.

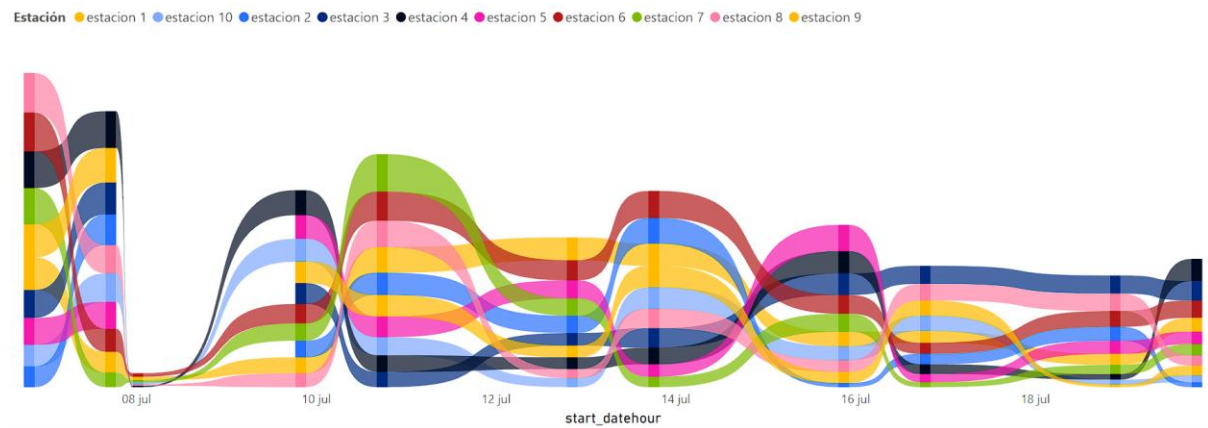


Figura 132. Cantidad de incendios por estación por día. (Elaboración propia)

6.15.2 Pantalla No 2: Tala de árboles

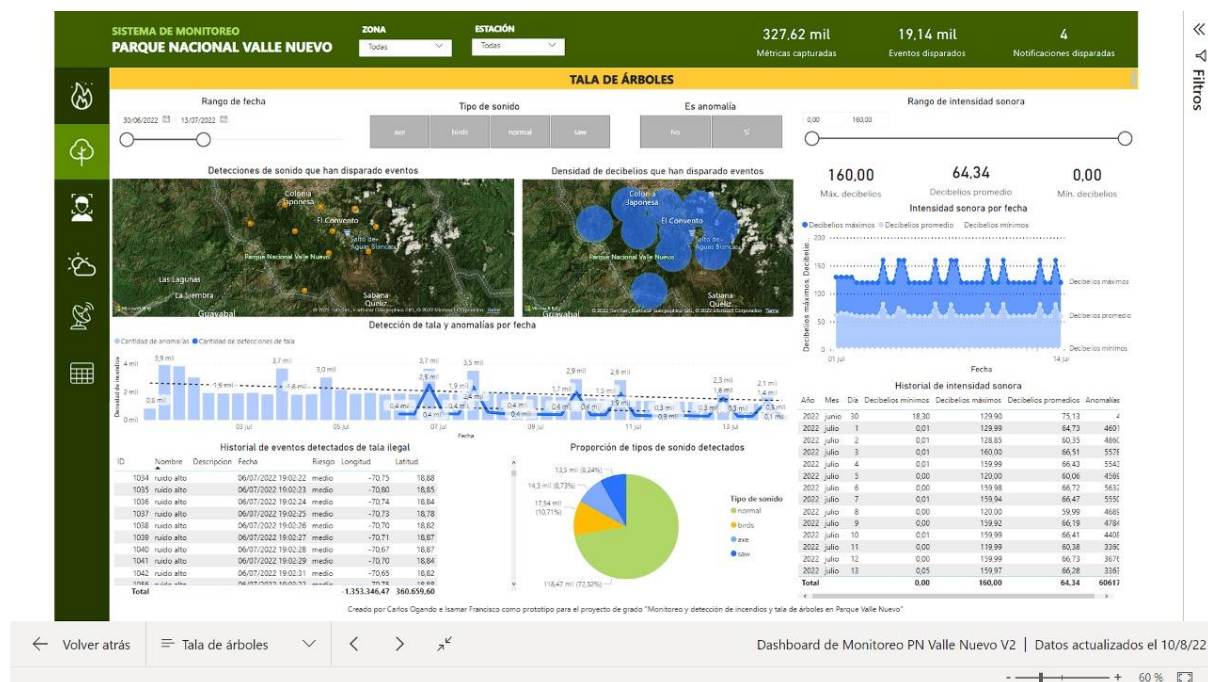


Figura 133. Pantalla No. 2: Tala de árboles (Elaboración propia)

6.15.2.1 Segmentaciones

Esta es la pantalla con más segmentaciones de todas. Cuenta con una clásica segmentación de fecha en la esquina superior y una segmentación por bandera de anomalía.

Además de estas segmentaciones básicas, cuenta con dos segmentaciones nuevas que son: una segmentación por tipo de sonido detectado por la inteligencia artificial y una segmentación por nivel de decibelios.

6.15.2.2 Visuales

Esta pantalla nos permite ver toda la información relacionada a la detección de tala de árboles. Es la pantalla con más visuales porque la detección de tala de árboles automática conlleva dos variables para poder aplicarse que son: intensidad sonora (decibelios) y detección sonora (clasificación de sonido). Para ello emplea gráficas a estos dos enfoques.

Las primeras gráficas que se destacan en el dashboard son los dos mapas ubicados en la izquierda céntrica. El primer mapa contiene las detecciones de sonido por coordenada geográfica.

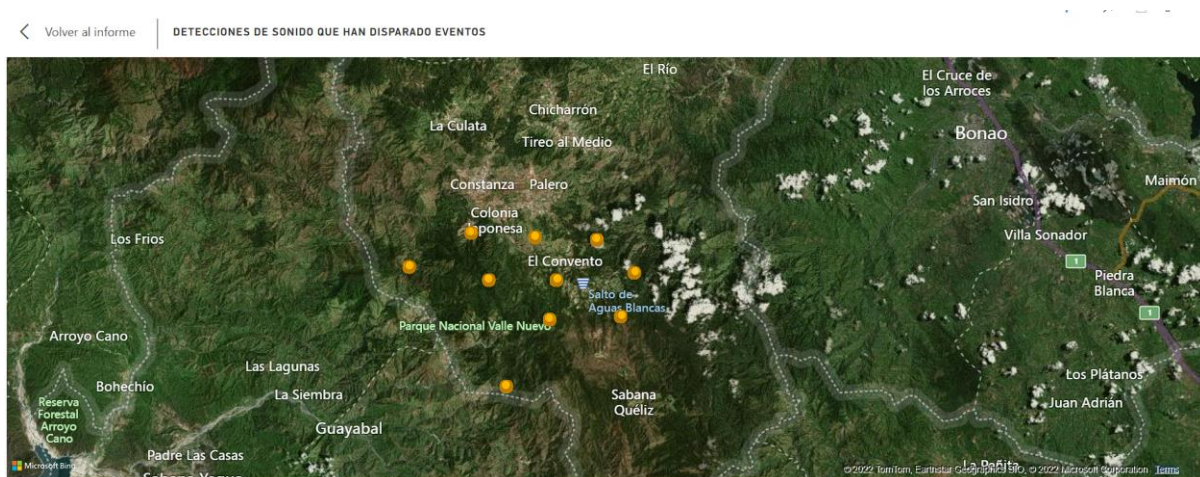


Figura 134. Detección de sonidos que disparan eventos. (Elaboración propia)

El segundo mapa muestra la densidad de decibelios por región.

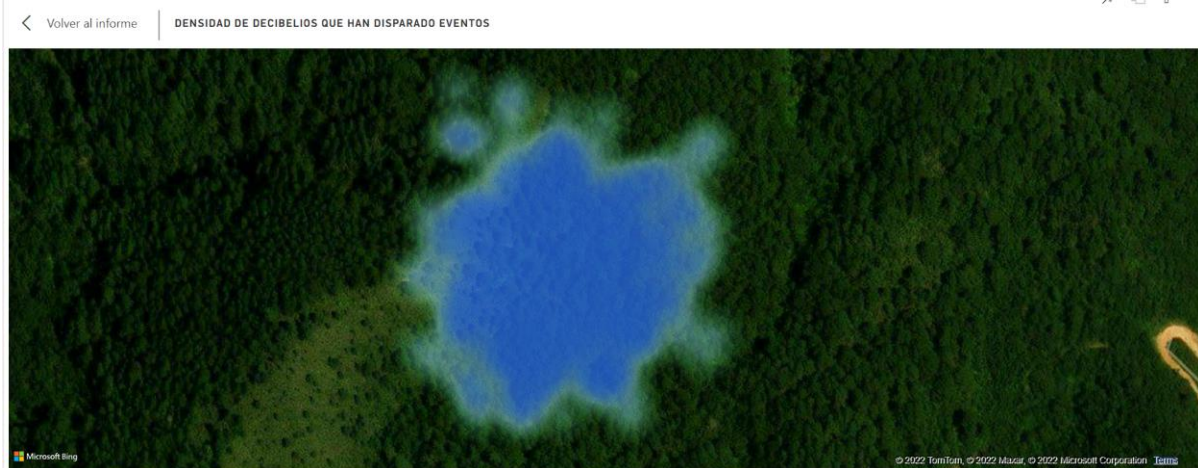


Figura 135. Densidad de decibelios que han disparado eventos. (Elaboración propia)

Debajo de estos mapas, en la pantalla podremos ver una gráfica híbrida de barras y líneas con la detección de talas versus anomalías por fecha.

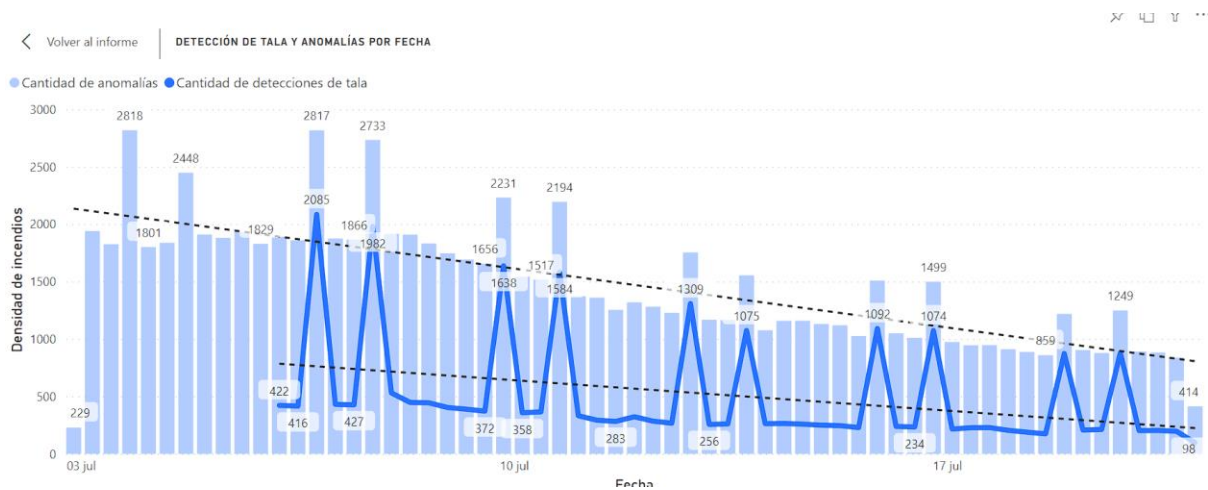


Figura 136. Detección de tala y anomalías por fecha. (Elaboración propia)

Cerca de esta gráfica está una de las tablas más importantes que es la tabla de eventos de tala de árboles y ruido alto, que contiene el historial de eventos de tala árbol disparados. Existe otra tabla similar a la de temperatura en la pantalla de incendios que muestra intensidad sonora por fecha. Esta tabla se acompaña de tarjetas indicando la intensidad sonora mínima, máxima y promedio, al igual que una gráfica con la misma información, pero por rango de área.

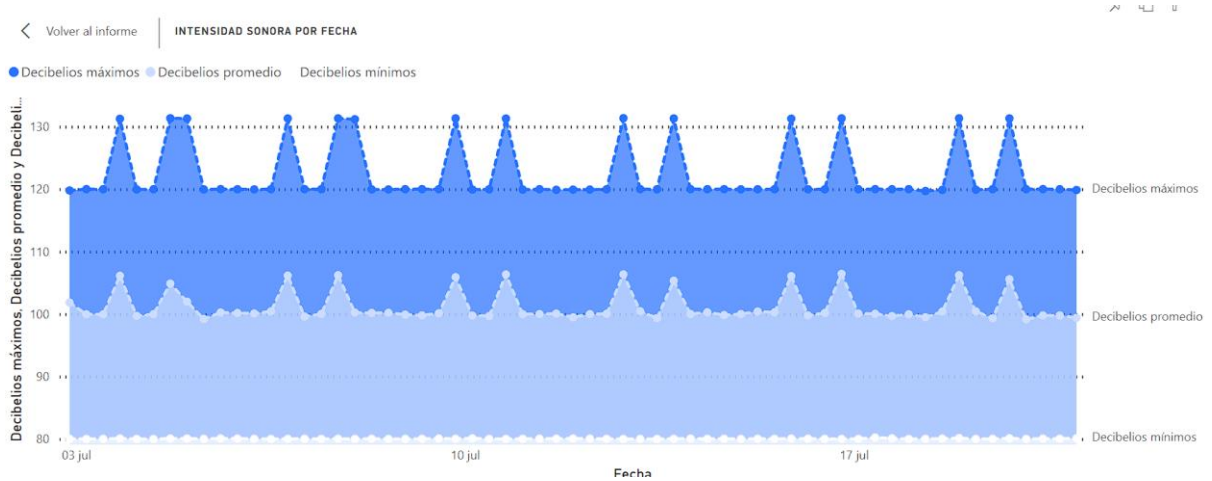


Figura 137. Intensidad sonora por hora. (Elaboración propia)

Por último, se muestra en la parte inferior central un gráfico de pastel con la cantidad de detecciones de tipo de sonido de la inteligencia artificial.

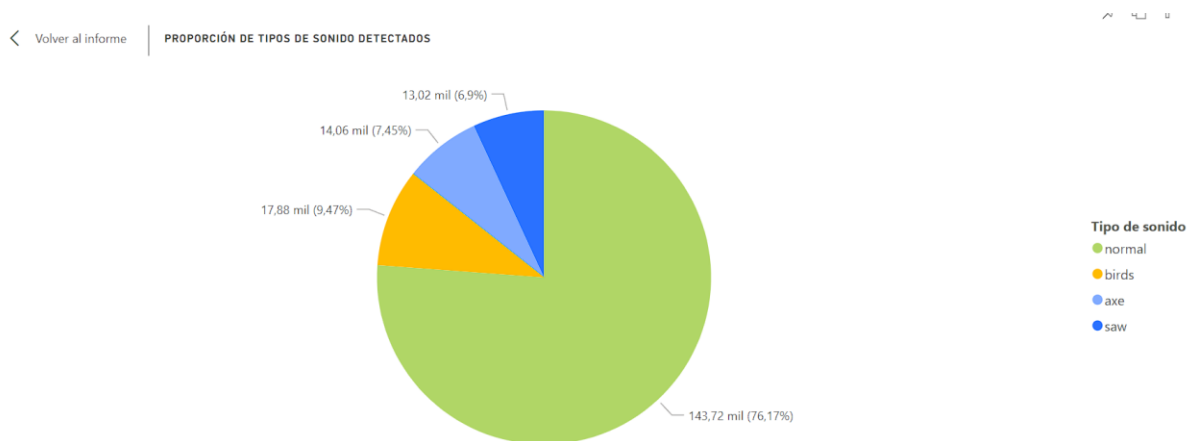


Figura 138. Proporción de tipos de sonido detectados (Elaboración propia)

6.15.3 Pantalla No 3: Detección de objetos

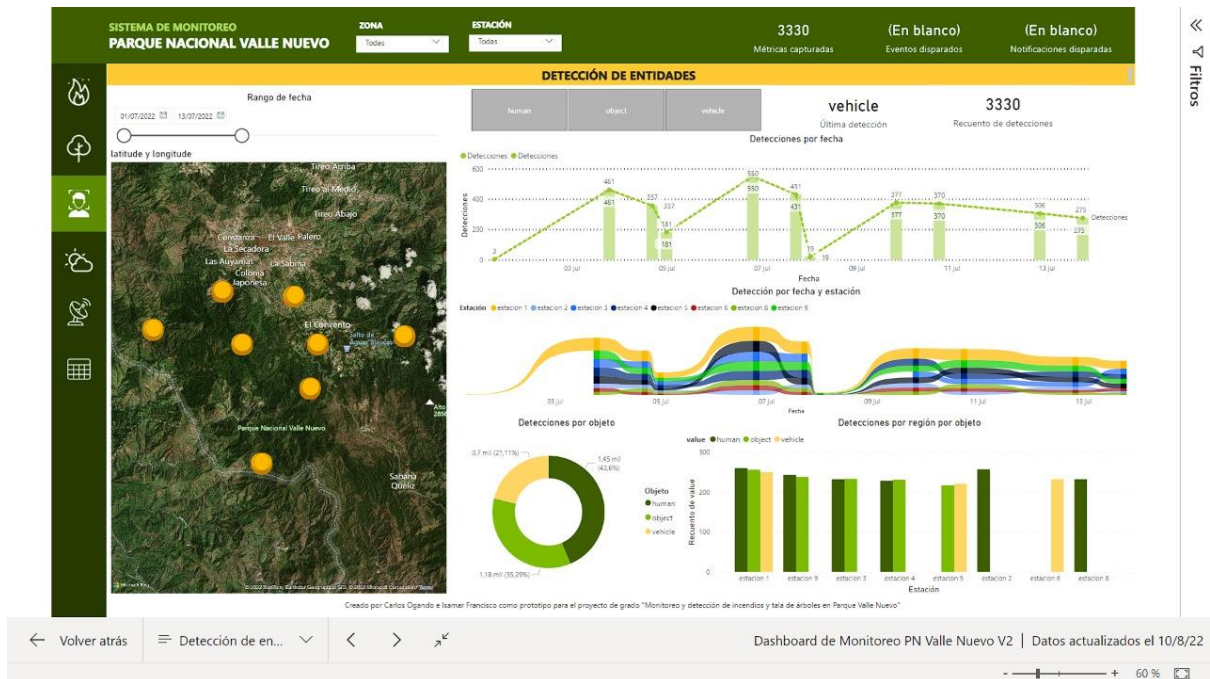


Figura 139. Pantalla No. 3: Detección de objetos (Elaboración propia)

6.15.3.1 Segmentaciones

Existen solo dos segmentaciones en esta pantalla: una por rango de fecha y otra por tipo de detección. Estos tipos de detección son las clases que detecta el componente de IA de las telemetrías.

6.15.3.2 Visuales

Esta pantalla contiene toda la información relacionada a detección de objetos visuales en las imágenes, es decir, que nos permitirá conocer eventos y patrones de la detección de seres humanos, vehículo y otros objetos en las estaciones del Parque Valle Nuevo.

Cuenta con una visual que muestra las detecciones por coordenada. En este mapa se detalla con puntos amarillos los lugares en donde se han hecho detecciones.

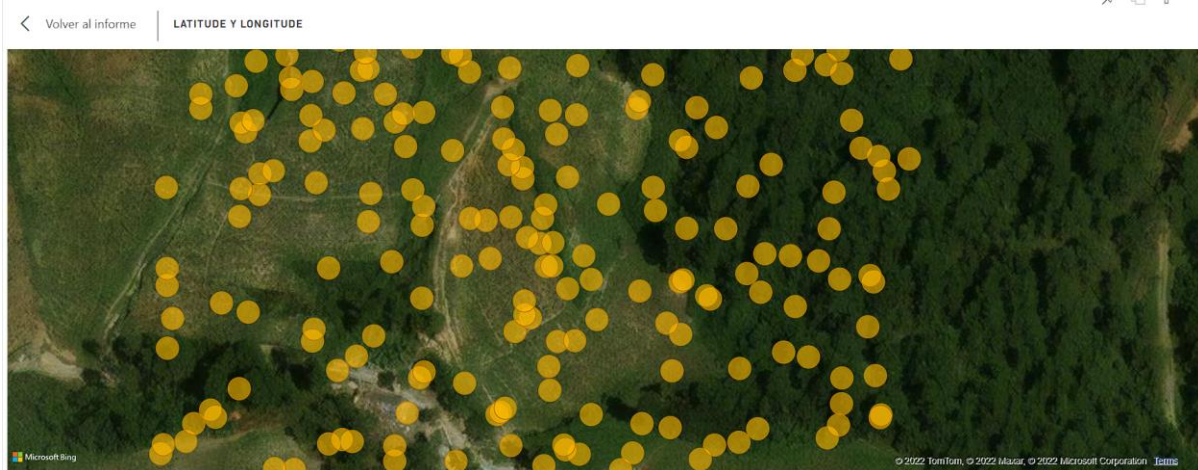


Figura 140. Latitud y longitud (Elaboración propia)

A la derecha se encuentran cuatro gráficas: una de detecciones por fecha a través de un gráfico de barras híbrido con líneas, una de proporción de detecciones a través de un gráfico de anillo, una gráfica de cintas con los rankings de detecciones por estación por fecha y por último una gráfica de barras verticales con detecciones segmentadas por estación.

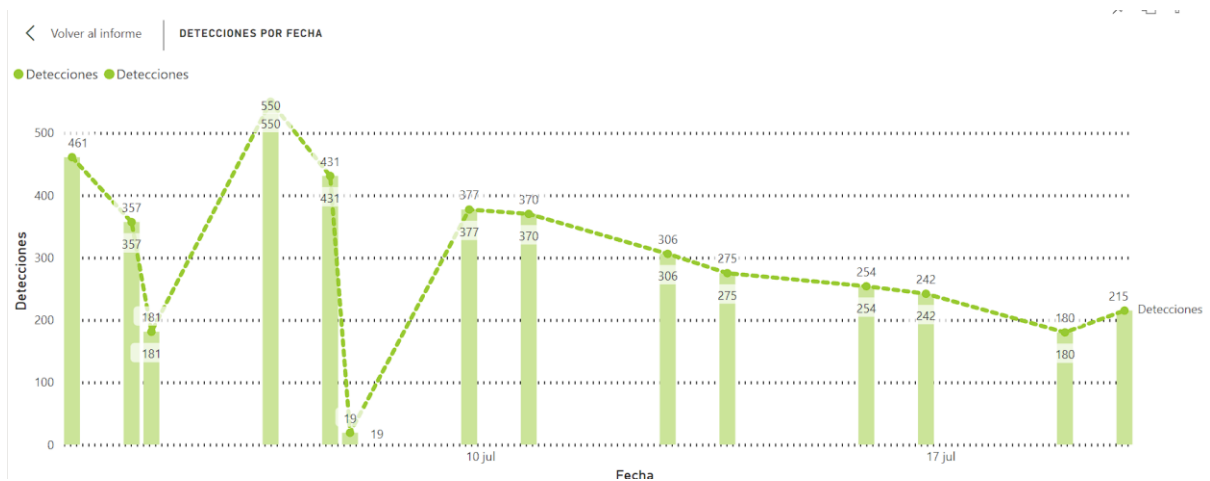


Figura 141. Detección de objetos por fecha. (Elaboración propia)

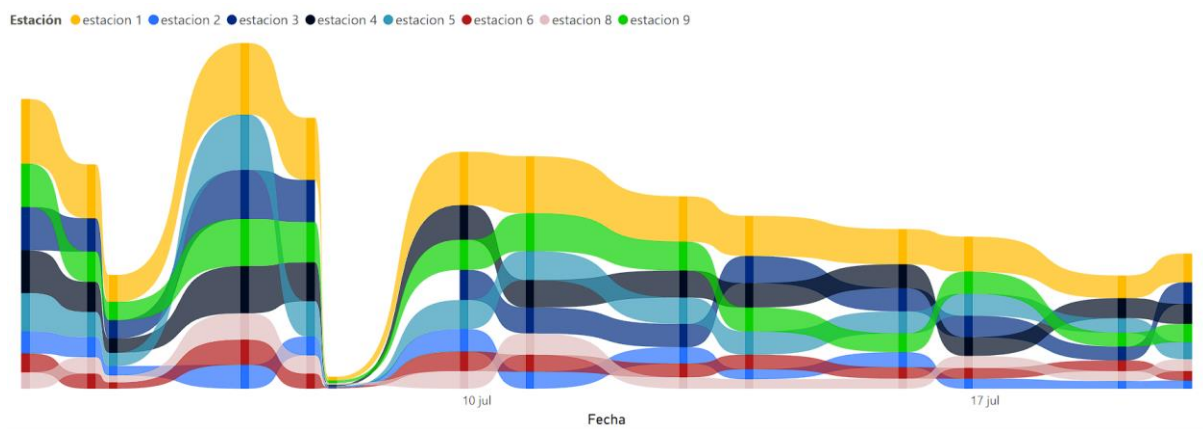


Figura 142. Ranking de detecciones por estación (Elaboración propia).

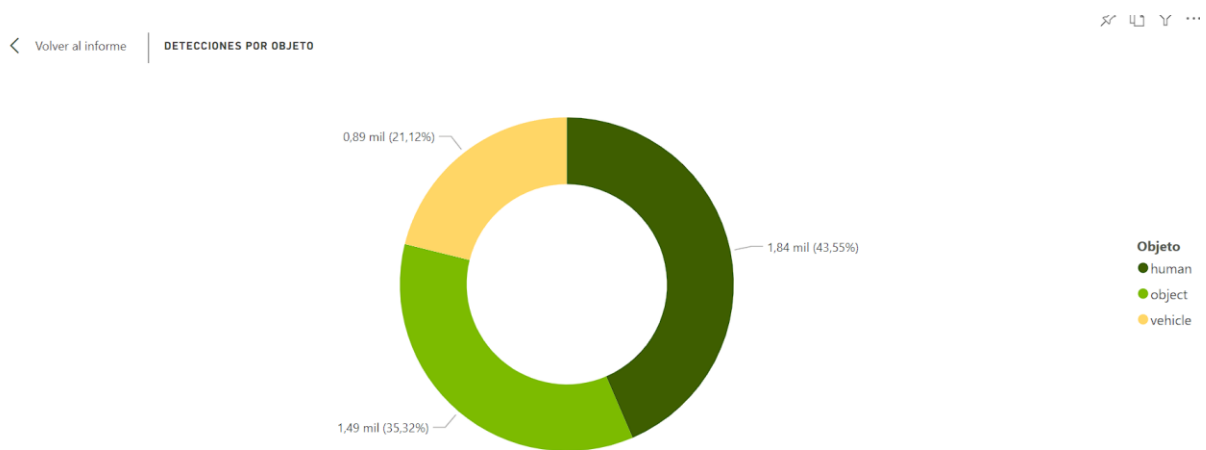


Figura 143. Proporción de detecciones por objeto (Elaboración propia).

La última gráfica de barras mostrada a continuación nos permite hacer segmentaciones globales por región, es decir, que podemos cambiar la segmentación o por estación o por zona, dependiendo la jerarquía que queramos aplicar.

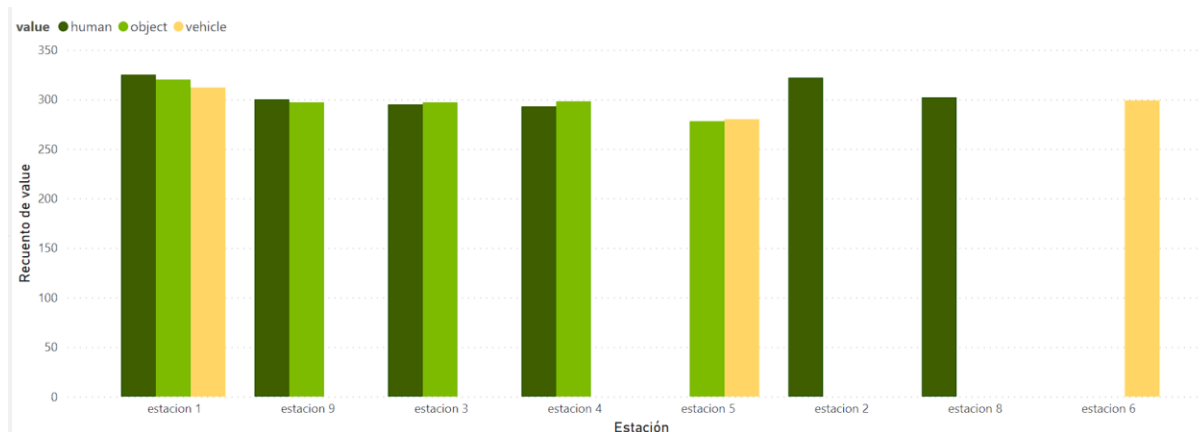


Figura 144. Segmentación global por estación. Proporción de detecciones por estación (Elaboración propia).

6.15.4 Pantalla No. 4: Meteorología

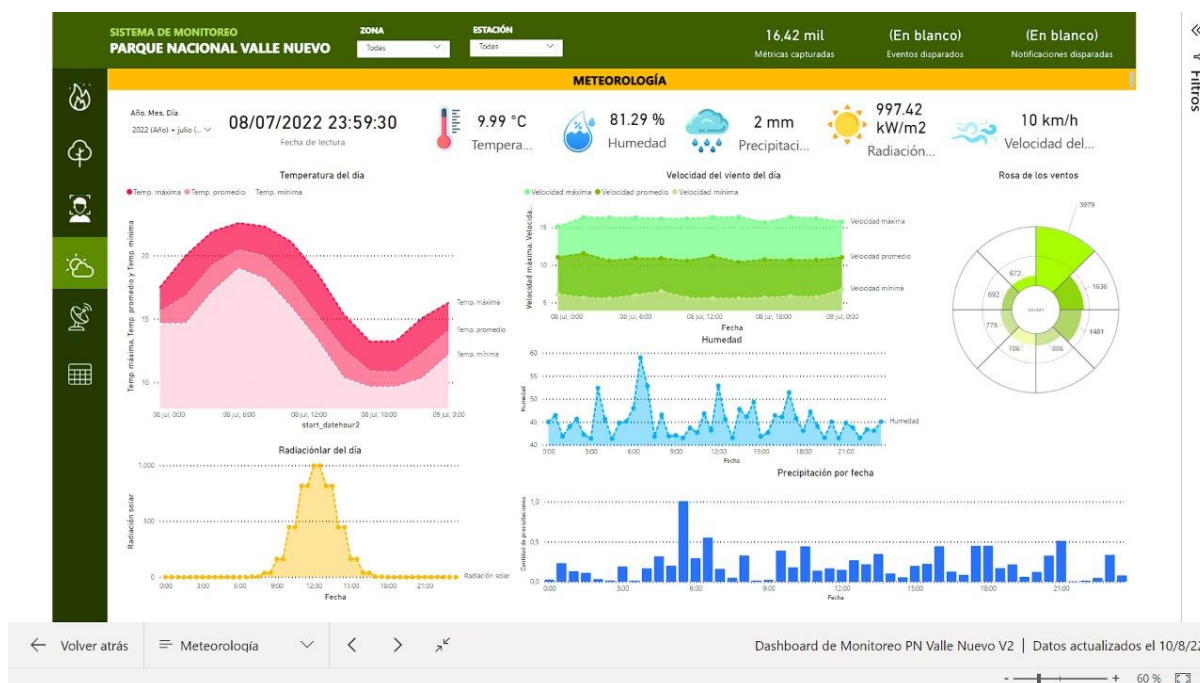


Figura 145. Pantalla No. 4: Datos meteorológicos (Elaboración propia)

6.15.4.1 Segmentaciones

Esta pantalla solo contiene una segmentación por día (no fecha-hora cualquiera)

6.15.4.2 Visuales

La pantalla de meteorología enriquece el análisis del estado del Parque Valle Nuevo ya que nos muestra las mediciones actuales y pasadas de las variables meteorológicas que capturan las estaciones. Estas variables son:

- Temperatura
- Humedad
- Precipitación
- Radiación solar
- Velocidad y dirección del viento

En la parte superior se encuentran todas las métricas de temperatura actuales. Las otras visuales son gráficas de estas mismas métricas, pero por fecha, incluyendo una rosa de los vientos para mostrar la dirección y velocidad típica del viento.

6.15.5 Pantalla No 5: Estaciones

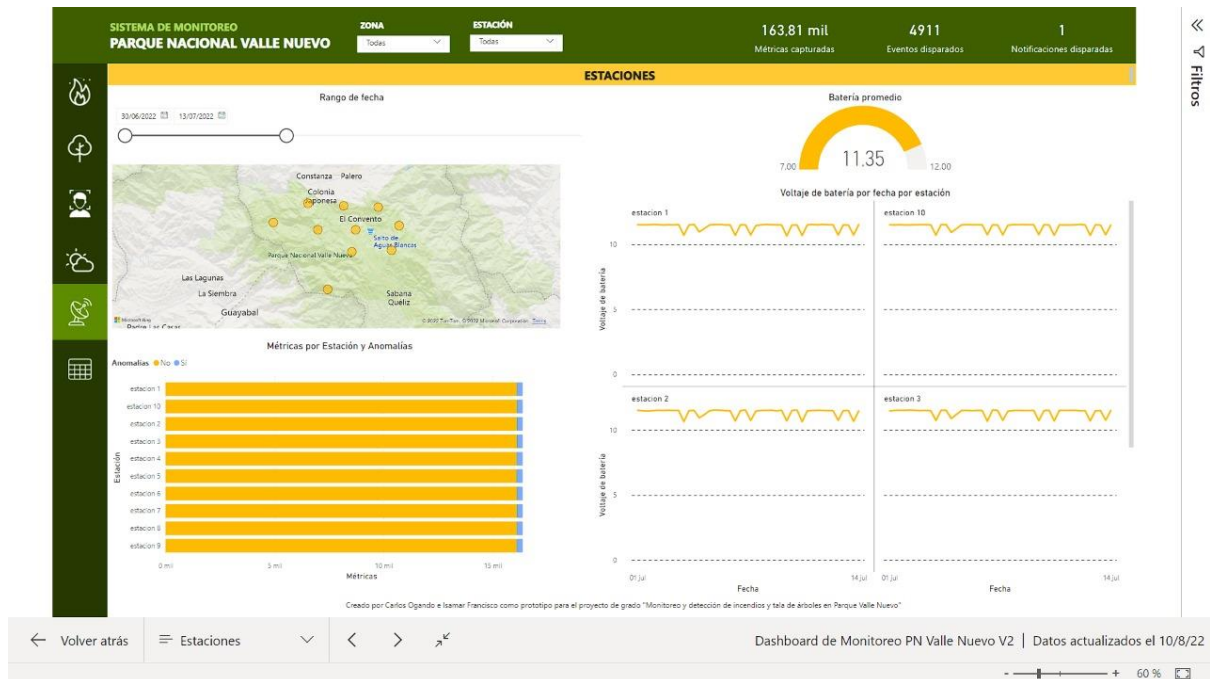


Figura 146. Pantalla No. 5: Estaciones (Elaboración propia)

6.15.5.1 Segmentaciones

Esta pantalla solo contiene una segmentación por fecha.

6.15.5.2 Visuales

La pantalla de estaciones permite comprender el estado de salud de las estaciones y actividad de estas. En esta se muestra el nivel de batería de cada una, conectividad, latencia, métricas capturadas, anomalías capturadas y ubicación, con el objetivo de conocer la salud de la estación en todo momento.

6.15.6 Pantalla No 6. Detalles

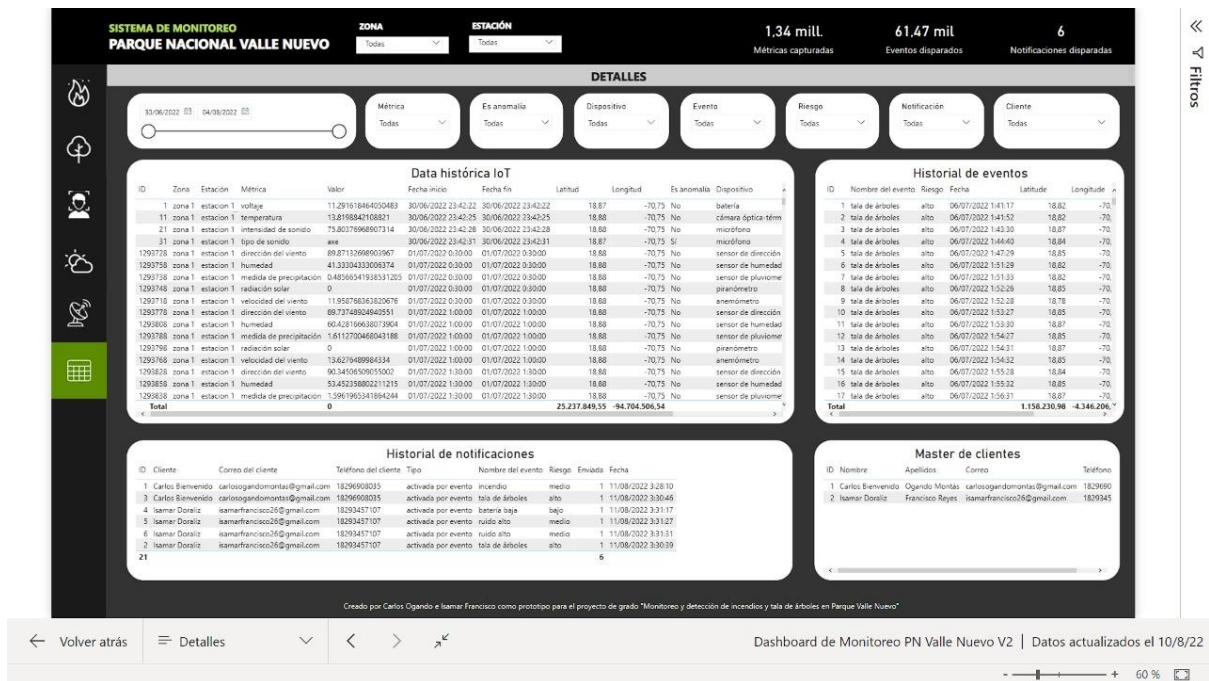


Figura 147. Pantalla No. 6: Detalles históricos (Elaboración propia)

6.15.6.1 Segmentaciones

Esta pantalla no tiene segmentaciones.

6.15.6.2 Visuales

Aquí el usuario podrá ver el detalle de toda la data capturada en la base de datos sin los resúmenes que dan las gráficas de las otras pantallas que a veces pueden ocasionar que no se pueda explorar la data con minuciosidad. Para ello aquí se muestran cuatro tablas:

- Historial de métricas.
- Historial de eventos.
- Historial de notificaciones.
- Maestro de clientes.

6.16 Diagrama jerárquico de programas y/o menú principales

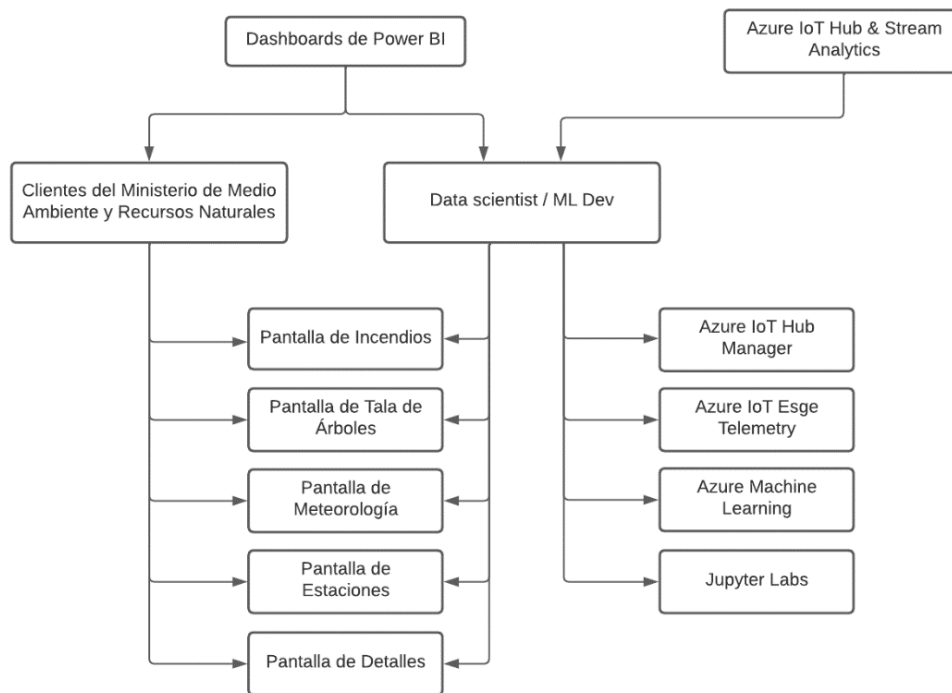


Figura 148. Diagrama jerárquico del sistema. (Elaboración propia)

6.17 Seguridad y Control

6.17.1 Políticas de acceso seguridad

La política de acceso de seguridad para los recursos de la infraestructura Cloud o el mismo Power BI es bajo el protocolo de acceso basado en roles de Microsoft Azure a través de la herramienta IAM (Identity Access Management).

Solo los usuarios cuyo correo esté registrado en el administrador de roles de Azure tendrá acceso a poder usar el recurso que se le configure que puede usar. Actualmente existen 4 roles:

- **Administrador:** este rol tiene acceso a todos los recursos, al Power BI, Azure ML Studio, servidor, storage account, entre otros, y tiene permiso de crear, modificar o eliminar cualquier recurso.

- Colaborador: este rol tiene acceso al recurso que se le agregue, y solo puede modificar el recurso, no puede ni eliminarlo, ni crear recursos nuevos.
- Visitante: este rol tiene acceso al recurso que se le agregue y solo puede ver el recurso, no puede ni eliminarlo ni crear recursos nuevos. Tampoco tiene acceso a ver los costos de los recursos.
- Moderador: este rol tiene acceso al recurso que se le agregue y solo puede ver el recurso, no puede ni eliminarlo ni crear recursos nuevos. Tampoco tiene acceso a ver los costos de los recursos. La diferencia de este rol y el rol de visitante es que este rol puede añadir y eliminar a otros usuarios como visitantes. Esto es con el fin de que los moderadores puedan compartir los tableros de Power BI a personas de interés.

6.17.2 Políticas de Backup sugeridas

Para el copiado de seguridad (backup) rutinario se emplea la herramienta de Microsoft Azure Recovery Services vault a través de su mediador el Backup Center. Tanto la base de datos como el storage account tienen una redundancia cada uno administrada por Recovery Services Vault con una frecuencia de backup de la base de datos, imágenes de storage account y audios del storage account de 7 veces a la semana, es decir, a diario.

6.17.3 Descripción mecanismos de seguridad del sistema

6.17.3.1 Estaciones (Router)

El router de las estaciones contará con una capa de seguridad a través del firewall de este que solo estará configurado para aceptar una sola IP, la IP de la VPN usada para acceder a los recursos del sistema.

6.17.3.2 Base de datos

El servidor que contiene a la base de datos cuenta con un firewall que solo aceptará conexiones desde IP de la VPN usada para acceder a los recursos del sistema. Además de esto, cuenta con una segunda capa de seguridad a través de autenticación SQL bajo un sistema de control de accesos a la base de datos basado en roles, similar al de los recursos de Azure.

6.17.3.3 Power BI

Para acceder al Power BI es necesario que se registre el correo de la persona que quiere acceder al IAM de Azure. De esta forma la persona al entrar con este mismo correo podrá ver el dashboard, de lo contrario no tendrá acceso y se rechazará el intento de conexión.

6.17.3.4 Azure Function

Para el desarrollador poder realizar cambios en la aplicación debe autenticarse y guardar las llaves e información sensible que empleen a través del sistema de Azure Key Vault para administrar tokens y llaves.

6.17.3.5 Otros recursos

Los demás recursos como el recurso de Azure Machine Learning o el storage account solo se pueden acceder si contamos con un connection string creado en la plataforma y que puede regenerarse en cualquier momento o eliminarse, y a la vez contando con el acceso suministrado por IAM.

6.18 Descripción de programa

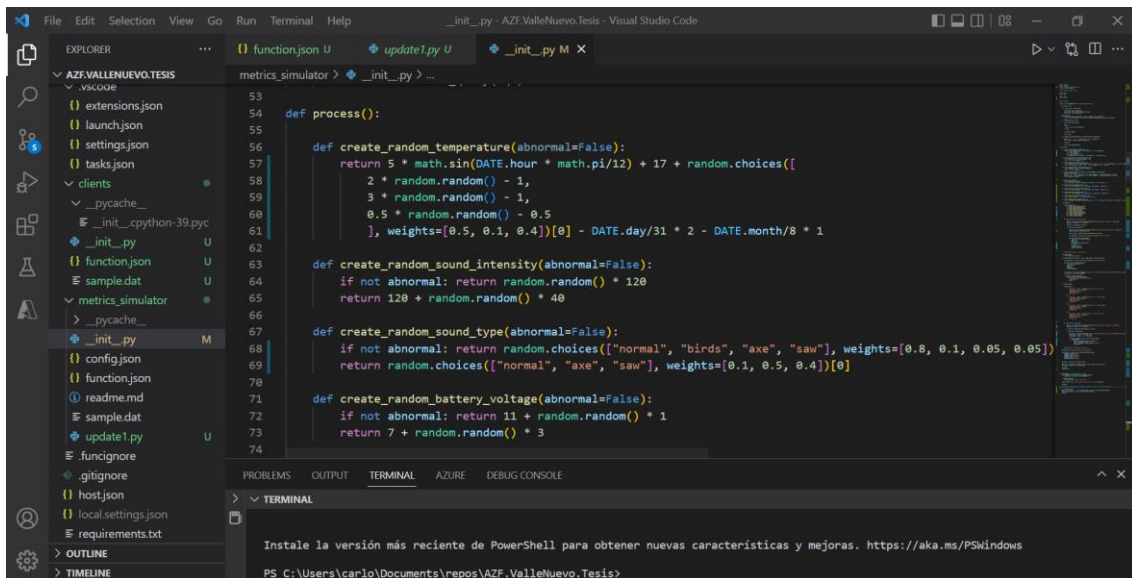
6.18.1 Tecnología de desarrollo a utilizar

Para la realización de este proyecto se usó como lenguaje de programación Python tanto para el desarrollo del sistema de alertas y detección de eventos, así como para el pipeline de entrenamiento de los modelos de IA. Como plataforma de despliegue del aplicativo a Azure Functions de Microsoft Azure.

6.18.2 Módulos de los programas

6.18.2.1 Simulador de métricas

Este módulo nos permite generar métricas falsas para nuestro modelo de datos, ya que no pudimos construir e instalar una estación real en el parque. Este módulo se ejecuta cada minuto y envía una telemetría bajo ciertos patrones definidos al administrador de dispositivos IoT, que continuará todo el flujo de datos hasta llegar a las fuentes destino.



```

def process():

    def create_random_temperature(abnormal=False):
        return 5 * math.sin(DATE.hour * math.pi/12) + 17 + random.choices([
            2 * random.random() - 1,
            3 * random.random() - 1,
            0.5 * random.random() - 0.5
        ], weights=[0.5, 0.1, 0.4])[0] - DATE.day/31 * 2 - DATE.month/8 * 1

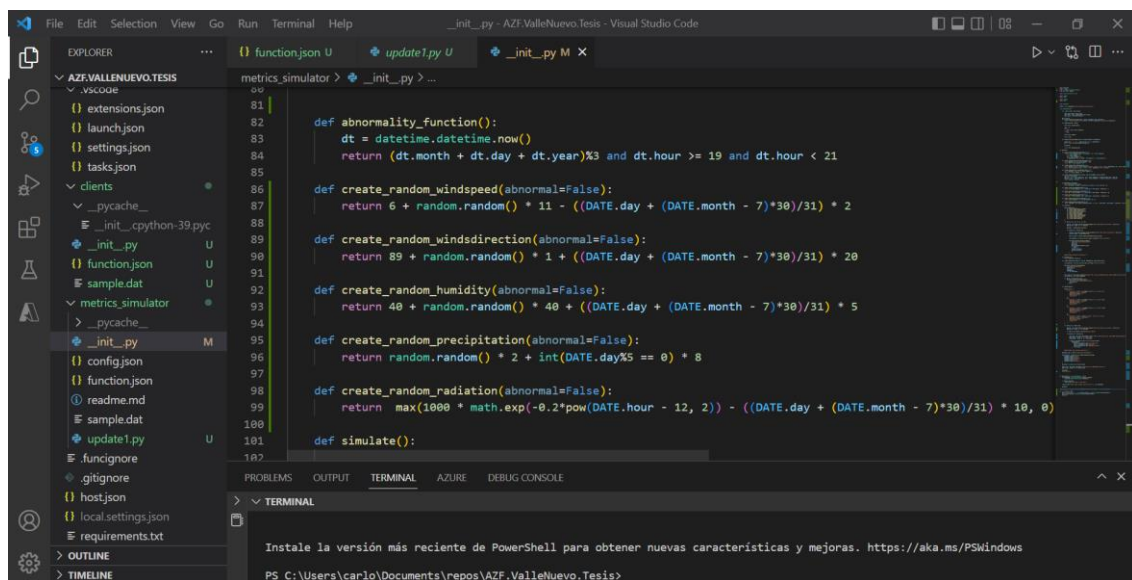
    def create_random_sound_intensity(abnormal=False):
        if not abnormal: return random.random() * 120
        return 120 + random.random() * 40

    def create_random_sound_type(abnormal=False):
        if not abnormal: return random.choices(["normal", "birds", "axe", "saw"], weights=[0.8, 0.1, 0.05, 0.05])
        return random.choices(["normal", "axe", "saw"], weights=[0.1, 0.5, 0.4])[0]

    def create_random_battery_voltage(abnormal=False):
        if not abnormal: return 11 + random.random() * 1
        return 7 + random.random() * 3

```

Figura 149. Código del simulador de métricas (Elaboración propia)



```

def abnormality_function():
    dt = datetime.datetime.now()
    return (dt.month + dt.day + dt.year)%3 and dt.hour >= 19 and dt.hour < 21

def create_random_windspeed(abnormal=False):
    return 6 + random.random() * 11 - ((DATE.day + (DATE.month - 7)*30)/31) * 2

def create_random_winddirection(abnormal=False):
    return 89 + random.random() * 1 + ((DATE.day + (DATE.month - 7)*30)/31) * 20

def create_random_humidity(abnormal=False):
    return 40 + random.random() * 40 + ((DATE.day + (DATE.month - 7)*30)/31) * 5

def create_random_precipitation(abnormal=False):
    return random.random() * 2 + int(DATE.day%5 == 0) * 8

def create_random_radiation(abnormal=False):
    return max(1000 * math.exp(-0.2*pow(DATE.hour - 12, 2)) - ((DATE.day + (DATE.month - 7)*30)/31) * 10, 0)

def simulate():

```

Figura 150. Simulador de métricas (Elaboración propia)

Como vemos en las imágenes anteriores, se desarrollaron nuevas funciones de creación de datos falsos para la batería de la estación, temperatura, intensidad sonora, tipo de sonido, velocidad del viento, dirección del viento, humedad, precipitación y radiación solar. Cada una de ellas se genera bajo cierto patrón, es decir, no son aleatorias completamente. Por ejemplo, la dirección del viento solo va a generar datos entre 89 y 100 grados que van a aumentar a la mitad que los días aumentan. Esto se ha hecho así para que la simulación sea lo más

parecido a los patrones de la vida real. En las imágenes anteriores se puede ver el detalle de los patrones definidos para cada métrica generada.

6.18.2.2 Detector de eventos

Este módulo del Azure Function se ejecuta constantemente a frecuencia de un minuto y se encarga de verificar si en la base de datos existen nuevas métricas que activen eventos. Para ello se han empleado varias reglas explícitas con fines de prueba. En un escenario real esta decisión sería tomada en conjunto con heurísticas proporcionadas por el modelo de aprendizaje automático.

En la siguiente imagen se muestran algunas de las reglas definidas.

```
metric_rules = {
  1: {
    "function": (lambda x: average([float(i) for i in x]) <= 9),
    "aggregation_desc": "average",
    "aggregation_number": 5,
    "event_type_id": 3,
    "risk_id": 1
  },
  2: {
    "function": (lambda x: average([float(i) for i in x]) >= 30),
    "aggregation_desc": "average",
    "aggregation_number": 5,
    "event_type_id": 1,
    "risk_id": 2
  },
  3: {
    "function": (lambda x: average([float(i) for i in x]) >= 130),
    "aggregation_desc": "average",
    "aggregation_number": 3,
    "event_type_id": 4,
    "risk_id": 2
  }
}
```

Figura 151. Reglas definidas en el simulador de métricas. (Elaboración propia)

6.18.2.3 Generador de alertas

Este componente es el que se encarga de notificar al cliente vía correo y SMS cuando se crea un nuevo evento que requiera notificación. El algoritmo base consiste en leer la lista de clientes de la base de datos ubicada en la tabla master.clientes y a con esa tabla recolectada, extraer el correo y número telefónico para enviar los correos.

Los correos y mensajes SMS se envían con la siguiente estructura:

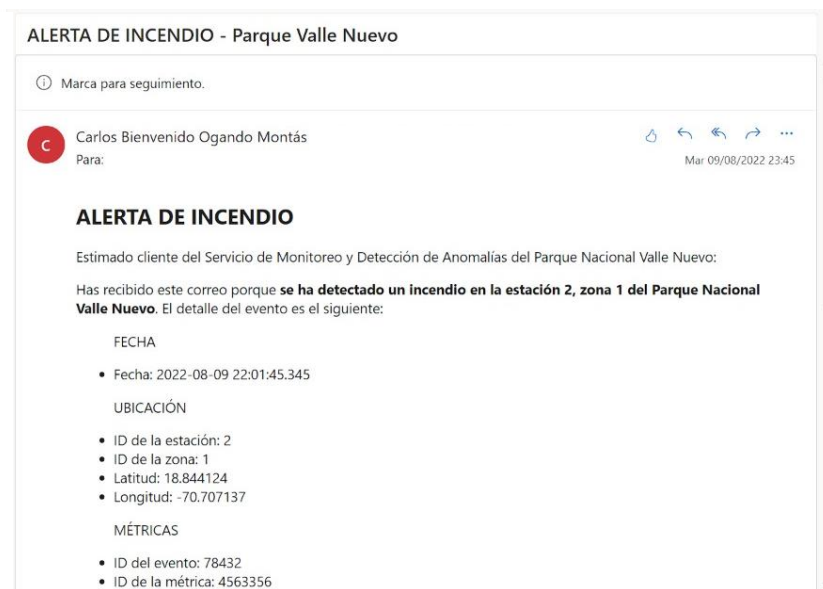


Figura 152. Estructura de envío del correo de aviso. (Elaboración propia)

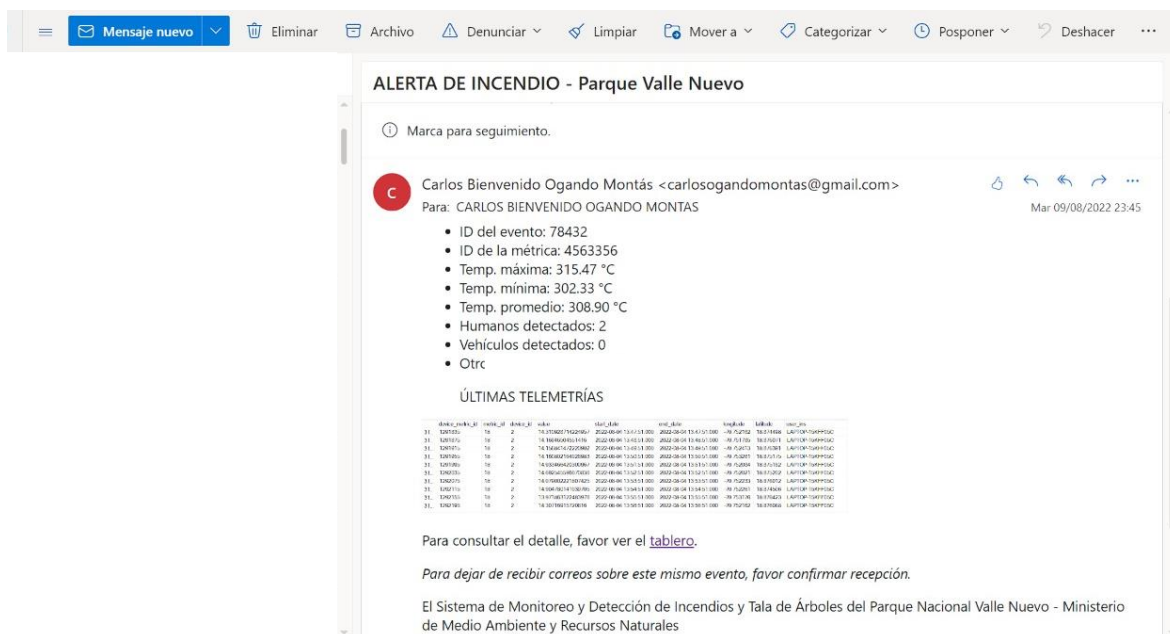


Figura 153. Aviso por correo de incendio forestal (Elaboración propia)

6.19 Cronograma de actividades para el desarrollo del sistema

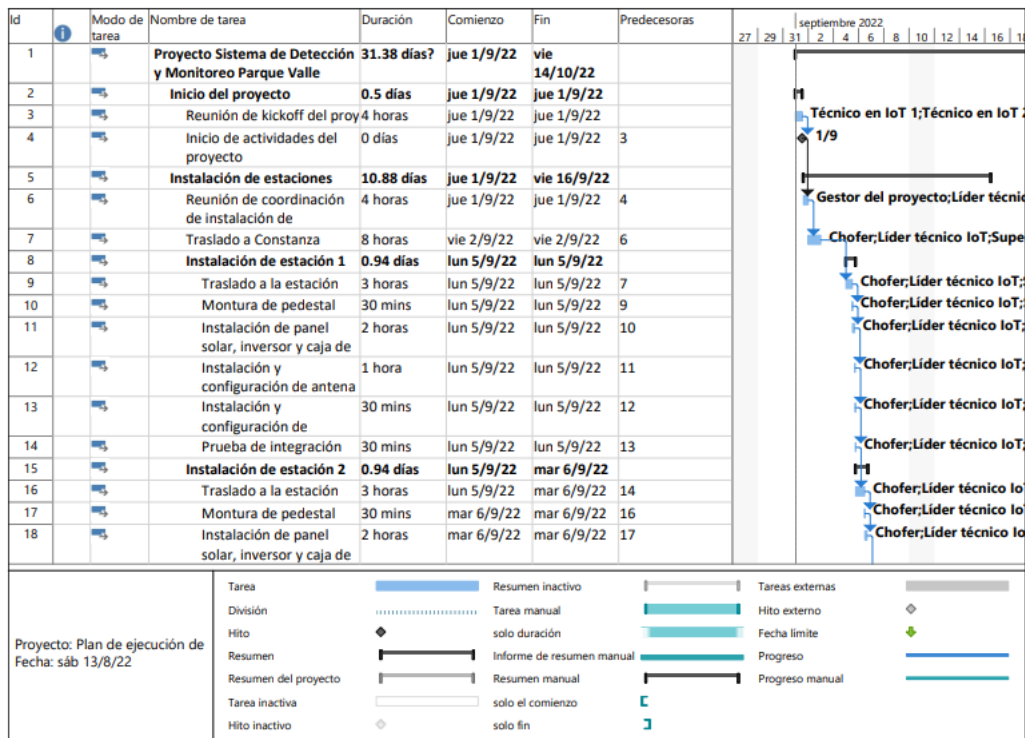


Figura 154. Descripción de tareas iniciales (Elaboración propia)

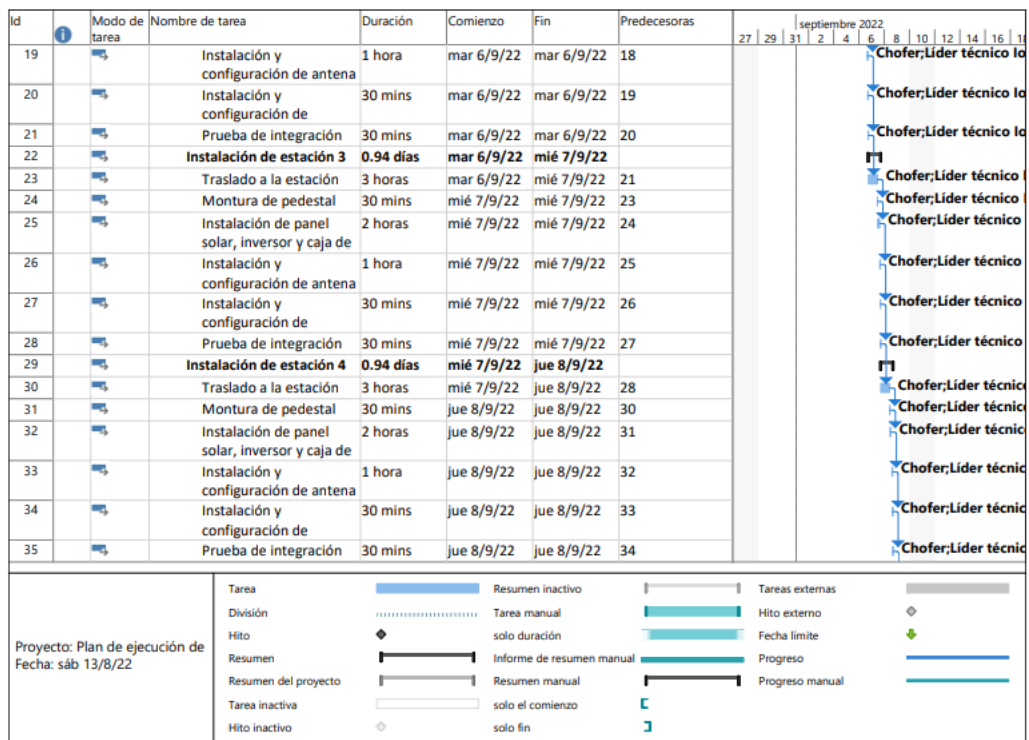


Figura 155. Descripción y detalles de las fases 3 & 4 de la instalación de estaciones (Elaboración propia)

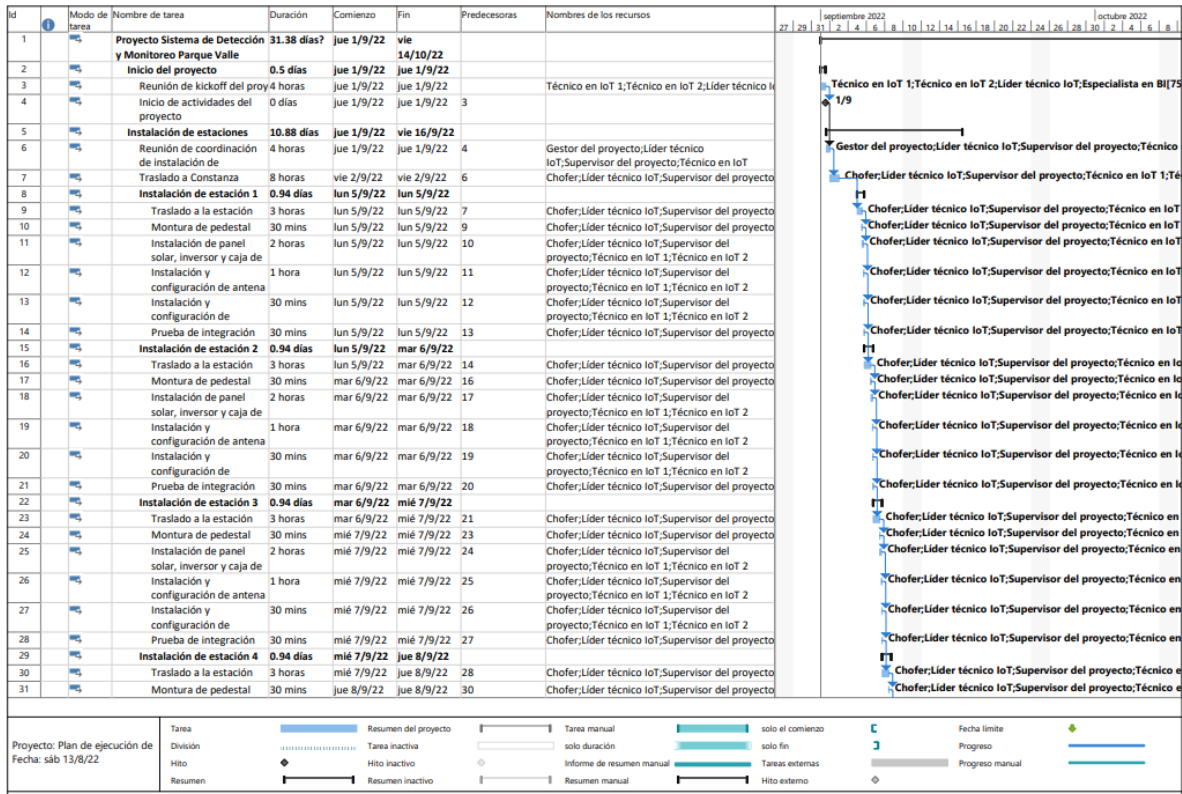


Figura 156. Recursos y detalles de las tareas iniciales (Elaboración propia)

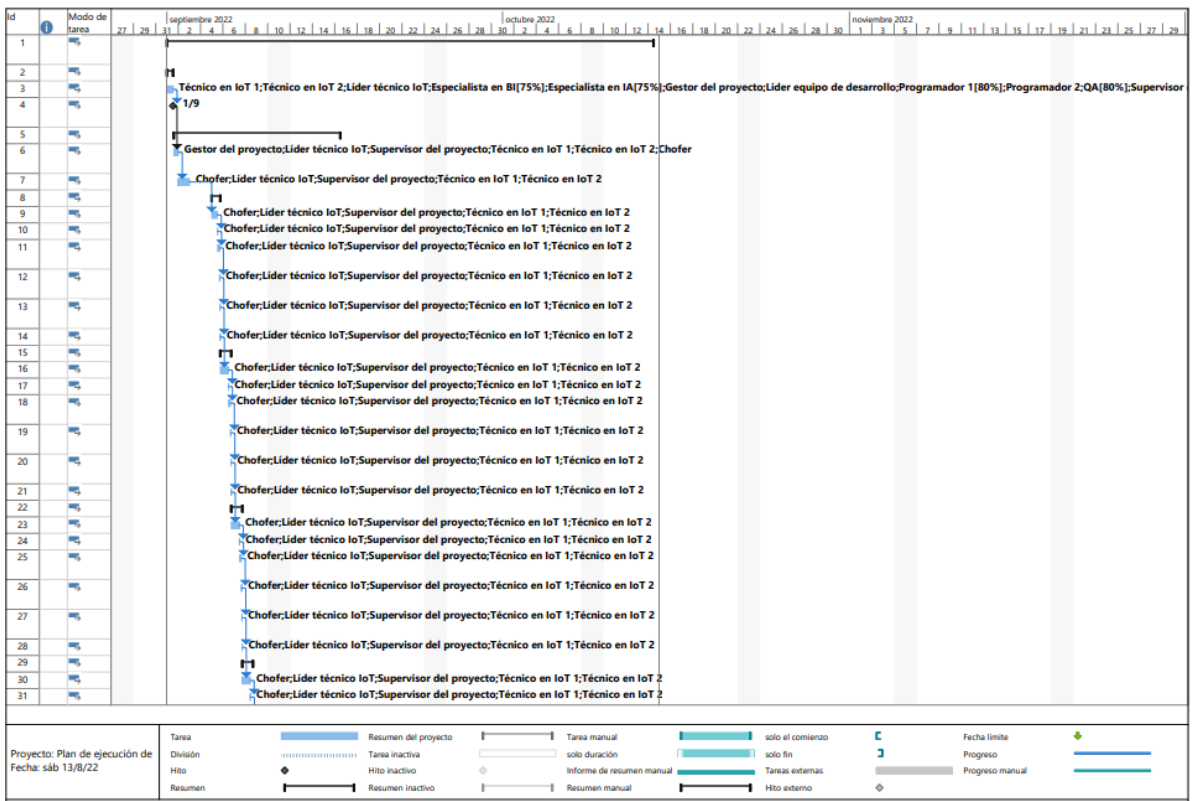


Figura 157. Recursos de las primeras tareas del proyecto (Elaboración propia)

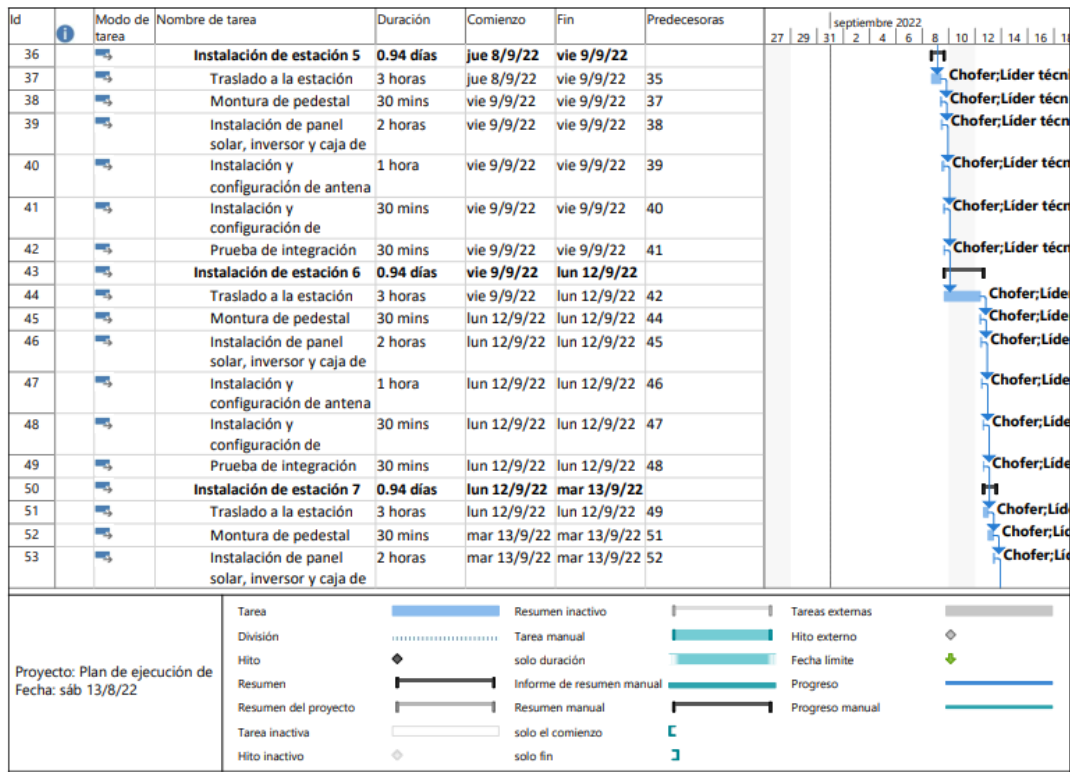


Figura 158. Descripción y detalles de las fases 5, 6 & 7 de la instalación de estaciones (Elaboración propia)

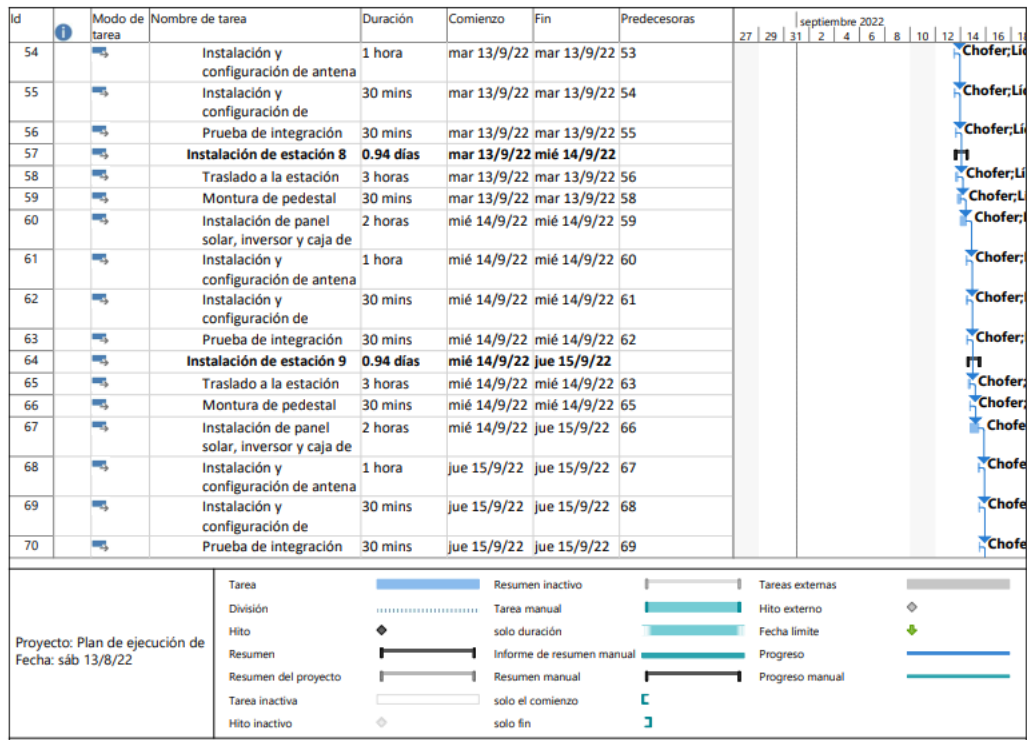


Figura 159. Descripción y detalles de las fases 8 & 9 de la instalación de estaciones (Elaboración propia)

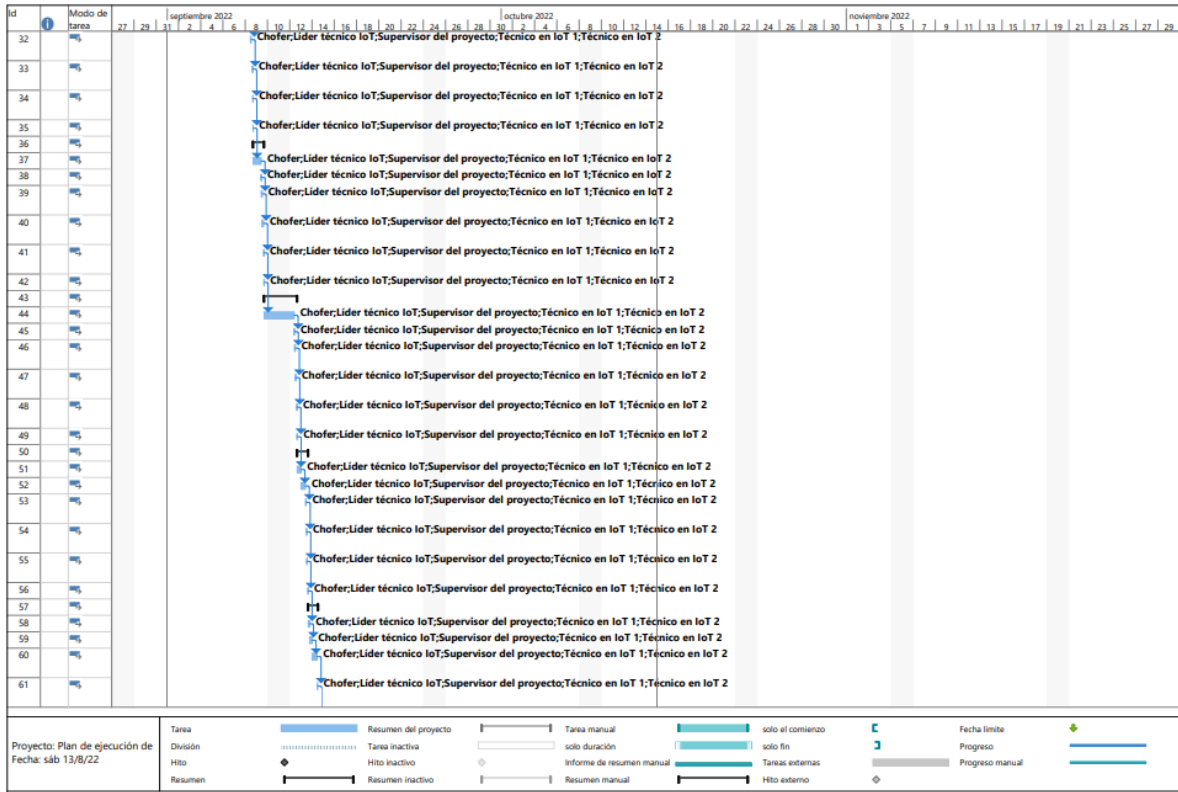


Figura 161. Recursos de las tareas 5 - 8 del proyecto (Elaboración propia)

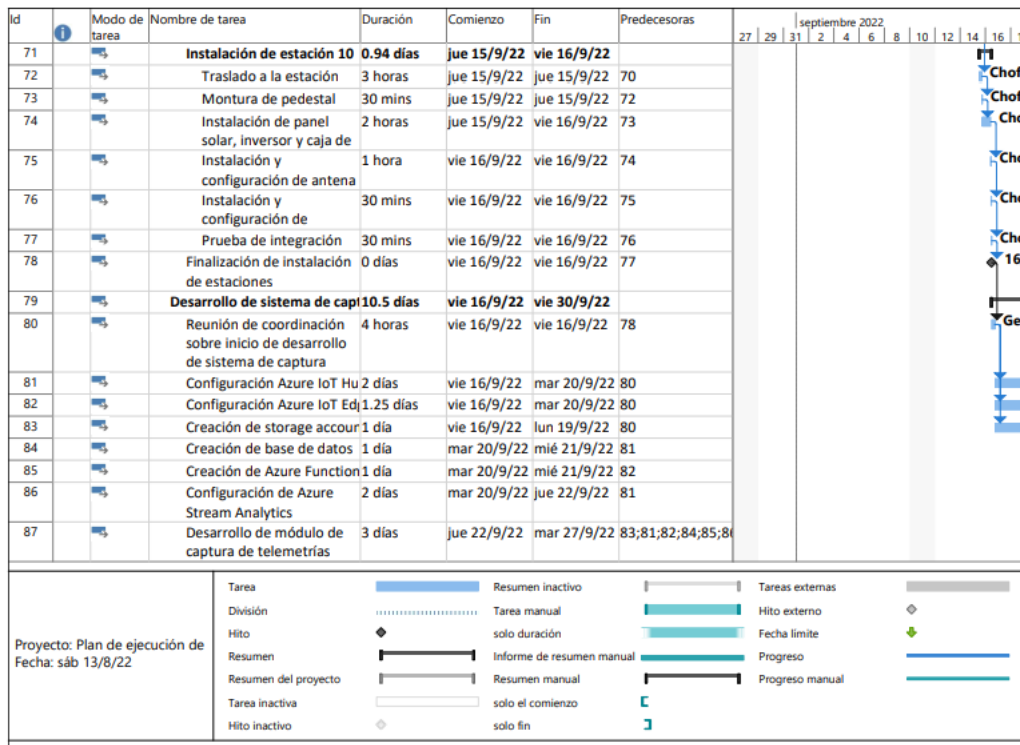


Figura 162. Descripción y detalles de la fase 10 de instalación & el desarrollo del sistema de captura (Elaboración propia)

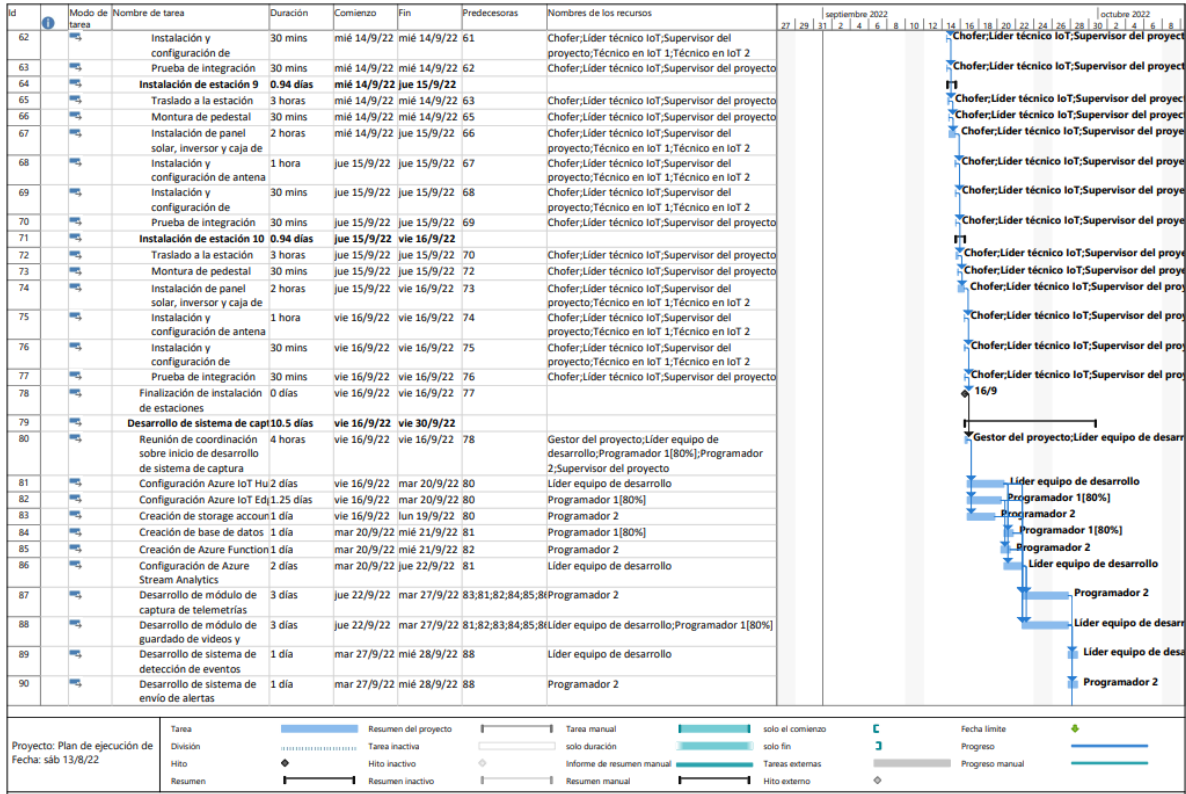


Figura 163. Recursos y detalles de las tareas 9 al sistema de desarrollo del sistema de captura (Elaboración propia)

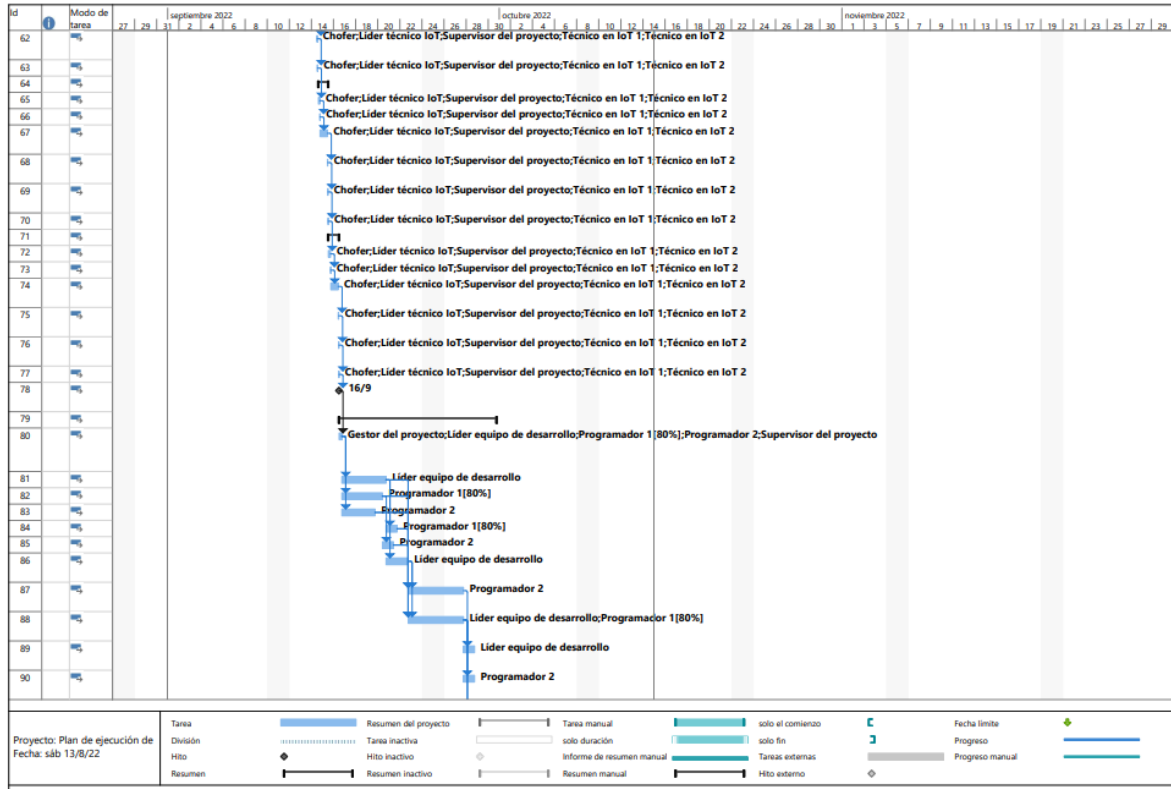


Figura 164. Recursos de las tareas 9 & 10 al sistema de desarrollo del sistema de captura (Elaboración propia)

| Id | Modo de tarea | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | Predecesoras | septiembre 2022 | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|---|------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-----------------|----|----|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | | | | | | | 27 | 29 | 31 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 88 | | Desarrollo de módulo de guardado de videos y | 3 días | jue 22/9/22 | mar 27/9/22 | 81;82;83;84;85;86 | | | | | | | | | | | |
| 89 | | Desarrollo de sistema de detección de eventos | 1 día | mar 27/9/22 | mié 28/9/22 | 88 | | | | | | | | | | | |
| 90 | | Desarrollo de sistema de envío de alertas | 1 día | mar 27/9/22 | mié 28/9/22 | 88 | | | | | | | | | | | |
| 91 | | Pruebas y validación | 2 días | mar 27/9/22 | jue 29/9/22 | 88;87 | | | | | | | | | | | |
| 92 | | Pase a producción | 1 día | jue 29/9/22 | vie 30/9/22 | 91 | | | | | | | | | | | |
| 93 | | Captura de data en base de datos y storage account completado | 0 días | vie 30/9/22 | vie 30/9/22 | 92 | | | | | | | | | | | |
| 94 | | Desarrollo de modelos de IA y dashboard | 8.5 días? | vie 30/9/22 | jue 13/10/22 | | | | | | | | | | | | |
| 95 | | Reunión de coordinación sobre última etapa | 4 horas | vie 30/9/22 | lun 3/10/22 | 93 | | | | | | | | | | | |
| 96 | | Creación de modelo de reconocimiento de | 1 día | lun 3/10/22 | mar 4/10/22 | 95 | | | | | | | | | | | |
| 97 | | Creación de modelo de reconocimiento de audio | 1 día | mar 4/10/22 | mié 5/10/22 | 96 | | | | | | | | | | | |
| 98 | | Entrenamiento de los mod | 1 día | mié 5/10/22 | jue 6/10/22 | 97 | | | | | | | | | | | |
| 99 | | Despliegue de data | 1 día | jue 6/10/22 | vie 7/10/22 | 98 | | | | | | | | | | | |
| 100 | | Validación de modelos | 1 día | vie 7/10/22 | lun 10/10/22 | 99 | | | | | | | | | | | |
| 101 | | Pase a producción | 1 día | lun 10/10/22 | mar 11/10/22 | 100 | | | | | | | | | | | |
| 102 | | Creación de conexión en dashboard | 1 día? | lun 3/10/22 | mar 4/10/22 | 95 | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | |
|--|----------------------|--|---------------------------|--|-----------------|--|
| Proyecto: Plan de ejecución de Fecha: sáb 13/8/22 | Tarea | | Resumen inactivo | | Tareas externas | |
| | División | | Tarea manual | | Hito externo | |
| | Hito | | solo duración | | Fecha limite | |
| | Resumen | | Informe de resumen manual | | Progreso | |
| | Resumen del proyecto | | Resumen manual | | Progreso manual | |
| | Tarea inactiva | | solo el comienzo | | | |
| | Hito inactivo | | solo fin | | | |

Figura 165. Descripción y detalles de la fase de desarrollo de modelos de IA y dashboard de Power BI (Elaboración propia)

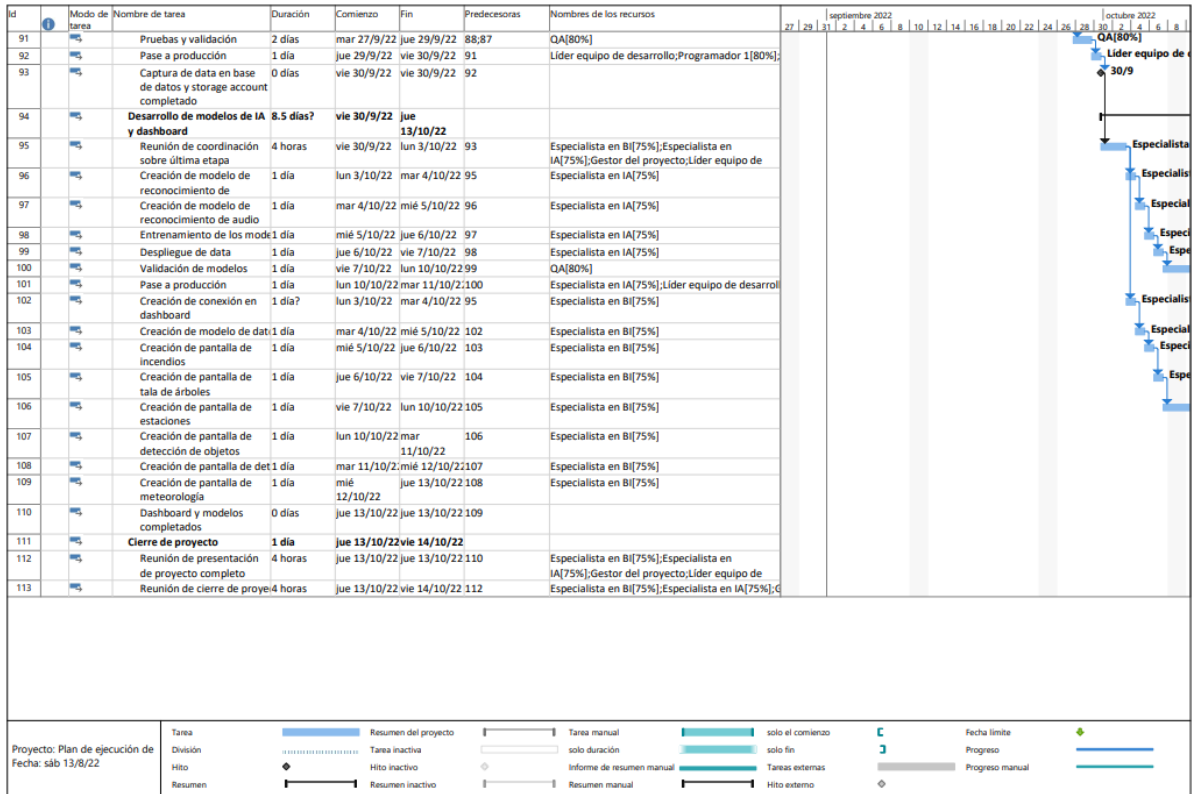


Figura 166. Recursos y detalles de las fases de desarrollo de modelos de IA y dashboard, y el cierre del proyecto (Elaboración propia)

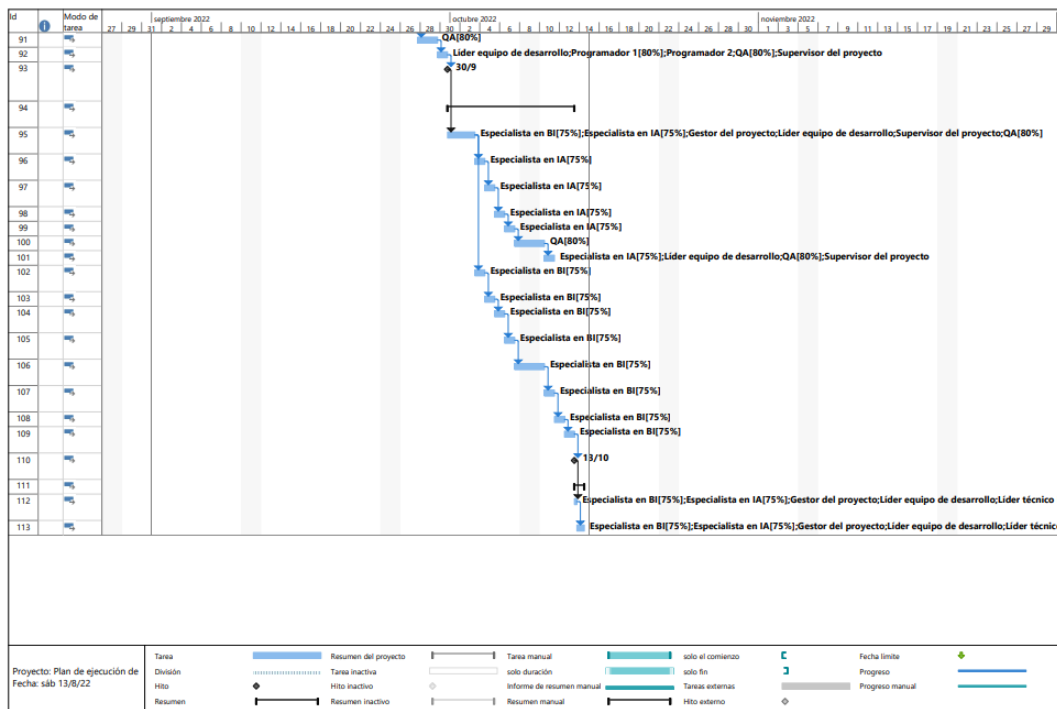


Figura 167. Recursos de las fases de desarrollo de modelos de IA y dashboard, y el cierre del proyecto (Elaboración propia)

Conclusiones

En este proyecto de investigación se ha logrado confirmar la importancia de la gran necesidad que tienen las áreas protegidas de la República Dominicana. Esta necesidad no es más que contar con un sistema eficiente para la detección temprana de incendios forestales, tala de árboles y conuquismo en estas áreas sensibles. De igual forma, se ha diseñado una solución tecnológica para resolver esta problemática y se ha construido un prototipo funcional que confirma el funcionamiento de la solución diseñada y a la vez nos asegura que es posible llevar a la realidad la misma.

Nuestra premisa inicial para este proyecto fue tratar de responder la pregunta: ¿puede un sistema asistido por inteligencia artificial y tecnología termográfica optimizar los procesos de monitoreo, protección y detección de riesgos en áreas protegidas y parques nacionales? Para responder a la misma hemos explorado la situación actual de los procesos para detección de incendios y tala de árboles del país que lleva el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Esto se realizó mediante entrevistas con profesionales y expertos de la materia, y también investigando en diversas fuentes bibliográficas.

Para delimitar el alcance de esta investigación optamos por escoger una sola área protegida del país: el Parque Valle Nuevo. Esta selección se realizó después de un análisis exhaustivo de las características mostradas en el portal web del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de cada parque y área protegida del país. Seleccionamos al Parque Valle Nuevo porque es uno de los que cuenta con una mayor superficie, es uno de los más importantes del territorio nacional en cuanto a biodiversidad y mantenimiento de la escorrentía de los ríos, sin embargo, la razón principal es que es una de las áreas protegidas más afectadas por los incendios forestales en los últimos años.

En nuestra investigación pudimos identificar que los incendios forestales en el país crecen de manera lineal a medida que pasan los años, y por tanto cada año es más frecuente la ocurrencia de incendios. Esta misma situación ocurre con la tala de árboles.

Se ha reconocido que para la detección de incendios a nivel nacional no existe actualmente una solución tecnológica que detecte de manera automática y en tiempo real los incendios forestales. Actualmente el método que emplean las autoridades gubernamentales (no en todos los parques) es el uso de torres de incendios con guardaparques. Este proceso corre bajo la estrategia Nacional de Manejo de Fuegos del Ministerio de Medio Ambiente.

En el caso de la tala de árboles y el conuquismo identificamos que no existe actualmente ninguna solución para la detección automática de los mismos. Después de realizar múltiples entrevistas con los expertos pudimos confirmar la existencia de la gran necesidad por parte de las autoridades dominicanas encargadas del manejo de incendios forestales de un sistema automático con tecnología de vanguardia que permita facilitar estos procesos que hoy en día se llevan a cabo de forma muy ineficiente en nuestro país.

En nuestra investigación pudimos también conocer el proceso actual de monitoreo. Para ello, realizamos un viaje a la estación de incendios forestales de Pajón Blanco, del Parque Nacional Valle Nuevo. Allí, el guardaparques nos explicó el proceso que realiza. Al subir a aquella torre ubicada a más de 1,700 metros de altura sobre el nivel del mar y conversar con el guardaparques pudimos conocer la gran deficiencia a nivel tecnológico de la estación, pues el guardaparques no contaba con ninguna tecnología para el monitoreo. Ni siquiera contaba con unos binoculares para monitorear los incendios y nos expresó que simplemente usaba sus ojos, algo sorprendente, ya que era un poco mayor de edad y el hecho de que usara solo sus ojos sin siquiera lentes es un indicador de una posible deficiencia en la detección oportuna. El mismo mostró un gran interés y alegría cuando le explicamos el proyecto y generó una gran expectativa de que se realizara, ya que nos comentó que es una necesidad grande para él apoyarse de la tecnología.

Este análisis de la información investigada y confirmada por los expertos y el guardaparques del Parque Nacional Valle Nuevo nos aseguró la importancia de contar con una solución tecnológica con apoyo de la inteligencia artificial y la tecnología IoT enriquecida con la tecnología termográfica para la detección y monitoreo de estos eventos.

Para construir el diseño de solución de lo planteado en el objetivo se ha diseñado una estación de monitoreo que cuenta con cámaras termográficas, micrófonos, una pequeña estación meteorológica, paneles solares, antena y microcomputadoras. Estas estaciones estarían conectadas todo el tiempo a internet satelital.

En esta investigación se identificaron los lugares ideales para colocar las estaciones basado en información suministrada por el guardaparques por su experiencia y por un estudio de relieve y topografía del terreno para garantizar la mayor visibilidad con la menor cantidad de estaciones. En todo este análisis se tomó en cuenta el rango de visibilidad de la cámara termográfica cotizada en el presupuesto (50 km^2). A partir de esto identificamos que serían necesarias solamente diez estaciones.

Para la captura, almacenamiento, procesamiento y consumo de la información logramos construir una arquitectura completa y flexible para un proyecto de este alcance basada en el concepto de computación On Edge. Este tipo de computación une los beneficios de la computación en la nube y la computación On Premise. Identificamos que con este enfoque se reduce la latencia del sistema y se garantiza la estabilidad del tiempo de envío de telemetrías capturadas por los sensores en cada estación.

Para el desarrollo se seleccionaron tecnologías como Microsoft Azure y Raspberry Pi por ser éstas las que han puesto la barra del estado del arte del IoT, además de que ya contábamos con la experiencia usando este ambiente Cloud.

Como enlace a la etapa de procesamiento y almacenamiento de información se ha empleado Azure IoT Hub, quien conecta con todos los demás recursos de computación en la nube, incluyendo almacenamiento de las informaciones tabulares en una base de datos y los videos y audios en un blob storage. Este recurso de Azure IoT Hub almacena telemetrías con una frecuencia de un minuto que es configurable a las necesidades de quien lo emplee.

Finalmente, con esta data almacenada se ha diseñado un tablero de Power BI que consume la misma y un sistema de alertas automáticas. El tablero de Power BI cuenta con seis pantallas para mostrar la información capturada en tiempo real a través de diferentes visuales y segmentaciones dinámicas. El sistema de alertas envía notificaciones vía correo y SMS a las autoridades indicadas en la base de datos de acuerdo con las predicciones de la inteligencia artificial entrenada para detección de anomalías.

Para esta detección de anomalías diseñamos una red neuronal convolucional, y luego la entrenamos por 60 iteraciones con un dataset de 300 audios de hachas, sierras y sierras eléctricas de entre 5 y 10 segundos. Estos audios fueron minados, etiquetados manualmente, y luego transformados a imagen para el procesamiento de la red.

La solución tecnológica se probó en un entorno simulado demostrando la exactitud de la red neuronal convolucional en la detección de actividad ilegal con un 97% de precisión en la matriz en Azure Machine Learning, con una matriz de confusión sin falsos positivos o negativos en dos de los sonidos citados.

Con este diseño de solución entonces logramos construir un prototipo integrado con el proceso end-to-end (simulando las estaciones con un IoT Edge local usando Python). Este prototipo pudo demostrar que en efecto es posible contar con un sistema que pueda capturar y

almacenar data en tiempo real, enviar alertas si detecta anomalías y mostrar esta información al usuario en un formato sumamente entendible y agradable.

Todos los objetivos del presente se cumplieron satisfactoriamente y la hipótesis se confirmó. Entre nuestros objetivos de mejora podemos añadir el reducir el porcentaje de puntos ciegos en nuestro sistema y expandir el número de clases que detecta la inteligencia artificial en los sonidos.

No obstante, la tecnología es sólo una herramienta en manos del ser humano y la acción del hombre representa casi la totalidad de los daños y causas de las problemáticas que se han tratado en el presente, es vital que se integre esta solución en conjunto con campañas de concientización y se aplique todo el peso de la ley a los actores detrás de estos siniestros. La cultura del respeto a los límites y a la naturaleza debe ser un trabajo constante de siembra en nuestras generaciones y las futuras. Con una gestión más activa, se puede lograr minimizar la ocurrencia y el impacto de los incendios forestales en el ambiente, con la detección temprana de posibles focos de fuegos antes de su propagación.

Este proyecto, sin duda alguna abre las posibilidades adicionales para desarrollarse como un Sistema de Alerta Temprana (SAT), al tener dentro de sus actividades de alcance, el monitoreo de áreas críticas de generación de conatos y focos de incendios forestales, generalmente y como factor común estos puntos focales tienden a ser los mismos en cada año.

Nuestra dependencia desapercibida en el medioambiente y las áreas protegidas, principalmente en términos de subsistencia y producción ha sido confirmada a lo largo de cada una de las entrevistas llevadas a cabo en este trabajo de investigación. Este proyecto busca resaltar encarecidamente la importancia que tiene el trato y el cuidado a nuestro entorno, entendiendo que somos parte de un todo, el bienestar conjunto nos beneficia y protegerlo es protegernos a nosotros mismos.

Lista de Referencias

- ABT. (2002). *Diagnóstico ambiental y análisis económico fiscal*.
- Antezano Gorvenia, J. J., & Sánchez Rojas, L. E. (2019). *Diseño y Simulación de un Prototipo para la Localización de Incendios Forestales utilizando Tecnologías Inalámbricas basado en IoT* [Universidad Tecnológica de Perú].
https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2701/Josue%20Antezano_Luis%20Sanchez_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ascendent Technology Group. (2017). *Long Range HD Cooled Thermal Infrared Night Vision PTZ Camera: VPR-2050-AF-FF-128-1400-CTZ-HD-GS Camera*.
<https://www.ascendentgroup.com/store/configure/Long Range HD Cooled Thermal Infrared Night Vision PTZ Camera: VPR-2050-AF-FF-128-1400-CTZ-HD-GS/380>
- Borsdorf, A., & Moreira Muñoz, A. (2014, February 7). *El modelo de Reservas de la Biosfera: conceptos, características e importancia*. Shorturl.at/KqFNP.
- Centro de Operaciones de Emergencia de la República Dominicana (COE). (2015). *Plan de contingencia para apoyar la intervención en Incendios Forestales*.
<https://www.coe.gob.do/phocadownload/PLANES/Plan%20forestales%2010AG15%201.pdf>
- Conduground. (2022). *Pararrayos FRANKLIN*. <https://conduground.com/productos-para-sistemas-de-tierra/sistema-de-pararrayos/pararrayos-franklin/>
- Coplin, G. (2021, May 28). *Los incendios forestales siguen siendo un mal en RD*.
<https://Listindiario.Com/La-Republica/2021/05/28/672427/Los-Incendios-Forestales-Siguen-Siendo-Un-Mal-En-Rd>.
- Corday, A., & Méndez, L. (2022). *¿REPÚBLICA DOMINICANA SE QUEMA! ¿Quién tiene la CULPA de los Incendios Forestales?* Kiskeya Life.
https://www.youtube.com/watch?v=p_53z0tK5No
- Corporation, H. (n.d.). *Sensor de Lluvia Hydreon RG-11*. 2022.
<https://tienda.lunaticastro.com/producto/sensor-de-lluvia-hydreon-rg-11/>

- de LA ROSA, J. M. (2022). Incendio afectó 59 km² en la Sierra de Bahoruco. *El Nacional*, 1. <https://eldia.com.do/incendio-afecto-59-km2-en-la-sierra-de-bahoruco/>
- del Cid, M. (2017). “Línea Verde” un canal de denuncias por el medioambiente. *Diario Libre*. <https://www.diariolibre.com/actualidad/medioambiente/linea-verde-un-canal-de-denuncias-por-el-medioambiente-ME7512835>
- Diario Libre. (2011). Medio Ambiente inaugura centro de detección de incendios forestales. *Diario Libre*. <https://www.diariolibre.com/actualidad/medio-ambiente-inaugura-centro-de-deteccion-de-incendios-forestales-GNDL279294>
- Geilfus, F. (2002). Marco de análisis y plan estratégico para la gestión ambiental y de recursos naturales. In F. Geilfus (Ed.), *Proyecto de Reforma de las Políticas Nacionales de Medio Ambiente* (p. 180). BM / PNUD.
- Gibbens, S. (2021). *La estación meteorológica más alta de los Andes ayudará a los científicos a encontrar respuestas climáticas*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2021/05/estacion-meteorologica-mas-alta-de-los-andes-ayudara-a-encontrar-respuestas-climaticas>
- Hartshorn, G., Antonini, G., DuBois, R., Harcharik, D., Heckadon, S., Newton, H., Quesada, C., Shores, J., & Staples, G. (1981). *The Dominican Republic: country environmental profile. A field study*. JRB Associates. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DO2005102897>
- Ibáñez, J. J. (2017). *El Fuego y su Ineludible Importancia en los Ecosistemas (Incendios Forestales)*. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2017/06/13/148320>
- Instruments, P. (n.d.). *Sensor de dirección del viento PCE-FST-200-202*. <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/sensor-direccion-viento-pce-fst-200-202.htm#:~:text=El sensor de dirección de, a numerosos instrumentos de medición>.
- Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales*. (2000). <https://Ambiente.Gob.Do/Wp-Content/Uploads/2016/09/Ley-No-64-00.Pdf>.
- Ley No 202-04. Sectorial de Áreas Protegidas*. (2004). https://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2018/12/reptom_areasprotegidas_spaorof.pdf

- López Flores, R. (2018). *SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS EN ZONAS FORESTALES A TRAVÉS DE REDES SENSORIALES USANDO HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO].
https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28015/1/Tesis_t1402ec.pdf
- Menéndez, J. C. (2022). *¿Qué es Power BI?*
<https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/que-es-power-bi.html>
- Microsoft. (2021). *Azure Key Vault basic concepts*. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/key-vault/general/basic-concepts>
- Microsoft. (2022a). *App Service overview*. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/app-service/overview>
- Microsoft. (2022b). *Application Insights overview*. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-monitor/app/app-insights-overview>
- Microsoft. (2022c). *Bienvenido a Azure Stream Analytics*. <https://docs.microsoft.com/es-es/azure/stream-analytics/stream-analytics-introduction>
- Microsoft. (2022d). *Introduction to Azure Functions*. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-functions/functions-overview>
- Microsoft. (2022e). *IoT concepts and Azure IoT Hub*. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-concepts-and-iot-hub>
- Microsoft. (2022f). *¿Qué es Azure Machine Learning?* <https://docs.microsoft.com/es-es/azure/machine-learning/overview-what-is-azure-machine-learning>
- Microsoft. (2022g). *What is cloud computing?* <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección de Información Ambiental y de Recursos Naturales, Viceministerio de Áreas Protegidas y Biodiversidad, Viceministerio de Recursos Forestales, Viceministerio de Suelos y Agua, & Urbáez, Y. (2014). *Informe Sobre Evaluación del Incendio Forestal en el Parque Nacional VALLE NUEVO*. <https://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2019/05/Informe-Evaluacion-Incendio-Forestal-PN-Valle-Nuevo.pdf>

- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Fondo Pro-Naturaleza (PRONATURA), & Instituto Dominicano de Desarrollo Integral (IDDI). (2016). *Estrategia Nacional de Manejo del Fuego para República Dominicana*.
<http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/12/ESTRATEGIA-NACIONAL-MANEJO-DE-FUEGO-R-D-03222019045916.pdf>
- Molina, T. (2019, March 2). *Incendio de magnitud considerable afecta Valle Nuevo*.
<https://www.diariolibre.com/actualidad/medioambiente/incendio-de-magnitud-considerable-afecta-valle-nuevo-gd12220868>.
- Morell, M. (1988). *Situación Forestal en RD*.
- Oficina Nacional de Estadística, & Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Boletín de estadísticas ambientales 2020*.
<https://web.one.gob.do/media/wbtfnx10/bolet%20de-estadisticas-ambientales-2020.pdf>.
<https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/Informe%20final%20causas%20Deforestacion%20Rep.%20Dominicana%2005.09.11.pdf>
- Olarte Camargo, K. J., & Chacón Castro, L. F. (2019). *PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA DETECCIÓN DE INCENDIOS EN ÁREAS PROTEGIDAS DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER CON LA GENERACIÓN DE ALERTAS EN TIEMPO REAL POR MEDIO DE DRONES*. Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB).
- Ovalles U., Ing. F. P. J. (2011). *IDENTIFICACION DE LAS CAUSAS DE LA DEFORESTACION Y LA DEGRADACION DE LOS BOSQUES EN LA REPÚBLICA DOMINICANA* (No. 83084744).
<https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/Informe%20final%20causas%20Deforestacion%20Rep.%20Dominicana%2005.09.11.pdf>
- Pausas, J. G. (2012). *¿Qué sabemos de? INCENDIOS FORESTALES* (C. y Catarata, Ed.). SINIF.
- PCE Instruments. (2022). *Registrador climatológico PCE-HT 71N*. <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/logger-de-datos/registrador-climatologico-pce-ht71.htm>

- Rodríguez, A. (2004). *Estudio de tendencias y perspectiva del sector forestal en RD para el 2020*.
- Russo, I. (1991). *La evolución de la situación forestal en la República Dominicana 1844-1987* (Documento No. 7.). FAO y CONATEF.
- Sánchez, R. (2009). *Breve diagnóstico del medio natural de la RD*. Www.Accionverde.Com.
- SEMARENA y JICA. (2002). *Estudio del plan maestro de las cuencas altas de la presa de Sabana Yegua en la RD*. <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11692050.pdf>
- Sensor, R. (2019). *RK100-02 Plastic Wind Speed Sensor Wind Anemometer*. rikasensor.com/rk100-02-wind-speed-sensor-wind-speed-detector.html
- SENSOVANT. (2014). *Sensor de radiación LP02: Piranómetro portátil*. <https://www.sensovant.com/productos/meteorologia/radiacion-solar/articulo/piranometro-portatil-precio-venta-economico-LP02.html>
- Solé, R. (2021). *Raspberry Pi: Crea proyectos DIY por muy poco dinero*. <https://www.profesionalreview.com/2021/07/18/que-es-raspberry-pi/>
- Starlink. (2022). *Starlink*. <https://www.starlink.com/>
- Towards. (2021). *Panel Solar Towards Monocristalino 400W*. <https://towards.com.do/product/panel-solar-towards-mono-400w-codigo-as-6p400w/>
- Veloz Maggiolo, M. (2013). El “conuquismo”, una costumbre milenaria. *Listín Diario*, 289239. <https://listindiario.com/puntos-de-vista/2013/08/22/289239/el-conuquismo-una-costumbre-milenaria>

Apéndice

Apéndice A – Torre de Detección de Incendios en Pajón Blanco, Valle Nuevo



**Apéndice B – Vista desde Torre de Detección de Incendios en Pajón Blanco,
Valle Nuevo**



Apéndice C – Vista en Las Pirámides, Parque Nacional Valle Nuevo



**Apéndice D – Vista desde Torre de Detección de Incendios en Pajón Blanco, Valle
Nuevo**



Apéndice E –Flora en Las Pirámides, Valle Nuevo

Apéndice E – Las Pirámides, Valle Nuevo

Anexos

Tabla 20

Detalles sobre las áreas protegidas en Rep. Dominicana

| No. | Áreas Protegidas | Código UICN | Categoría | Subcategoría | Base Legal | Superficie Terrestre (Km ²) | Área Marina (Km ²) | Área Total (Km ²) |
|-----|---------------------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|----------------|---|--------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Dicayagua | Ia | Áreas de Protección Estricta | Reserva Científica | Decreto 571-09 | 1,15 | | 1,15 |
| 2 | Ébano Verde | Ia | Áreas de Protección Estricta | Reserva Científica | Ley 202-04 | 29,90 | | 29,90 |
| 3 | La Salcedoa | Ia | Áreas de Protección Estricta | Reserva Científica | Decreto 571-09 | 41,22 | | 41,22 |
| 4 | Las Neblinas | Ia | Áreas de Protección Estricta | Reserva Científica | Ley 202-04 | 40,78 | | 40,78 |
| 5 | Loma Barbacoa | Ia | Áreas de Protección Estricta | Reserva Científica | Ley 202-04 | 13,71 | | 13,71 |
| 6 | Loma Guaconejo | Ia | Áreas de Protección Estricta | Reserva Científica | Ley 202-04 | 13,71 | | 13,71 |
| 7 | Loma de Quita Espuela | Ia | Áreas de Protección Estricta | Reserva Científica | Ley 202-04 | 75,74 | | 75,74 |
| 8 | Villa Elisa | Ia | Áreas de Protección Estricta | Reserva Científica | Ley 202-04 | 0,43 | | 0,43 |
| 9 | Bancos de La Plata y La Navidad | Ib | Áreas de Protección Estricta | Santuario de Mamífero Marino | Ley 202-04 | | 32.879,80 | 32.879,80 |
| 10 | Estero Hondo | Ib | Áreas de Protección Estricta | Santuario de Mamífero Marino | Ley 202-04 | 11,88 | 20,66 | 32,54 |
| 11 | Loma Charco Azul | 1d | Áreas de Protección Estricta | Reserva Biológica | Decreto 571-09 | 174,19 | | 174,19 |
| 12 | Sierra Prieta | 1d | Áreas de Protección Estricta | Reserva Biológica | Decreto 571-09 | 4,00 | | 4,00 |
| 13 | Anacaona | Ia | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09 | 538,93 | | 538,93 |

| | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------------|-----|--------------------|-----------------|-------------------------|--------|--------|----------|
| 14 | Aniana Vargas | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09 | 129,63 | | 129,63 |
| 15 | Armando Bermúdez | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 802,55 | | 802,55 |
| 16 | Baiguate | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09 | 52,43 | | 52,43 |
| 17 | Cabo Cabrón | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 35,62 | | 35,62 |
| 18 | Cotubanamá (Del Este) | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 / Ley 519-14 | 414,62 | 381,78 | 796,40 |
| 19 | El Morro | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 18,43 | | 18,43 |
| 20 | Francisco Alberto Caamaño Deñó | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09 | 288,80 | 298,68 | 587,48 |
| 21 | Humedales del Ozama | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 46,20 | | 46,20 |
| 22 | Jaragua | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 706,29 | 829,18 | 1.535,47 |
| 23 | José del Carmen Ramírez | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 749,72 | | 749,72 |
| 24 | La Gran Sabana | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09 | 219,58 | | 219,58 |
| 25 | La Hispaniola | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09 | 27,40 | 27,37 | 54,77 |
| 26 | Lago Enriquillo e Isla Cabritos | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 404,93 | | 404,93 |
| 27 | Los Haitises | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 631,68 | | 631,68 |
| 28 | Luis Quin | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09 | 197,29 | | 197,29 |

| | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|-----|--------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------|--------|----------|
| 29 | Manglares del Bajo Yuna | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 121,20 | | 121,20 |
| 30 | Manglares de Estero Balsa | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 54,31 | 2,28 | 56,59 |
| 31 | Manolo Tavárez Justo | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 371-11 | 351,74 | | 351,74 |
| 32 | Máximo Gómez | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09/ Decreto 249-11 | 42,29 | | 42,29 |
| 33 | Montaña La Humeadora | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 305,41 | | 305,41 |
| 34 | Nalga de Maco | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 165,82 | | 165,82 |
| 35 | Picky Lora | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09/ Decreto 249-11 | 112,28 | | 112,28 |
| 36 | Punta Espada | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09 | 82,48 | | 82,48 |
| 37 | Salto de la Jalda | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Decreto 571-09 | 36,43 | | 36,43 |
| 38 | Sierra de Bahoruco | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 1091,77 | | 1.091,77 |
| 39 | Sierra de Neiba | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 183,00 | | 183,00 |
| 40 | Sierra Martín García | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 245,01 | 16,49 | 261,50 |
| 41 | Valle Nuevo | IIa | Parques Nacionales | Parque Nacional | Ley 202-04 | 906,31 | | 906,31 |
| 42 | Monte Cristi | IIb | Parques Nacionales | Parque Nacional Submarino | Ley 202-04 | 0,00 | 246,45 | 246,45 |

| | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------|------|----------------------|---------------------------|----------------|--------|-------|--------|
| 43 | La Caleta | IIb | Parques Nacionales | Parque Nacional Submarino | Ley 202-04 | 1,33 | 9,82 | 11,15 |
| 44 | Bosque Húmedo de Río San Juan | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 1,59 | | 1,59 |
| 45 | Cabo Francés Viejo | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 0,25 | | 0,25 |
| 46 | Cabo Samaná | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 9,26 | | 9,26 |
| 47 | Cerro de San Francisco | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 4,02 | | 4,02 |
| 48 | Don Rafael Herrera Cabral | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 40-15 | 0,50 | | 0,50 |
| 49 | El Saltadero | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 2,38 | | 2,38 |
| 50 | Hoyo Claro | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 39,30 | | 39,30 |
| 51 | Isla Catalina | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 9,09 | 7,15 | 16,24 |
| 52 | La Ceiba | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 0,01 | | 0,01 |
| 53 | Laguna Gri-Grí | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 0,68 | 15,48 | 16,16 |
| 54 | Lagunas Cabarete y Goleta | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 70,91 | | 70,91 |
| 55 | Las Caobas | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 105,47 | | 105,47 |
| 56 | Las Dunas de las Calderas | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 17,59 | | 17,59 |
| 57 | Las Marías | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 4,50 | | 4,50 |
| 58 | Loma Isabel de Torres | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 16,60 | | 16,60 |

| | | | | | | | | |
|-----------|---|------|----------------------|-------------------|----------------|-------|------|-------|
| 59 | Loma La Altagracia o Loma la Enea | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 0,67 | | 0,67 |
| 60 | Los Cacheos | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 55,84 | | 55,84 |
| 61 | Manantiales Las Barías | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 0,76 | | 0,76 |
| 62 | Pico Diego de Ocampo | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 25,34 | | 25,34 |
| 63 | Punta Bayahíbe | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 1,63 | 1,07 | 2,70 |
| 64 | Reserva Antropológica Cuevas de Borbón o del Pomier | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 5,01 | | 5,01 |
| 65 | Río Cumayasa y Cuevas de Las Maravillas | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 87,30 | | 87,30 |
| 66 | Salto de Jimenoa | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 17,43 | | 17,43 |
| 67 | Salto de la Damajagua | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 5,53 | | 5,53 |
| 68 | Salto de Socoa | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 68,30 | | 68,30 |
| 69 | Salto El Limón | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Ley 202-04 | 16,47 | | 16,47 |
| 70 | Salto Grande | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 14,76 | | 14,76 |
| 71 | Salto de Jima | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 18,67 | | 18,67 |
| 72 | Salto de La Tinaja | IIIa | Monumentos Naturales | Monumento Natural | Decreto 571-09 | 29,52 | | 29,52 |

| | | | | | | | | |
|----|---|------|-------------------------------------|---------------------------|----------------|-------|--------|--------|
| 73 | Monumento Natural Miguel Domingo Fuerte | IIIb | Monumentos Naturales | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 33,53 | 0,00 | 33,53 |
| 74 | Cueva de los Tres Ojos de Santo Domingo | IIIb | Monumentos Naturales | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 0,67 | | 0,67 |
| 75 | Bahía de Luperón | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 13,21 | 5,49 | 18,70 |
| 76 | Cayos Siete Hermanos | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | | 104,85 | 104,85 |
| 77 | El Cañón del Río Gurabo | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 121-04 | 30,12 | | 30,12 |
| 78 | Gran Estero | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Dec.57 1-09 | 25,75 | 127,57 | 153,32 |
| 79 | Humedales del Bajo Yaque del Sur | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 39,61 | 18,85 | 58,46 |
| 80 | La Gran Laguna o Perucho | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 3,65 | 3,67 | 7,32 |
| 81 | Laguna Cabral o Rincón | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 56,03 | | 56,03 |
| 82 | Laguna de San José | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Dec.26 6-16 | 0,58 | | 0,58 |
| 83 | Laguna Mallén | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Decreto 571-09 | 1,41 | | 1,41 |
| 84 | Laguna Saladilla | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 31,16 | | 31,16 |

| | | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------|-----|-------------------------------------|---------------------------|----------------|--------|----------|----------|
| 85 | Lagunas de Bávaro y El Caletón | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 7,21 | | 7,21 |
| 86 | Lagunas Redonda y Limón | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 25,61 | | 25,61 |
| 87 | Manglar de la Jina | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 15,29 | 37,58 | 52,86 |
| 88 | Manglares de Puerto Viejo | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 4,70 | 6,45 | 11,15 |
| 89 | Ría Maimón | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 3,98 | 0,80 | 4,78 |
| 90 | Río Chacuey | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 38,77 | | 38,77 |
| 91 | Río Dulce | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Decreto 90-16 | 1,92 | | 1,92 |
| 92 | Río Higuamo | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Decreto 571-09 | 18,49 | | 18,49 |
| 93 | Río Soco | IVa | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Refugio de Vida Silvestre | Ley 202-04 | 9,50 | 2,26 | 11,75 |
| 94 | Santuario Marino del Norte | IVb | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Santuario Marino | Ley 313-14 | 6,03 | 243,92 | 249,94 |
| 95 | Arrecifes del Sureste | IVb | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Santuario Marino | Decreto 571-09 | | 7.860,71 | 7.860,71 |
| 96 | Arrecifes del Suroeste | IVb | Áreas de Manejo de Hábitat/Especies | Santuario Marino | Decreto 571-09 | | 2.707,08 | 2.707,08 |
| 97 | Alto Bao | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 307,27 | | 307,27 |

| | | | | | | | |
|------------|--|-----|---------------------|---------------------|----------------|--------|--------|
| 98 | Alto Mao | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 457,05 | 457,05 |
| 99 | Arroyo Cano | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 23,90 | 23,90 |
| 100 | Barrero | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 192,15 | 192,15 |
| 101 | Cabeza de Toro | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 5,94 | 5,94 |
| 102 | Cayuco | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 5,04 | 5,04 |
| 103 | Cerro de Bocanigua | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 29,21 | 29,21 |
| 104 | Cerros Chacuey | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 51,89 | 51,89 |
| 105 | Guanito | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 68,95 | 68,95 |
| 106 | Hatillo | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 49,64 | 49,64 |
| 107 | Las Matas | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 56,17 | 56,17 |
| 108 | Loma El 20 | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 53,97 | 53,97 |
| 109 | Loma Novillero | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 12,89 | 12,89 |
| 110 | Río Cana | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 259,95 | 259,95 |
| 111 | Villarpando | Va | Reservas Naturales | Reservas Forestales | Ley 202-04 | 79,55 | 79,55 |
| 112 | Autovía Santo Domingo - Samaná - Boulevard del Atlántico | Via | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Decreto 654-11 | 103,82 | 103,82 |
| 113 | Carretera Bayacanes-Jarabacoa | Via | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Ley 202-04 | 16,23 | 16,23 |
| 114 | Carretera Cabral-Polo | Via | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Ley 202-04 | 12,04 | 12,04 |
| 115 | Carretera El Abanico-Constanza | Via | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Ley 202-04 | 23,21 | 23,21 |
| 116 | Carretera Nagua-Sánchez | Via | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Ley 202-04 | 16,94 | 16,94 |
| 117 | Carretera Santiago- | Via | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Ley 202-04 | 20,98 | 20,98 |

| | | | | | | | | |
|------------|--|-----|------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|-------|
| | La Cumbre- Puerto Plata | | | | | | | |
| 118 | Costa Azul | VIa | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Ley 202-04 | 6,54 | 12,38 | 18,92 |
| 119 | Entrada de Mao | VIa | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Ley 202-04 | 54,37 | | 54,37 |
| 120 | Mirador del Atlántico | VIa | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Ley 202-04 | 12,10 | | 12,10 |
| 121 | Mirador del Paraíso | VIa | Paisajes Protegidos | Vía Panorámica | Ley 202-04 | 21,87 | | 21,87 |
| 122 | Boca de Nigua | VIb | Paisajes Protegidos | Área Natural de Recreo | Decret o 571- 09 | 2,51 | 3,31 | 5,81 |
| 123 | Cabo Rojo - Bahía de las Águilas | VIb | Paisajes Protegidos | Área Natural de Recreo | Ley 202-04 | 51,62 | 27,49 | 79,11 |
| 124 | Guaiguí | VIb | Paisajes Protegidos | Área Natural de Recreo | Ley 202-04 | 41,47 | | 41,47 |
| 125 | Guaraguo - Punta Catuano | VIb | Paisajes Protegidos | Área Natural de Recreo | Ley 202-04 | 12,82 | 5,78 | 18,59 |
| 126 | Autopista 6 de Noviembre | VIc | Paisajes Protegidos | Corredor Ecológico | Ley 174-09 | 3,65 | | 3,65 |
| 127 | Autopista Duarte | VIc | Paisajes Protegidos | Corredor Ecológico | Ley 174-09 | 10,42 | | 10,42 |
| 128 | Autopista Juan Bosch | VIc | Paisajes Protegidos | Corredor Ecológico | Ley 174-09 | 6,79 | | 6,79 |

Fuente. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019)

Vita

Nacida el 26 de enero de 2001 en Santo Domingo, República Dominicana. Cursó sus estudios primarios y secundarios en el Colegio San Gabriel de la Dolorosa. Aspirante al título de ingeniería en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la Universidad Iberoamericana (Unibe) como estudiante becada por el Programa Líderes del Mañana de Unibe y la Fundación Hazoury.

En el plano laboral, actualmente se desempeña como Software Quality Assurance/Project Manager en la empresa Newtech Global. Certificada como Tester Foundation Level (CTFL) del American Software Testing Qualification Board. Al concluir sus estudios, desea contribuir a la construcción de un mundo mejor a través del software.

Isamar D. Francisco Reyes

Vita

Carlos Bienvenido Ogando Montás nació el 21 de diciembre del 2000 en Santo Domingo, República Dominicana. Sus padres son Ruth Aurelia Montás Domínguez y Carlos Augusto Ogando Alcántara. Tiene tres hermanos: Karla Ogando, Laura Ogando y Carlos Luis Ogando.

Es estudiante de término en la carrera Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Universidad Iberoamericana. Es egresado como técnico en Electrónica Mención Comunicaciones del Instituto Politécnico Loyola. Cuenta con un Micro Máster en Inteligencia Artificial de la Universidad de Columbia en New York. Está certificado como especialista en Python por el MIT, Boston.

Es miembro de la Sociedad Dominicana de Inteligencia Artificial y docente en el Instituto Tecnológico de las Américas en el tecnólogo de Inteligencia Artificial y Software.

Ha representado a nuestro país en olimpiadas mundiales, como las Olimpiadas Internacionales de Informática en Tsukuba, Japón, 2018, un evento internacional que busca reconocer el talento de los jóvenes de todo el mundo en el desarrollo de soluciones eficientes y algoritmos flexibles para problemas complejos de programación de la vida real; y representado al país las Olimpiadas Iberoamericanas de Física en Mayagüez, Puerto Rico, 2018.

En la actualidad trabaja como ingeniero de inteligencia artificial en la empresa peruana Business Analytics, desarrollando soluciones tecnológicas para clientes de toda Latinoamérica y el mundo en el área de ciencia de datos, inteligencia artificial, automatización de procesos y geolocalización.

Ha participado en proyectos entre los que se encuentran: Smart Room, Zero App, el proyecto ecoeficiente BIODDEL, el videojuego El Justiciero, aplicación de pagos para el banco BHD, entre otros.

Ha publicado dos libros: una antología de cuentos titulada “Cuentos de mi adolescencia” y la novela “El misterioso caso de Marta Baldwin”.

Carlos B. Ogando Montás