

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Infraestructura verde aplicada al bosque protector “La Prosperina” para la generación de un plan de acción climático frente a incendios forestales

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telemática

Presentado por:

Nicholas Teddy Echeverría Jurado

Daniel Alfonso Robles García

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Nicholas Teddy Echeverría Jurado

Dedico mi trabajo a toda mi familia, en especial a mi papa que fue quien me recomendó esta ingeniería.

Daniel Alfonso Robles García

Dedico este trabajo a mi familia, por el cuidado y apoyo que recibí de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Nicholas Teddy Echeverría Jurado

Mis mas sinceros agradecimientos para mi papá que siempre estuvo atras mio, ensenandome como ser una persona de bien, impulsandome a seguir adelante siempre en todo lo que me proponia. A mi mama que gracias a su positivismo hacia que mis dias sean mas llevaderos. A mis tios que siempre me cuidaron desde lejos. A mis amigos mas cercanos por que siempre estuvieron ahi cuando los necesite en alguna tarea o en algun problema. Agradezco a la universidad por forjar la persona que soy ahora llena de conocimientos. A Washington Velásquez e Ignacio Marin por impulsar este proyecto.

Daniel Alfonso Robles García

Mi más sincero agradecimiento a mi Mamá que siempre me dio lo que necesitaba. A...mis compañeros Marcelo Romero y Carlos Apolo que me acompañaron siempre. A los tutores Washington Velásquez e Ignacio Marin por su enseñansa en todo este proceso.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Nicholas Teddy Echeverría Jurado y Daniel Alfonso Robles García y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Nicholas Teddy Echeverría Jurado



Daniel Alfonso Robles García

EVALUADORES

Ignacio Marín MSc.

PROFESOR DE LA MATERIA

Washington Velásquez PhD.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El impacto vial es un problema creciente en el bosque protector "*La Prosperina*", ya que puede provocar incendios forestales. Para abordar este problema, es necesario encontrar soluciones sostenibles. Después de analizar las variables contaminantes, como el ozono, el monóxido de carbono, el material particulado y los cambios de temperatura, se determinó que la implementación de una infraestructura verde es efectiva para reducir este impacto. La infraestructura verde es un enfoque innovador en la planificación urbana que combina elementos naturales y sostenibles en la infraestructura de la ciudad, creando entornos urbanos más saludables y sostenibles. Mediante el modelado de datos obtenidos de las variables contaminantes en el bosque protector "*La Prosperina*", se observó el impacto del crecimiento de empresas públicas y privadas. Con este análisis, se determinó qué tipo de infraestructura verde reduciría los contaminantes y funcionaría como un plan de acción contra los incendios forestales. La implementación de una infraestructura verde, como un muro de setos, ofrece mejoras en la calidad de vida, reducción de la contaminación del aire y del agua, y mitigación del cambio climático. Se identificó la mejor oportunidad dentro de las vías de transporte público para integrar esta solución, no solo para reducir el impacto vial e incendios forestales, sino también para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona. Este estudio está organizado en cuatro capítulos. En el Capítulo 1 se presenta la introducción del estudio, donde se define y justifica el problema. En el Capítulo 2 se detalla la importancia de la infraestructura verde y se describen las variables ambientales relevantes, así como la metodología utilizada para obtener y analizar los resultados. En el Capítulo 3 se explica cómo se obtuvieron y analizaron los datos de las variables contaminantes, y se describe la solución aplicada. Finalmente, el Capítulo 4 presenta las conclusiones, recomendaciones y posibles implementaciones derivadas del estudio.

Palabras Clave: Impacto vehicular, infraestructura verde, planificación urbana, salud y bienestar, reducción de la contaminación, incendios forestales.

ABSTRACT

Road impact is a growing problem in the "La Prosperina" protective forest, as it can lead to forest fires. To address this problem, sustainable solutions must be found. After analyzing pollutant variables such as ozone, carbon monoxide, particulate matter, and temperature changes, it was determined that implementing green infrastructure effectively reduces this impact. Green infrastructure is an innovative approach to urban planning that combines natural and sustainable elements in city infrastructure, creating healthier and more sustainable urban environments. By modeling data obtained from pollutant variables in the protective forest "La Prosperina," the impact of the growth of public and private enterprises was observed. This analysis determined what type of green infrastructure would reduce pollutants and function as an action plan against forest fires. Implementing green infrastructure, such as a hedge wall, offers quality of life improvements, air, and water pollution reduction, and climate change mitigation. The best opportunity was identified within the public transport routes to integrate this solution, not only to reduce the road impact and forest fires but also to improve the quality of life for the inhabitants of the area. This study is organized into four chapters. Chapter 1 presents the introduction to the analysis, where the problem is defined and justified. Chapter 2 details the importance of green infrastructure and describes the relevant environmental variables and the methodology used to obtain and analyze the results. Chapter 3 explains how the data on the pollutant variables were obtained and analyzed and described the applied solution. Finally, Chapter 4 presents the conclusions, recommendations, and possible implementations derived from the study.

Keywords: Vehicular impact, green infrastucture, urban planning, health and well-being, reduced pollution , effective and sustainable solution, improved quality of life.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------------|
| RESUMEN | i |
| ABSTRACT | iii |
| ABREVIATURAS | vii |
| SIMBOLOGÍA | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xi |
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Problemática | 3 |
| 1.2 Justificación | 4 |
| 1.3 Objetivo General | 4 |
| 1.4 Objetivos Específicos | 5 |
| 1.5 Alcance y limitaciones | 5 |
| 1.6 Estado del arte | 5 |
| 2 METODOLOGÍA | 11 |
| 2.1 ¿Cómo la infraestructura verde ayuda a reducir el impacto vial? | 11 |
| 2.2 Arquitectura de infraestructura verde | 13 |
| 2.2.1 Zona de aplicación | 14 |
| 2.2.2 Sistema de monitoreo | 16 |
| 2.2.3 Plan de acción | 19 |
| 2.3 Criterios de inclusión y exclusión | 19 |
| 2.3.1 Inclusión | 19 |
| 2.3.2 Exclusión | 20 |
| 2.4 Métricas de evaluación | 20 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | Aplicación de infraestructura verde | 23 |
| 3.1 | Identificación del área | 24 |
| 3.2 | Análisis de datos | 25 |
| 3.3 | Plan de Acción | 29 |
| 3.3.1 | Infraestructura verde | 29 |
| 3.3.2 | Gobernanza | 31 |
| 3.3.3 | Continuidad | 32 |
| 3.4 | Análisis de mercado | 33 |
| 3.5 | Pruebas de rendimiento | 37 |
| 4 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 39 |
| 4.1 | Conclusiones | 39 |
| 4.2 | Recomendaciones | 40 |
| 4.3 | Líneas Futuras | 42 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 45 |
| | APÉNDICES | 49 |
| A | Código Python para la obtención de los datos meteorológicos | 51 |

ABREVIATURAS

| | |
|-------|--|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| CE | Comisión Europea |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| O3 | Ozono Tropificado |
| CO | Monóxido de carbono |
| UFPM | Materia Partículas Ultra finas |
| API | Interfaz de Programación de Aplicaciones |
| HTTP | Protocolo de Transferencia de Hipertexto |

SIMBOLOGÍA

| | |
|-------|--|
| mil | Milésima de pulgada |
| mg | Miligramo |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| m | Metro |
| C | Centigrado |
| m/s | Metro sobre segundo |
| MJ | Megajoule |
| AOTx, | Exposición acumulada al ozono por encima de un umbral de x partes por billón |
| PM | Material particulado |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Infraestructura Verde Orange Mall-Arizona State University | 13 |
| 2.2 | Propuesta de Infraestructura verde | 14 |
| 2.3 | Datacenter de la empresa Telconet | 15 |
| 2.4 | Urbanización Bosques de los Ceibos | 15 |
| 2.5 | Entrada de ESPOL | 16 |
| 2.6 | Biodiversidad | 16 |
| 2.7 | Esquema de funcionalidad de Power BI | 17 |
| 2.8 | Esquema de funcionalidad de Power BI | 18 |
| 3.1 | Entrada ruta CEIBOS-ESPOL Junio-2012 | 24 |
| 3.2 | Entrada ruta CEIBOS-ESPOL Noviembre-2022 | 24 |
| 3.3 | Indicador de concentración anual de dióxido de nitrógeno | 25 |
| 3.4 | Indicador de concentración anual de material particulado 2.5 | 26 |
| 3.5 | Indicador de concentración anual de material particulado 10 | 26 |
| 3.6 | Indicador de concentración diaria de dióxido de azufre en Enero | 27 |
| 3.7 | Indicador de concentración diaria de dióxido de azufre en Marzo | 27 |
| 3.8 | Indicador de concentración diaria de dióxido de azufre en Junio | 27 |
| 3.9 | Indicador de concentración de ozono troposférico en temporada pico | 28 |
| 3.10 | Indicador de concentración diaria de CO | 28 |
| 3.11 | Indicador de cambio de temperatura en los meses | 29 |
| 3.12 | Muro de setos | 30 |
| 3.13 | Respuesta de Encuestas a usuarios Pregunta 7 | 33 |
| 3.14 | Respuesta de Encuestas a usuarios Pregunta 7. | 34 |
| 4.1 | Puente peatonal para animales | 43 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | Modelo de datos | 17 |
| 2.2 | Recomendaciones de calidad del aire de la OMS | 21 |
| 3.1 | Tabla de Costos de materiales | 35 |
| 3.2 | Tabla de Costos de Equipo | 35 |
| 3.3 | Tabla de Costos de Mano de obra | 36 |
| 3.4 | Tabla de Costos de total | 36 |
| 3.5 | Tabla de gastos por mes | 37 |
| 3.6 | Comprobación de error de temperatura (c) | 37 |
| 3.7 | Comprobación de error de humedad (%) | 38 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo los sistemas de control han ido evolucionando de manera exponencial, cambiando los dispositivos de medición analógica por digitales, lo que ha mejorado aún más su precisión [1], aunque los dispositivos de medición analógicos todavía se utilizan en algunas aplicaciones especializadas. Actualmente se está en una era donde se puede obtener los datos en tiempo real, es decir que existen dispositivos que simplifican el procesamiento de datos, desde pequeñas formulas a la toma de varias mediciones¹. Por lo tanto, dentro de los bosques existen sistemas de control que pueden medir distintos indicadores dentro de ellos. A medida que la población crece, la demanda de viviendas y carreteras aumenta, lo que a su vez conduce a la expansión de las áreas urbanas y la fragmentación de los bosques. La urbanización y la construcción de carreteras a menudo implican la tala de árboles y la eliminación de la vegetación, lo que reduce la biodiversidad y afecta la calidad del aire y del agua en la zona. Además, la expansión urbana también puede aumentar la probabilidad de incendios forestales y la propagación de especies invasoras, lo que a su vez puede tener un impacto negativo en la salud de los ecosistemas forestales. Por lo tanto, es importante abordar el crecimiento de la población y la planificación del desarrollo urbano de manera sostenible para minimizar el impacto en las áreas verdes y conservar la biodiversidad.

Los sistemas telemáticos son un gran apoyo para la transformación tecnológica que se busca dentro de cualquier campo, incluso donde no existen redes eléctricas y de internet como lo son los bosques, los antiguos sistemas de medición suelen tener problemas para el procesamiento de la información en tiempo real por retardo de transmisión de datos, problemas de conexión, hasta por error humano, entonces la nueva era de tecnologías trata de impulsar la automatización de procesos y mejora de comunicación de datos entre

¹http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vazquez_m_k/capitulo3.pdf

dispositivos para eliminar costos tanto de dinero como esfuerzo humano, realizando una combinación de herramientas informáticas como lo son el GPS y sensores IoT². Todas las organizaciones, tanto públicas como privadas, necesitan procesar y enviar datos de manera rápida y completa, ya que esto permite abordar los problemas detectados en tiempo real y solucionarlos eficazmente, lo que resulta en un ahorro de esfuerzo y recursos valiosos³. Cuando se habla de problemas ambientales, el tiempo de respuesta ante estas situaciones es muy importante debido a la influencia que estos eventos provocan en el entorno. Por ese motivo, la búsqueda de nuevos sistemas tecnológicos que se requieren para solucionar estos problemas tienen que ayudar a impulsar el desarrollo biológico de un ecosistema, de manera que la presencia de los dispositivos no afecte a la flora ni la fauna donde se encuentren ubicados, sino que mediante ellos se puedan crear planes de solución para cualquier tipo de problema ambiental que aparezcan⁴.

Un plan de acción contra la afectación de las vías hacia el bosque, hace uso de parámetros aplicables al sitio tales como: calidad del aire, humo y contaminación de otros químicos de efecto invernadero que pueden ser medidos para así dar contexto de como el bosque ha sido afectado a lo largo de los años [2]. En estos tiempos donde se tiene acceso a tecnologías de la información que permiten enviar y recibir datos a cualquier lugar, se busca obtener un plan de respuesta por medio de un sistema de sensores que ayude a la biodiversidad del bosque también llamada infraestructura verde, donde se pretende obtener mucho más que una respuesta rápida a los problemas, sino ayudar al bosque protector "*La Prosperina*" a pueda seguir conservando su diversa composición de flora y fauna que la rodea.

Este documento se centra en el estudio de infraestructura verde al bosque protector "*La Prosperina*" integrando y modificando una arquitectura de red de sensores ya establecida para la elaboración de un plan de acción ante el impacto vial.

²<https://www.beetrack.com/es/blog/servicios-telematicos-que-son-ejemplos-y-aplicaciones>

³<https://www.helpsystems.com/es/recursos/guias/automatizacion-de-procesos-5-principales-beneficios-en-empresas>

⁴<https://www.catsensors.com/es/lorawan/aplicaciones-sensores-lorawan/monitorizacion-instalaciones-agrarias-y-bosques>

1.1 Problemática

Los datos expuestos por medio del sitio web ⁵ oficial del bosque protector "*La Prosperina*" indican que el bosque cuenta con una gran cantidad de vegetación y animales, donde existen alrededor de 94 especies de árboles y mas de 80 especies de animales entre aves y mamíferos ⁶. El bosque tiene la capacidad de proteger animales que buscan refugio y conservar su especie [3]. Según el Ministerio de Ambiente [4], se pudo analizar en el año 2015 por medio de el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques que dentro del el bosque protector "*La Prosperina*" tiene una gran probabilidad que se suscite alguna catástrofe ambiental por el impacto vial, debido al cambio climático, la afluencia de las personas, el CO que producen los vehículos que circulan dentro del bosque a través de las avenidas. Estos daños y perturbaciones hacia el ecosistema afectan a la flora sino la fauna, que cumplen un papel importante para el ciclo de vida dentro del ecosistema [5].

La afluencia de personas y vehículos, especialmente automóviles que emiten gases contaminantes y vibraciones[6], es uno de los factores que contribuyen a los problemas ecológicos en el bosque protector "*La Prosperina*". Estas perturbaciones tienen un efecto negativo en el comportamiento de los animales que habitan en el bosque, lo que afecta su función en el ecosistema. En definitiva, la presencia humana y de vehículos en el bosque están afectando la biodiversidad y la calidad del ecosistema. La existencia de una flora y fauna saludable es crucial para prevenir la sequía, por lo que el bosque protector "*La Prosperina*" es particularmente susceptible a los efectos del cambio climático [7], incluyendo la formación de huellas de calor. Esta es una de las causas más significativas en la aparición de desastres naturales en el mundo, y el bosque protector es especialmente vulnerable a estos problemas debido a su importancia ecológica. La conservación de la flora y fauna es clave para prevenir desastres naturales y garantizar la salud del ecosistema del bosque [8].

La falta de un plan de contingencia para mitigar los efectos negativos de las emisiones de gases y ruidos de las vías adyacentes al bosque protector puede tener graves consecuencias, como la extinción de especies animales exóticas, la degradación de la vegetación y el daño a los habitantes de las viviendas e infraestructuras cercanas. Con el objetivo de evitar estas situaciones, se propone implementar una infraestructura verde

⁵<http://www.bosqueprotector.espol.edu.ec>

⁶<http://www.bosqueprotector.espol.edu.ec/biodiversidad>

que aumente la capacidad del bosque para resistir y prevenir estos desastres, y un plan de acción que permita una solución efectiva y sostenible. En resumen, el objetivo es proteger la biodiversidad y el ecosistema del bosque protector mediante la prevención y el control de las amenazas externas.

1.2 Justificación

La infraestructura verde proporciona servicios ecosistémicos que pueden ayudar a reducir los impactos del cambio climático, como el aumento de temperatura, la migración de especies y las sequías [9]. Los bosques son especialmente vulnerables a estos cambios y, por lo tanto, es importante implementar sistemas avanzados de medición de variables ambientales para minimizar el riesgo y anticipar planes de prevención.

En la costa de Ecuador, hay una amplia diversidad de bosques secos, de los cuales Guayaquil alberga la mayor cantidad de especies compartidas en la zona [10]. El impacto vial en esta área podría ocasionar problemas ecológicos significativos en el país, como la posible extinción de animales y plantas que habitan en la región.

En el contexto de la nueva era tecnológica, se está creando una infraestructura verde que se adapte al bosque protector "*La Prosperina*". Esto establecerá una nueva tendencia en la conservación de bosques, ya que se están buscando nuevas formas de implementar este tipo de arquitectura. La creación de esta infraestructura no solo contribuirá al desarrollo de especies, sino que también mejorará la calidad de vida de las personas en Guayaquil, que se conoce como la "selva de cemento".

1.3 Objetivo General

Evaluar una infraestructura verde aplicada bosque protector "*La Prosperina*" utilizando diferentes métricas y valoraciones que permitan la creación de un plan de acción climático frente al impacto vial.

1.4 Objetivos Específicos

- Identificar áreas grises dentro de la infraestructura verde en el bosque protector "*La Prosperina*" a partir de parámetros de funciones ambientales y servicios ecosistémicos para el cuidado de la flora y fauna.
- Examinar el impacto vial de la vía *CEIBOS-ESPOL* mediante un sistema de monitoreo de sensores virtuales que permita la recolección de datos ambientales para la identificación de problemas climáticos.
- Establecer un plan de acción climático mediante la integración de una arquitectura de infraestructura verde que permita la mitigación de daños en el bosque protector "*La Prosperina*".

1.5 Alcance y limitaciones

La presente investigación plantea una infraestructura verde para mitigar el daño causado por el impacto vial al bosque protector "*La Prosperina*", para esto se elige una de las vías de acceso a la Universidad, las cuáles son la *Avenida Perimetral* y el conector *CEIBOS-ESPOL*. La investigación esta orientada a proporcionar los encargados del desarrollo urbano y medio ambiente de la zona una solución ecológica para prevenir catástrofes ambientales. También esta dirigida a los usuarios de dicha avenida, sin importar que los asentamientos a su alrededor sean públicos o privados. Sin embargo, nuestra investigación presenta una limitante, el API que se utiliza para obtener los indicadores meteorológicos y de calidad del aire se actualiza cada hora, por lo que un accidente ambiental o actividades antropogénicas podría causar una dispersión alta en los datos disminuyendo la precisión del análisis posterior.

1.6 Estado del arte

Los beneficios que ofrece las áreas y espacios verdes tanto para las personas y el medio ambiente son conocidos pero no tanto los de infraestructura verde [11]. La Comisión Europea (CE), órgano ejecutivo encargado de proponer estrategias y políticas para la

UE ⁷, define a la infraestructura verde como: *”Una red estratégicamente planificada de zonas naturales y semi naturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos.”* ⁸ Esto indica que la infraestructura verde va mas allá de ser solo una zona verde, si no que además debe ofrecer una función que beneficie a su entorno. Los beneficios que aporta son ambientales, sociales y económicos, aunque el ultimo en cuestión no esta debidamente probado, debido a que no existe un estudio completo que asegure el impacto económico [12], mientras que los otros beneficios (ambientales y sociales) se basan en que varias de las funciones que proporciona una infraestructura verde a través de los servicios ecosistémicos conlleva a una mejora en la calidad de las zonas verdes, que generan un impacto positivo a las personas y su entorno [13]. Para la planificación de una infraestructura verde no existe un estándar definido. Cada implementación sigue sus propios principios para su desarrollo, pero hay principios que se repiten en diversas implementaciones [14] que también sirven para conceptualizar una infraestructura verde. Algunos de estos son:

- *Conectividad*: Conexión de espacios verdes y paisajes para que exista interacción de flora y fauna sin verse limitados por la extensión del área, a su vez como corredor y recreación para los humanos.
- *Multifuncionalidad*: Ofrecimiento de múltiples funciones sociales, ecológicas y económicas, además de poseer una resiliencia y efectividad mayor en comparación con herramientas similares que no cumplen este principio.
- *Multiescala*: Adaptable para distintas escalas, es aplicable a un área pequeña como un edificio a un área mas grande como un bosque.
- *Integración*: Conexión y sinergia con estructuras urbanas tales como infraestructura gris y edificios.
- *Diversidad*: Variedad de soluciones basadas en la naturaleza para resolver un problema.

⁷https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/institutions-and-bodies-profiles/european-commission_es

⁸<https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/>

Los casos de implementación de infraestructura verde se centran en el sector urbano donde se busca mejorar el ambiente del entorno mitigando la contaminación generada por la urbanización y los efectos del cambio climático [15]. Un estudio [16] aplicado en Australia evalúa distintos escenarios de infraestructura verde para mejorar la calidad del aire en un área urbana utilizando el software *i-Tree Eco*, *i-Tree Eco*⁹ es una aplicación de software que maneja medidas de árboles, datos meteorológicos y de concentración de contaminación del aire local por hora para estimar los servicios ecosistémicos. Los escenarios del estudio comprendían de árboles, paredes y techos verdes individualmente y en conjunto, dando como resultado que el escenario de árboles de forma individual es la opción mas efectiva para reducir la contaminación del aire. En territorios abiertos como un bosque protector no todo el área cuenta como infraestructura verde [17], a diferencia de sectores urbanos donde hay un área verde pequeña que cumple una función que brinda uno o varios servicios ecosistémicos como mejorar la calidad de aire con árboles o paredes y techos verdes [16] y mitigar inundaciones por lluvia con pisos verdes [18].

El transporte vehicular genera elementos como materia particulada 2.5 (PM2.5), ozono troposférico (O₃). Dióxido de nitrógeno (dióxido de nitrógeno) y compuestos orgánicos volátiles(COV), contaminantes que afectan a la salud de las personas, animales y plantas [19]. El O₃ en particular es el compuesto que mas afecta a la vegetación, tiene un alto efecto fitotóxico que obstruye el crecimiento de las plantas [20] causando la deforestación en la zona por el humo que se propaga hacia los bordes donde se encuentra el área verde, y a su vez el PM2.5 que se mezcla con el suelo fértil afectando su composición natural y por lo tanto el alimento de las plantas. El origen del compuesto químico O₃ se produce por reacción fotoquímica de óxidos de nitrógeno (NOx) y COV [21]. Un estudio sobre los efectos del O₃ en los bosques realizado en Corea del Sur [22] encuentra una correlación de factores meteorológicos, como: temperatura, insolación, humedad relativa y velocidad del viento con el aumento de concentración de O₃. El O₃ empieza a ser perjudicial para la vegetación cuando supera el umbral de 40 ppb conocido como AOT4. Las condiciones meteorológicas en las que la formación de O₃ aumenta son la radiación solar y la temperatura, puesto que una temperatura caliente incrementa las reacciones fotoquímicas [23]. Según la Agencia del Medio Ambiente Atmosférico del Área Metropolitana de Seúl publicada por la Agencia del Medio Ambiente del Aire Metropolitano

⁹<https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco/i-tree-eco-overview>

del Ministerio de Medio Ambiente de Corea [22], las altas concentraciones de O₃ se suscitan cuando se presentan las siguientes condiciones meteorológicas:

- Temperatura de 25° C o superior.
- Humedad relativa del 75% o inferior.
- Velocidad del viento continua de 4 m/s o inferior.
- Insolación total desde el amanecer hasta el mediodía de 6,4- MJ/m² o superior.
- Fuerte insolación continua y sin nubes en tiempo soleado.

El monitoreo de la interacción entre los factores climáticos y los contaminantes del aire a lo largo del tiempo ayudarán a identificar la condición de la atmósfera y el grado de contaminantes del aire, a su vez permitirá establecer políticas de contaminación del aire. Las altas concentraciones de O₃ son nocivas para las plantas y el grado de afectación varía con la concentración de O₃, el tiempo de exposición y las características de la especie de plantas.

Durante el intercambio de gases entre las hojas y el medio ambiente, el O₃ que penetra a través de los estomas abiertos, puede provocar pequeños daños, como necrosis y manchas, y daños graves, como pigmentación y muerte regresiva. La exposición a largo plazo a altas concentraciones de O₃ afecta negativamente el rendimiento de los cultivos, el crecimiento forestal y la composición de especies. El nivel crítico de O₃ para la vegetación se definió por primera vez en Alemania en 1988. Esto se desarrolló aún más y se adoptó el concepto de exposición acumulada a O₃ por encima del nivel crítico durante un tiempo determinado. El indicador del impacto de la exposición al O₃ en la vegetación es la exposición acumulada al O₃ por encima de un umbral de 40 ppb. [23] Un estudio de monitoreo con sensores remotos mide los efectos del ozono cuando alcanza índices de AOTx, realizado en el año 2017 en Japón [24], demuestra el daño ocasionado por el ozono a cultivos agrícolas y arboles utilizando teledetección del crecimiento de la vegetación y haciendo relación con las medidas de AOTx de cada zona. También se recalca que cada especie de planta difiere en cuanto es afectada por el ozono.

Conforme el cambio climático se vuelve más grave, la función de los bosques en la absorción de carbono se debate como un medio para responder al cambio climático. Por lo tanto, existe preocupación debido a la disminución de los bosques por los

contaminantes que llegan desde el exterior. La planificación de la infraestructura verde debe considerar el riesgo para la salud que suponen los contaminantes del aire, ya que según la OMS, en el año 2019, el 99% de la población mundial vivía en lugares que no cumplían las pautas de calidad del aire recomendadas. Además, la contaminación del aire ha sido responsable de 4.2 millones de muertes prematuras ¹⁰. El valor de PM es el valor de contaminación que se destaca como el que puede tener mayores efectos en la salud de las personas. La variable PM se divide por tamaño también conocido diámetro aerodinámico (AED), existe el PM10, PM2.5 y partículas ultrafinas (UFPM), Las partículas que alcanzan las vías respiratorias son aquellas menores a 10 μm (PM2.5), aquellas que son mayores (PM10) se filtran por la nariz. La variable PM incluye diversos componentes como metales, carbono elemental y orgánico, sulfatos, nitratos entre otros elementos. La composición de PM ambiental varía tanto geográfica como temporalmente y depende de la combinación de fuentes en cualquier lugar en un momento dado, debido a que el valor PM puede ser generado por la combustión de combustible o diésel de los vehículos, el desgaste de la superficie de carretera y frenos, polvo en el ambiente, material orgánico como el polen y reacciones fotoquímicas en la atmósfera [25]. El estudio [26] plantea una infraestructura verde en la cual se utiliza las hojas como obstáculo de los contaminantes, donde se ubica un muro verde entre el paso peatonal y la vía para mitigar la concentración de los contaminantes que se generan en la carretera y que van en dirección a la acera donde caminan las personas, logrando así reducir la contaminación del aire que respiran.

El monitoreo del área de interés, y la obtención de datos de estado meteorológico y contaminantes del aire actual y pasado no solo permitirá medir el efecto del impacto vial, si no también como referencia para disminuir sus efectos con un plan de acción de infraestructura verde. Para poder llevar a cabo la recolección de datos ambientales se hace uso de APIs meteorológicas, donde se puede obtener las diferentes variables meteorológicas y de calidad del aire actuales y pasadas. Una API es una ventana de datos que puede ser accedida de forma ligera mediante el protocolo HTTP [27].

Un estudio [28] en Estados Unidos analizó la correlación entre los datos históricos de la velocidad del viento, temperatura y precipitación, obtenidos a través de una API meteorológica, y el interés de los usuarios de Twitter en los eventos climáticos. El objetivo era diseñar un plan de acción con estrategias de comunicación y políticas de apoyo. Este

¹⁰[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

estudio resalta la utilidad de las APIs meteorológicas como herramientas para obtener información climática precisa y en tiempo real para la elaboración de planes de acción relacionados con eventos climáticos.

La API *OpenWeather* proporciona datos de indicadores de contaminación del aire medidos desde finales de 2020 y meteorológicos desde el año 1980.¹¹ Algunos de estos indicadores son

- CO: El monóxido de carbono es un gas tóxico incoloro, inodoro e insípido producido por la combustión incompleta de combustibles carbonosos como la madera, la gasolina, el carbón vegetal, el gas natural y el queroseno.
- PM: PM es un indicador indirecto común de la contaminación del aire. Existe una fuerte evidencia de los impactos negativos en la salud asociados con la exposición a este contaminante. Los principales componentes de PM son sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, carbón negro, polvo mineral y agua.
- NO₂: El dióxido de nitrógeno es un gas que comúnmente se libera de la combustión de combustibles en los sectores industrial y de transporte.
- SO₂: El Dióxido de azufre es un gas incoloro con un olor fuerte. Se produce a partir de la quema de combustibles fósiles (carbón y petróleo) y de la fundición de minerales que contienen azufre.
- Temperatura: Es una medida de la energía térmica en el aire. Se mide en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F) y representa el grado de calor o frío que se siente en el ambiente.
- Humedad: Cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se mide en porcentaje de humedad relativa.
- Velocidad del viento: Es la magnitud y dirección del movimiento del aire en la atmósfera. Se mide en metros por segundo (m/s) o kilómetros por hora (km/h).
- Sensación térmica: Temperatura equivalente percibida por los humanos, causada por los efectos combinados de la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento

¹¹<https://openweathermap.org/api/air-pollution>

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El efecto del tráfico vehicular en el medio ambiente del bosque protector "*La Prosperina*" se evalúa a través del análisis de las tendencias meteorológicas y su impacto en la zona. Se realiza una observación cualitativa y recopilación de datos, utilizando un método descriptivo.

Para mitigar el impacto ecológico, se ha creado un plan de acción climático que consta de varias etapas. En primer lugar, se delimita la zona de estudio, que comprende el conector *CEIBOS-ESPOL*. Luego, se crean indicadores de las variables climáticas en el área mediante la utilización de un API que proporciona datos históricos y actuales obtenidos de satélites, modelos o estaciones meteorológicas. Finalmente, se elabora el plan de acción a partir del análisis de los datos obtenidos y de las características del sector. Este plan de acción busca reducir el impacto del tráfico vehicular en la zona y proteger el medio ambiente del bosque.

2.1 ¿Cómo la infraestructura verde ayuda a reducir el impacto vial?

El impacto vial es una de las principales formas en que el ser humano contamina el medio ambiente. En el bosque protector "*La Prosperina*", esta contaminación se hace evidente en diversas áreas, como las calles de la *ESPOL* y las avenidas de acceso a la universidad. La gran cantidad de vehículos que transitan a diario por estas vías contribuyen en gran medida a la emisión de gases contaminantes derivados del petróleo. Como resultado, se produce un daño significativo en el ecosistema del bosque y las áreas verdes que lo componen.

El tráfico generado por las personas que se dirigen a la *ESPOL* y otras entidades adyacentes al bosque protector provoca la emisión de contaminantes de hidrocarburos por parte de los vehículos, lo que afecta directamente la calidad del aire y el suelo, impidiendo el crecimiento de la flora debido a la erosión causada por estos efectos [29] .

La contaminación generada por la construcción de avenidas y calles dentro de áreas verdes es otro factor a considerar. En el último año, han pavimentado la calle de acceso al bosque protector por el sector de *Los Ceibos*. La presencia de una calle o avenida dentro de un ecosistema boscoso no solo implica un mayor tránsito de vehículos y personas, sino también un cambio en la temperatura del ambiente, debido a que el calor no se distribuye de la misma manera que en un entorno natural. Esto puede provocar un aumento de la temperatura, ya que el cemento o pavimento retiene mejor el calor que el suelo natural.

La fauna exótica que habita en la *ESPOL* se ve afectada por las calles pavimentadas que dividen su hábitat. Especímenes como tigrillos, zarigüeyas y otros animales con pezuñas sensibles evitan cruzar las avenidas durante períodos de intenso calor en la ciudad, ya que la temperatura del pavimento puede ser muy elevada y afectar su desplazamiento. Esta situación puede alterar el comportamiento de la fauna y fragmentar su hábitat, poniendo en riesgo la supervivencia de estas especies en el largo plazo.

La introducción de especies invasoras en el bosque protector puede desencadenar la aparición de insectos que se alimentan de las plantas, alterando el equilibrio ecológico y afectando el bienestar de las especies nativas. Además, la construcción de pavimentos y concreto en el área tiene un impacto climático, afectando la capacidad de retención de agua y generando un aumento en la evaporación. Esto provoca un cambio en el ritmo de vida de las especies que habitan el bioma, ya que algunas plantas no pueden crecer adecuadamente en estas condiciones.

Es crucial reducir el impacto vial en el bosque protector, ya que la presencia de avenidas y calles pavimentadas interfiere de diversas maneras con la composición y el funcionamiento de los ecosistemas que coexisten dentro de él. Además, la interrupción de los procesos ecológicos puede tener graves consecuencias para la flora y fauna exótica que habita en el bosque. Por lo tanto, resulta esencial que el gobierno tome medidas para proteger este valioso recurso natural.

Para mitigar los impactos negativos que la infraestructura vial puede tener en los ecosistemas naturales, se podría implementar una infraestructura verde eco-amigable

que tenga en cuenta la convivencia entre la naturaleza y las necesidades humanas. Por ejemplo, se podrían construir puentes y pasarelas que permitan a los animales cruzar las calles sin riesgo, y establecer canales de riego para asegurar que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua. Es crucial mantener esta relación equilibrada entre la presencia humana y la biodiversidad en un espacio natural tan valioso.

2.2 Arquitectura de infraestructura verde

En el marco de una infraestructura verde coexisten distintos elementos que se apoyan entre sí, para que las áreas verdes junto con las infraestructuras que necesita el ser humano funcionen de forma sostenible. Uno de los beneficios que esta integración puede brindar es ampliar la capacidad de control de aguas pluviales, la cual consiste en que la lluvia fluya por las áreas verdes antes de alcanzar el alcantarillado, aumentando la resiliencia a inundaciones en el lugar donde se implementa. Se muestra un ejemplo de una infraestructura verde para encaminar las aguas pluviales en la figura 2.1¹.



Figura 2.1: Infraestructura Verde Orange Mall-Arizona State University

El estudio se centró en obtener los datos históricos para comparar la evolución del área que ha sido afectada por el cambio climático y el impacto vial. Para elaborar un plan de acción climático en el área determinada como es la vía de entrada al bosque protector y desarrollar una infraestructura verde en la misma, se debe primero reconocer el espacio

¹www.landscapeperformance.org/case-study-briefs/arizona-state-university-orange-mall-green-infrastructure-project

que comprende el lugar donde se lo realiza y las fuentes que causan el impacto ambiental, luego obtener la suficiente información de las variables climáticas para finalmente definir los problemas que se quieren resolver con una solución basada en la naturaleza. En la figura 2.2 se visualiza la representación de la arquitectura de infraestructura verde centrada en la protección del bosque protector "La Prosperina".

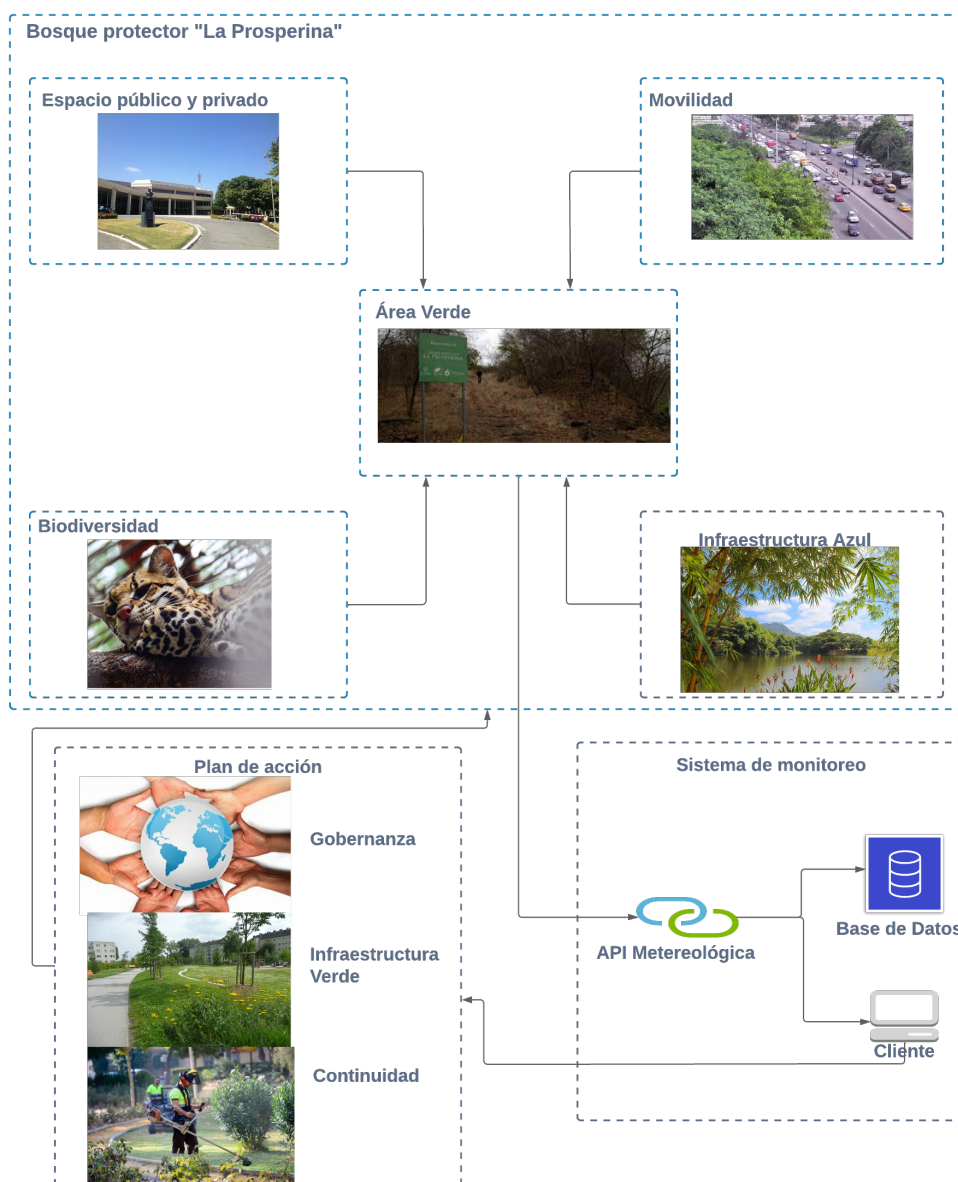


Figura 2.2: Propuesta de Infraestructura verde

2.2.1 Zona de aplicación

El sector de aplicación de la infraestructura verde del bosque protector "La Prosperina" está ubicado en Ecuador dentro de la provincia del Guayas en la ciudad de Guayaquil, en

las parroquias Chongon y Tarqui, en el 30.5 km de la via Perimetral, delimitada al norte con los barrios de Coop. El Mirador y Socio Vivienda con la calle 18I NO , al oeste por el barrio La Prosperina con la Calle Perimetral y el viaducto "La Prosperina", en el Este tiene frontera con el bosque Cerro blanco y al Sur tenemos el Barrio *Los Ceibos* y las empresas *TELCONET* en la calle conector *CEIBOS-ESPOL*. La infraestructura cuenta con varios espacios que vamos a hablar a continuación:

Espacio publico y privado: Las zonas grises que estan dentro del bosque protector como lo son los edificios de la *ESPOL* y colegios. Además de las empresas como Telconet y Conecel, como lo podemos visualizar en las figuras 2.3 y 2.4.



Figura 2.3: Datacenter de la empresa Telconet



Figura 2.4: Urbanización Bosques de los Ceibos

Movilidad: Las calle mostrada en la figura 2.5 es la que atraviesa el bosque y es usada por las personas para movilizarse dentro del campus o salir de él, esta calle es la que se encuentra dentro de la *ESPOL* y dos avenidas principales que conectan con la ciudad que es el conector *CEIBOS-ESPOL*.

Biodiversidad: Dentro del bosque (Figura 2.6) cuenta con una gran diversidad de flora y fauna, este espacio es caracterizado por la gran cantidad de aves y árboles como los Ceibos y la Teca.



Figura 2.5: Entrada de ESPOL



Figura 2.6: Biodiversidad

Infraestructura azul: El bosque cuenta con dos lagos, que uno de ellos es artificial con una superficie de 43.100 m^2 y un perímetro de 1.575 m . La profundidad es variada dependiendo del lugar, frente a los laboratorios Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción tiene una profundidad de 17 metros y el otro lago cerca de Admisiones *ESPOL* cuenta con 6,55 hectáreas, el cual tiene una profundidad de 20 *m*.

2.2.2 Sistema de monitoreo

La obtención de datos se hace a través de la API *OpenWeatherMap*, los cuales son indicadores climáticos históricos y actuales del bosque "*La Prosperina*". Dichos datos son capturados de fuentes como satélites, modelos y estaciones meteorológicas y se presentan en formato JSON, XML o HTML².

El primer paso del sistema es obtener los datos de los sensores virtuales, los cuales son descargados en formato JSON, para luego mediante una herramienta de análisis de datos visualizar la información de interés. El software donde se realizan los diagramas

²<https://openweathermap.org/current>

es Microsoft Power BI, este programa presenta toda la información obtenida de forma simple ³, lo cual permitirá realizar un análisis para determinar la influencia de las variables climáticas obtenidas del bosque protector "La Prosperina", y así proponer un plan de acción orientado a mitigar los efectos causados por los contaminantes. En la figura 2.7 se ilustra de forma general el procedimiento que se ha mencionado previamente.

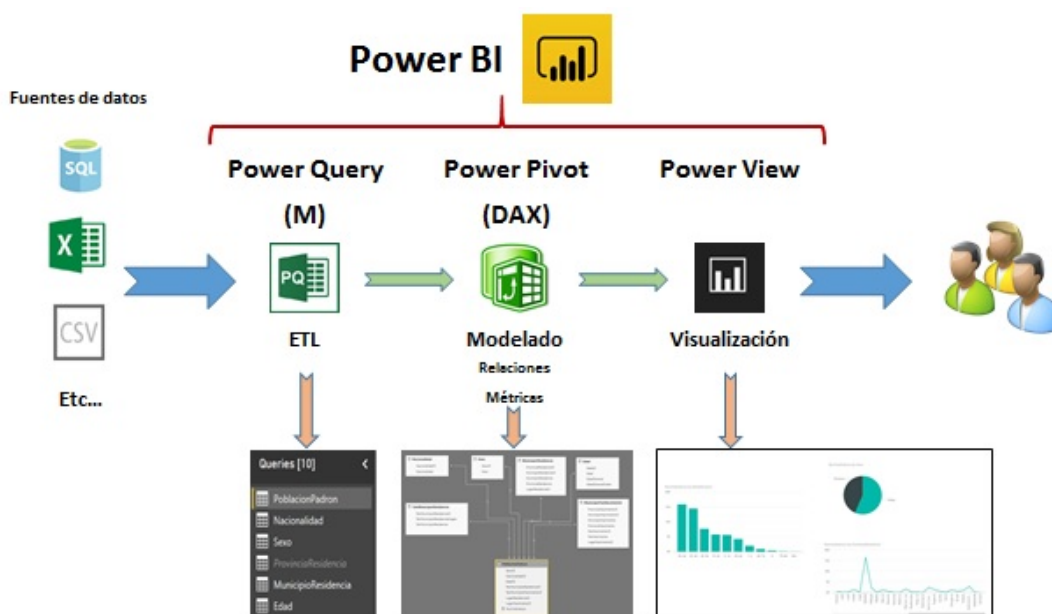


Figura 2.7: Esquema de funcionalidad de Power BI

El archivo JSON obtenido de la "AIR POLLUTION API" de *OpenWeatherMap* contiene información sobre la calidad del aire en un lugar concreto, incluyendo mediciones de diversos contaminantes atmosféricos.

El modelo de datos se describe en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Modelo de datos

| Campo | Descripción |
|------------------|--|
| Coordenadas | Ubicación(longitud, latitud) |
| Calidad del aire | Indicador de la calidad del aire |
| Componentes | Niveles de concentración de diversos contaminantes |
| Tiempo | Marca de tiempo de la medición |

El tamaño del dataset de contaminantes del aire que data desde la fecha y hora:

³<https://powerbi.microsoft.com/es-es/>

2020-11-25 01:00:00 hasta 2022-12-31 23:00:00 es de 2.517 KB. El cual contiene 18215 objetos que contienen los campos de calidad del aire, componentes y tiempo.

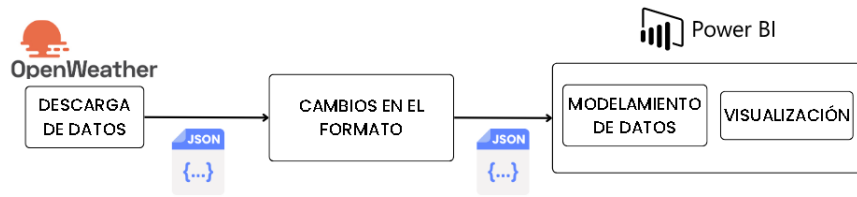


Figura 2.8: Esquema de funcionalidad de Power BI

El proceso del sistema de monitoreo mostrado en la figura 2.8 tiene las siguientes fases.

- *Obtención los datos:* Para obtener información sobre la calidad del aire a través de la API, se realiza una solicitud http de tipo *GET* utilizando lenguaje de programación Python, la estructura de esta solicitud es la siguiente:

```
http://api.openweathermap.org/data/2.5/air_pollution/history?
lat={latitud}&lon={longitud}&start={timestamp inicial}
&end={timestamp final}&appid={API key}
```

Como resultado la API devolverá los datos en formato JSON, por ejemplo:

```
{"coord": [76,100], "list": [{"dt": 1605182400, "main": {"aqi": 1},
"components": {"co": 201.94053649902344, "no": 0.01877197064459324,
"no2": 0.7711350917816162, "o3": 68.66455078125, "so2": 0.6407499313354492,
"pm2_5": 0.5, "pm10": 0.540438711643219, "nh3": 0.12369127571582794}}]}
```

- *Cambiar el formato de la marca de tiempo:* El formato de fecha y hora de los datos de la API no es el deseado para su análisis o visualización. Se utilizarán funciones de manipulación de cadenas en Python para convertir la marca de tiempo en un formato de fecha y hora. Para esto se tuvo que convertir los datos JSON en una estructura de datos, como un marco de datos pandas en Python para que pueda manipularse fácilmente.
- *Modelamiento y visualización:* Después de haber obtenido y reformateado los datos, se utiliza una herramienta de visualización de datos como Power BI para crear

perspectivas significativas a partir de los datos. En Power BI, puede crear un informe que visualice los datos de calidad del aire de varias formas, como gráficos de líneas, gráficos de barras, gráficos de dispersión, etc. También puede crear cuadros de mando interactivos que le permitan explorar los datos filtrándolos y profundizando en puntos de datos específicos.

2.2.3 Plan de acción

El plan de acción tiene tres etapas principales las cuales son: Desarrollo de infraestructura verde, gobernanza y continuidad; estas se efectúan en conjunto con el objetivo de mitigar la contaminación.

- Desarrollo de infraestructura verde: Reducir la contaminación del material particulado y ozono troposférico, además de aumentar la absorción de CO₂ diseñando una pared verde.
- Gobernanza: Las administraciones locales y funcionarios públicos nacionales deben promover proyectos, campañas y comunicación para dar a conocer los beneficios de la infraestructura verde y el cuidado ambiental a la comunidad.
- Continuidad: Monitoreo posterior a la implementación, seguimiento de los resultados obtenidos y actualizaciones a la infraestructura verde.

2.3 Criterios de inclusión y exclusión

En el desarrollo de esta investigación tenemos que tener en cuenta diferentes criterios para la inclusión y exclusión de actores que afectan directamente el estudio, para que se pueda cumplir de manera exitosa la metodología planteada. Presentando estos criterios de forma detallada a continuación.

2.3.1 Inclusión

- Flora y Fauna del bosque protector: Es la parte que es afectada por la contaminación que genera el impacto vial dentro del área.

- Estudiantes, trabajadores y moradores: Son las personas que intervienen dentro del ambiente del bosque, podrían ser como afectados o actores de contaminación.
- Sensores Virtuales de API: Es la tecnología que se va a usar para obtener los datos del clima dentro del bosque.
- Variables Meteorológicas: Es la información que se obtiene para ver una tendencia y crear un plan de acción.
- Contaminantes: El humo de los vehículos, el efecto de la temperatura por zonas grises y deforestación, son los actores que intervienen dentro del estudio.

2.3.2 Exclusión

- Otros bosques: La infraestructura verde se sugiere es específicamente para un espacio determinado, es decir, que no funcionaria de igual manera en un bosque diferente.
- Desastres Naturales: Estos eventos se presentan de manera aleatoria, lo cual no podríamos evaluar este punto.

2.4 Métricas de evaluación

La comparación de algunas variables meteorológicas que se obtiene de la API *OpenWeatherAPI* y los datos que se capturan desde el sensor físico de *ESPOL-GEA*, se realiza con el fin de obtener porcentajes de precisión de los valores obtenidos de la API, y a su vez verificar la confianza de los indicadores climáticos que se obtienen desde la API.

Para la realización de esta comparación se utilizará una fórmula para comprobar el porcentaje de error (PE) utilizando los valores de indicador (VI) de los sensores físicos y la API.

$$PE = \frac{VI_{GEA} - VI_{API}}{VI_{GEA}} \times 100 \quad (2.1)$$

En la ecuación 2.1, el porcentaje de error (PE) se calcula comparando los datos obtenidos por los sensores físicos en el sitio medido de manera real, que se consideran los datos reales o teóricos, con los valores experimentales obtenidos a partir de la API. Esta fórmula

se utiliza para evaluar la exactitud de los datos obtenidos por la API en comparación con los obtenidos en el sitio real. Se tomará en cuenta la incertidumbre de los sensores físicos el cual puede variar dependiendo del sensor, por ejemplo la precisión de lectura de un sensor *dht11* es de +/- 2 grados centígrados para temperatura y 5% para humedad ⁴. Los indicadores climáticos se dividen en dos partes, generales como temperatura, humedad, y de calidad del aire donde se encuentran PM2.5, PM10, ozono y óxidos de nitrógeno entre otros. Debido a que el sensor físico solo tiene datos del primer tipo de indicador, únicamente se realizará la evaluación con este tipo y el nivel de confianza que se obtenga de dicha evaluación se la tomará como validación de la precisión del otro grupo de indicadores. Para los indicadores de aire se realizará otra medición, en la cual se evaluará los umbrales en los que se encuentran y si afectan la salud de las personas y plantas en su estado actual. El ozono es el parámetro principal en la afectación de las áreas verdes por impacto vial, su efecto empieza a ser considerable cuando alcanza concentraciones de 40 partes por billón(ppb) o 80 µg/m³ durante el periodo de 6 meses con mayor concentración. También se tomará como referencia las recomendaciones de la OMS que se encuentran en la figura 2.11.

Tabla 2.2: Recomendaciones de calidad del aire de la OMS

| Contaminante | Tiempo Promedio | 2005 AQGs | 2021 AQGS |
|-----------------------------------|-----------------|-----------|-----------|
| PM2.5 µg/m ³ | Anual | 10 | 5 |
| PM10 µg/m ³ | Anual | 20 | 15 |
| O ₃ µg/m ³ | Peak Season | - | 50 |
| NO ₂ µg/m ³ | Anual | 40 | 10 |
| SO ₂ µg/m ³ | 24-Horas | 20 | 40 |
| CO µg/m ³ | 24-Horas | - | 4 |

Las variables contaminantes se detallan a continuación.

- CO: El monóxido de carbono (CO) se produce cuando las reacciones de combustión son incompletas, debido a la falta de oxígeno o a una mezcla deficiente. Todos los tipos de fuentes de combustión, como automóviles, centrales eléctricas, quemadores de residuos, calderas de gas domésticas y estufas, emiten monóxido de carbono. Aunque no es tóxico, el monóxido de carbono puede tener un impacto

⁴<https://datasheetspdf.com/pdf/785590/D-Robotics/DHT11/1>

temporal en el sistema respiratorio. Se une a los glóbulos rojos, bloqueando la absorción de oxígeno.

- NO_2 : La contaminación por óxidos de nitrógeno (NO_x) se produce cuando el combustible se quema a altas temperaturas, haciendo que el nitrógeno del aire dentro de la cámara de combustión se transforme en NO_x . Los gases de NO_x contribuyen al cambio climático, y, a la formación de ozono troposférico, que puede causar graves dificultades respiratorias.
- O_3 : El ozono troposférico es un gas nocivo que se crea a través de una compleja interacción química entre los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) cuando se expone a la luz solar. Se trata de un importante contaminante atmosférico que supone una amenaza tanto para la salud respiratoria humana como para el crecimiento de las plantas. Los niveles elevados de ozono troposférico pueden dañar el tejido pulmonar y provocar problemas respiratorios como tos, sibilancias y dificultad para respirar. También puede reducir la fuerza del sistema inmunológico, haciendo a las personas más susceptibles a las infecciones pulmonares. Para la vegetación, el ozono troposférico puede provocar un retraso en el crecimiento, reducir la producción de los cultivos y aumentar la vulnerabilidad a plagas y enfermedades. Además, puede hacer que las hojas envejecen prematuramente, cambien de color y mueran, afectando a la salud general y a la productividad del ecosistema.
- SO_2 : El dióxido de azufre es producido principalmente por la industria y puede provocar una serie de problemas de salud, entre ellos la formación de neblina en el ambiente, y es un componente en la formación de la lluvia ácida. Este contaminante puede dificultar la respiración, sobre todo a los asmáticos, y también puede ser perjudicial para ecosistemas delicados.
- PM: El material particulado (PM) es un término general utilizado para describir los contaminantes atmosféricos formados por partículas diminutas que flotan en el aire. Estas partículas pueden proceder de diversas fuentes de origen humano, como fábricas, centrales eléctricas, vehículos, incineradoras, polvo e incendios. El tamaño de las partículas puede oscilar entre 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) y 10 μm (PM_{10}). El impacto de las partículas en el sistema respiratorio depende de su tamaño.

CAPÍTULO 3

3. Aplicación de infraestructura verde

El diseño de una infraestructura verde conlleva una planificación, donde, se consideran diversos factores que deben relacionarse entre si para brindar resultados. Las etapas que se deben tomar en cuenta consisten en el reconocimiento de los servicios ecosistémicos que proveen los diferentes tipos de áreas verdes, así pues se tiene escenarios en los cuales la naturaleza puede funcionar mejor en una configuración u otra, dicho de otra manera las áreas verdes tienen de una a varias funciones y su capacidad de brindar un beneficio al ambiente, personas y animales dependen de como esta conformada. Por consiguiente, el análisis de las variables ambientales es otra etapa en la planificación debido a que se busca mejorar la calidad del medio en el cual se va a emplear el diseño, con motivo de tener una referencia se puede ver hacia atrás por medio de APIs meteorológicas, mediciones locales o índices históricos de mediciones del clima en el intento de recuperar lo que se ha perdido por actividades antrópicas. Finalmente la ultima etapa en el desarrollo de una infraestructura verde es el plan de acción el cual utilizará las métricas de las etapas anteriores (áreas verdes y variables ambientales) con el fin de establecer la mejor construcción posible para el sector donde la infraestructura gris y asentamientos ha afectado el ecosistema. La invasión de empresas y colegios dentro del bosque, creo un impacto muy fuerte para el crecimiento de flora dentro del sector, las partículas de polvo y emisión de carbono de los motores de combustión de carros y buses han degenerado el área, como se puede observar la flora es notable dentro del sector, por lo tanto una correcta ejecución de un plan de acción para este problema seria favorable para las próximas generaciones.

3.1 Identificación del área



Figura 3.1: Entrada ruta CEIBOS-ESPOL Junio-2012

La Figura 3.1 muestra la cantidad de área verde que había antes de la urbanización en el sector de la entrada a la *ESPOL*. Las únicas infraestructuras existentes eran el colegio *Balandra - Cruz del Sur* y el centro de datos de *TELCONET* en el perímetro de la ruta *CEIBOS-ESPOL*.



Figura 3.2: Entrada ruta CEIBOS-ESPOL Noviembre-2022

La figura 3.2 muestra la construcción de nuevos asentamientos empresariales y

residenciales, la construcción de un redondel y una avenida de ingreso a un complejo empresarial.

Todos estos proyectos de construcción traen como consecuencia una mayor afluencia de personas y tráfico vehicular, a su vez, no se observa una compensación ambiental del área verde removida.

3.2 Análisis de datos

La obtención de los datos se la llevo a cabo utilizando la ubicación determinada por longitud -79.9519 y latitud -2.1535, que corresponde a la zona de interés, para las variables de contaminación del aire se tomo desde la fecha inicial más antigua permitida por la API hasta el final del año 2022, mientras que para las variables meteorológicas se tomo desde el año 2000 hasta Noviembre de 2022.

La figura 3.3 muestra que la concentración de dióxido de nitrógeno ha superado el nivel recomendado por la OMS (se indica con la línea segmentada horizontal de color rojo) y va en aumento cada año. Como ya se ha mencionado anteriormente este contaminante puede afectar a la salud de las personas, y, también es precursor en la formación de otro contaminante como el ozono troposférico que afecta a la flora del medio ambiente.

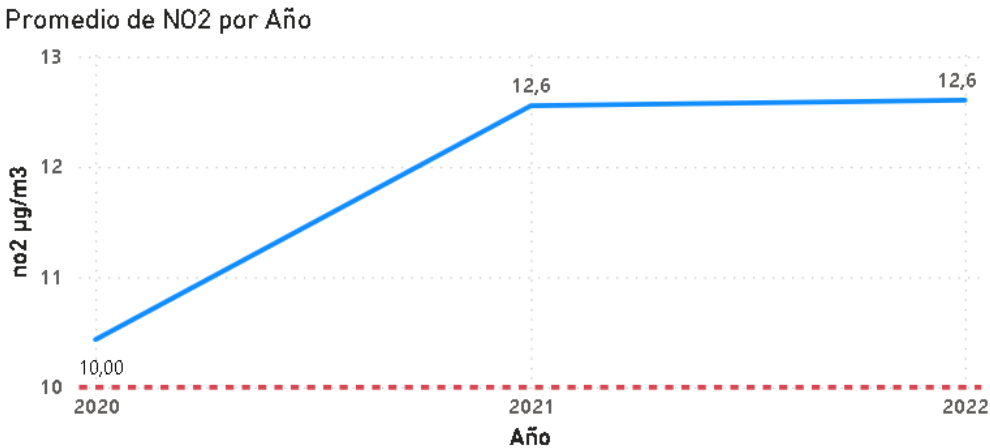


Figura 3.3: Indicador de concentración anual de dióxido de nitrógeno

La figura 3.4 junto a la figura 3.5 muestra que la concentración de material particulado supera el límite de la OMS en un margen más amplio que el NO₂, además, se observa una tendencia en aumento cada año. Este indicador afecta a los órganos de las personas

y también puede afectar a la vegetación de forma debido a que altera la composición natural del suelo. [30].

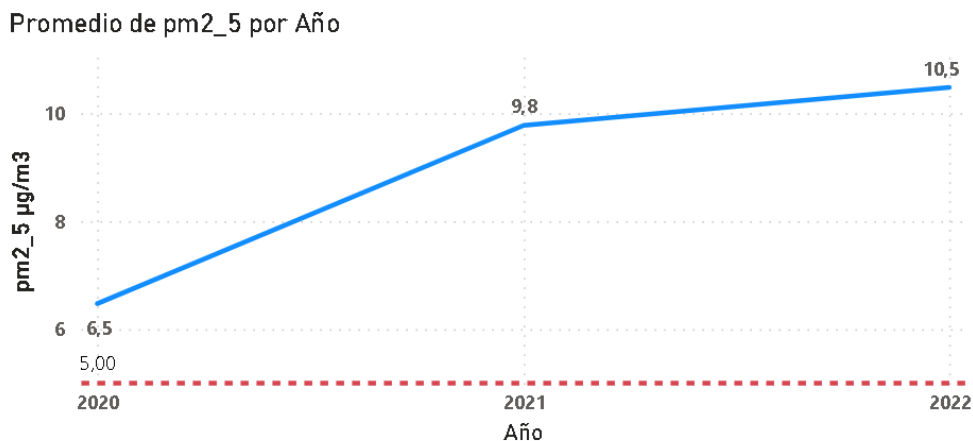


Figura 3.4: Indicador de concentración anual de material particulado 2.5

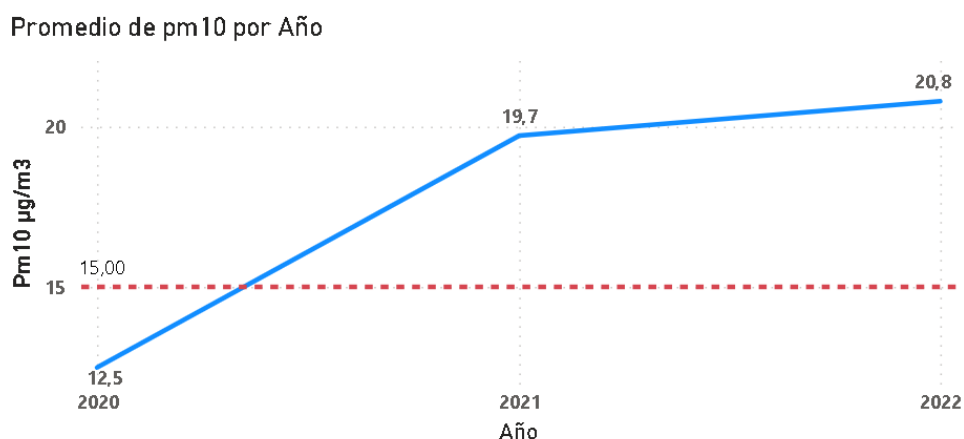


Figura 3.5: Indicador de concentración anual de material particulado 10

La OMS indica en la tabla 2.2 que el SO_2 es un contaminante que debe medirse cada 24 horas, por ende, se filtran los datos por día y mes. En el mes de Marzo se rebasa el umbral recomendado como se muestra en la figura 3.7, donde en el año 2022 sucedió más veces que en el 2021, otros meses como Enero (figura 3.6) y Junio (figura 3.8) se mantuvo por debajo del umbral.

El ozono troposférico (figura 3.9) se mide de un intervalo de 8 horas diaras donde la concentración sea máxima en los 6 meses consecutivos donde fue mayor. Esa es la temporada pico. En la figura 3.9 se colocó dos umbrales limitantes, la primera es el de la de la OMS que como se muestra se sobrepasa en 6 meses consecutivos lo que conlleva

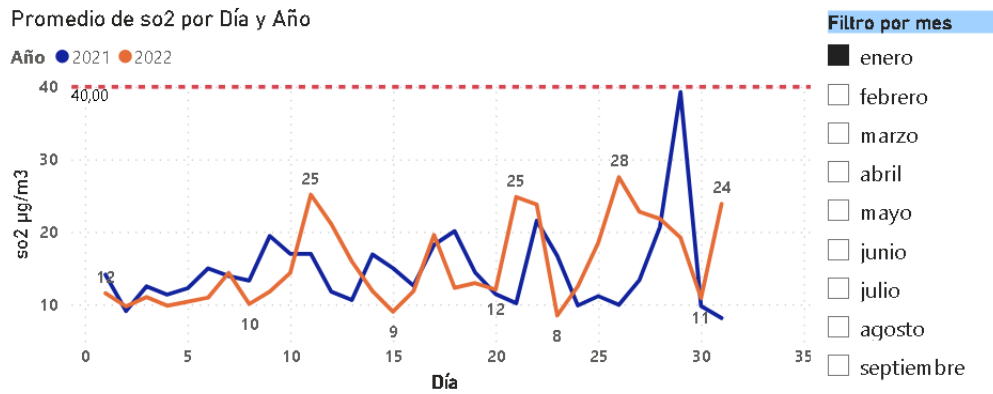


Figura 3.6: Indicador de concentración diaria de dióxido de azufre en Enero

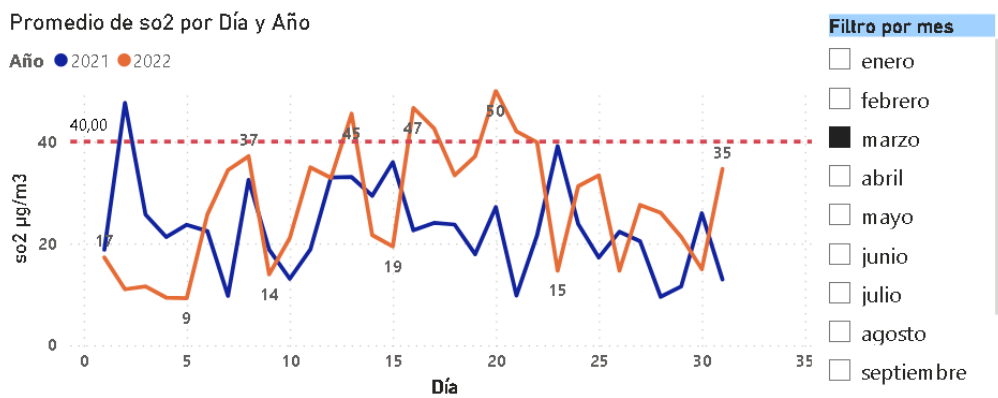


Figura 3.7: Indicador de concentración diaria de dióxido de azufre en Marzo

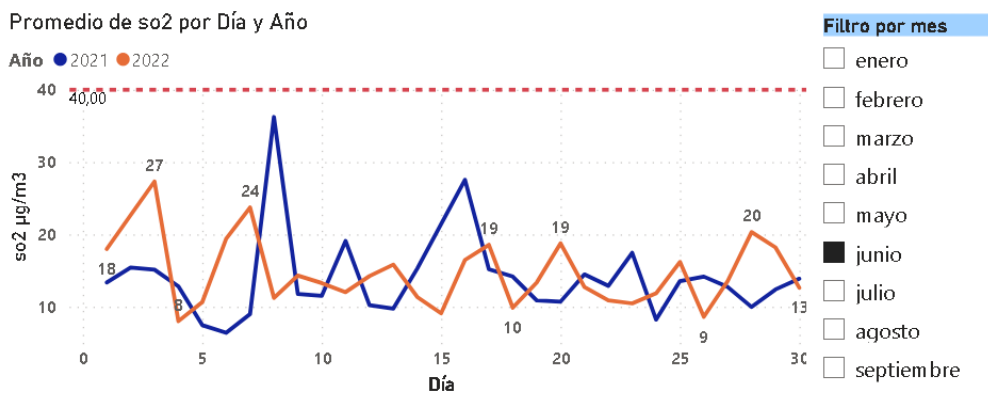


Figura 3.8: Indicador de concentración diaria de dióxido de azufre en Junio

a que el contaminante afecta a las personas. El segundo umbral no lo alcanza, lo cual quiere decir que el ozono troposférico esta lejos de afectar la vegetación.

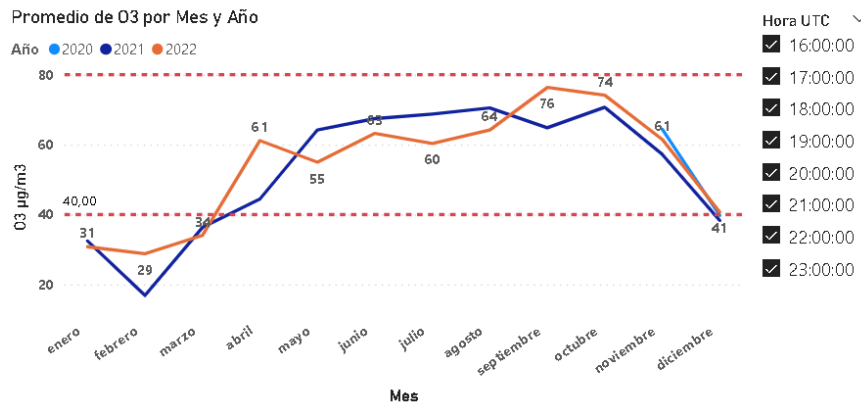


Figura 3.9: Indicador de concentración de ozono troposférico en temporada pico

El CO es el contaminante menos tóxico, como se muestra en la figura 3.10 su concentración en el ambiente esta lejos de ser un problema para la salud de las personas al nivel que se encuentra actualmente, este es el único contaminante que no ha sobrepasado el umbral de la OMS.

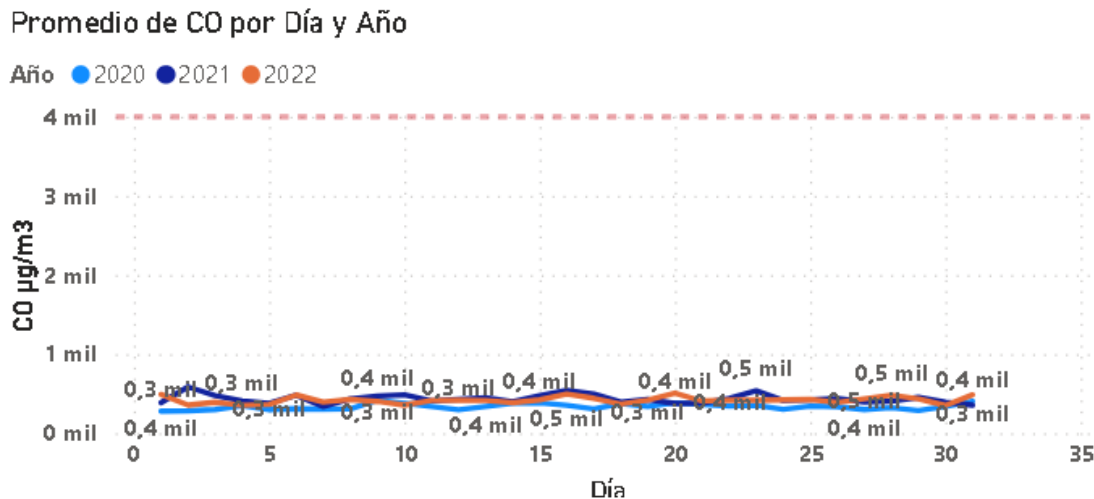


Figura 3.10: Indicador de concentración diaria de CO

La temperatura cambia por el cambio de estación que tiene Ecuador, como podemos ver en la figura 3.10, el verano tiene un índice elevado de temperatura que llega hasta los 310 K, por lo tanto son las épocas más secas del bosque debido a que el agua dentro de la superficie se evapora, el impacto vial en esta época del año afecta de manera considerable a las plantas debido a que el hormigón o asfalto conservan más tiempo el calor, por lo que causa que la sensación térmica dentro del bosque aumente.

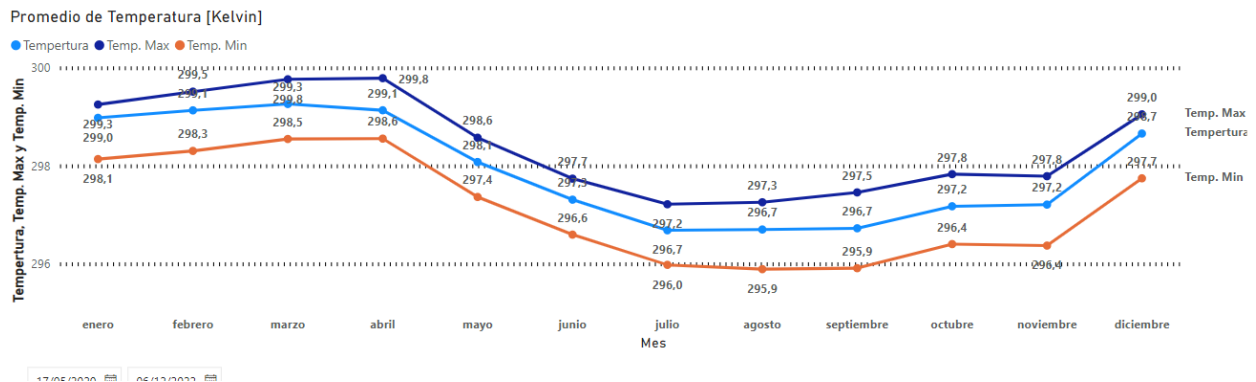


Figura 3.11: Indicador de cambio de temperatura en los meses

3.3 Plan de Acción

Se creo un plan de acción para mitigar la contaminación creada por las áreas grises, analizando los indicadores de contaminación . Para poder plantear de manera efectiva las soluciones a estos problemas, nos enfocamos en el desarrollo de las siguientes etapas.

3.3.1 Infraestructura verde

La avenida *CEIBOS-ESPOL* es una vía de tráfico importante en la ciudad y su uso frecuente ha causado un impacto negativo no solo en la calidad de vida de las personas, sino también en el bosque protector "*La Prosperina*" que se encuentra en sus cercanías. La emisión constante de gases contaminantes y el ruido generado por los vehículos han afectado la flora y fauna del bosque, lo que a su vez, tiene un impacto directo en el equilibrio ecológico de la zona.

La construcción de un muro de setos en la avenida *CEIBOS-ESPOL* podría ser una solución efectiva para reducir el impacto vial y mejorar la calidad de vida tanto de las personas como del ecosistema que rodea la vía. Esta solución no solo tiene un impacto estético positivo, sino que también tiene importantes beneficios ambientales.

La implementación de un muro de setos, como se muestra en la figura 3.12, podría ayudar a reducir la contaminación del aire al absorber parte de los gases emitidos por los vehículos y filtrar las partículas de polvo. Además, los setos actúan como barreras acústicas, disminuyendo el ruido generado por el tráfico vehicular y mejorando así la calidad del ambiente sonoro en la zona.

Hay que tomar en cuenta que la construcción debe ser inmune al fuego, debido a que



Figura 3.12: Muro de setos

actividades humanas inapropiadas como tirar un cigarrillo encendido pueden quemar toda la infraestructura, para ello la construcción debe estar compuesta por vegetación con la capacidad de resistir al riesgo de incendio.

El algarrobo es una especie nativa del bosque protector ¹ que ofrece múltiples beneficios ambientales, especialmente para reducir la contaminación del aire al absorber grandes cantidades de contaminantes. Sin embargo, para mejorar aún más la infraestructura verde, se puede combinar el seto de algarrobo con el ciprés, una especie resistente al fuego ² y capaz de absorber también contaminantes. Esta combinación de especies no solo ayuda a proteger el entorno natural, sino que también contribuye a crear una comunidad más sostenible y diversa. Así, la combinación de setos de algarrobo y cipreses puede proporcionar beneficios significativos tanto para la calidad del aire como para la protección contra incendios forestales.

¹<http://www.bosqueprotector.espol.edu.ec/biodiversidad>

²https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/08/150827_cipres_incendios_enigma_am

3.3.2 Gobernanza

Los elementos clave para garantizar un proceso de gobernanza efectivo para la infraestructura verde en el bosque protector "*La Prosperina*" son la participación de la comunidad, la coordinación entre los diferentes actores y la comunicación efectiva. Estos elementos están estrechamente relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 15³ y 17⁴. El ODS 15 busca proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, incluyendo los bosques, lo que hace esencial la participación de la comunidad y la coordinación entre los diferentes actores para garantizar la gestión y el mantenimiento sostenible de la infraestructura verde. Por su parte, el ODS 17 busca fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible, donde la comunicación efectiva y la coordinación entre los diferentes actores son fundamentales para establecer alianzas y colaboraciones sólidas. Esto permitirá abordar los desafíos de la gobernanza de la infraestructura verde en el bosque protector "*La Prosperina*" y garantizar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

Cuando se trata de la implementación de un proyecto de infraestructura verde, la definición clara de roles es crucial para garantizar que todas las partes interesadas comprendan sus responsabilidades y trabajen juntas para lograr los objetivos.

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) , cuya misión es proteger los recursos naturales y hídricos a través de una gestión ambiental efectiva que involucre a diferentes organizaciones y a la ciudadanía⁵, y la *ESPOL*, donde se ha estado llevando a cabo proyectos para proteger y mejorar la biodiversidad del bosque protector "*La Prosperina*" durante más de veinte años, según palabras del vicerrector académico, Paúl Herrera,⁶ , serían los responsables de liderar la implementación de la infraestructura verde, en la cuál se han identificado los siguientes roles y responsabilidades.

- MAATE y *ESPOL*: La *ESPOL* y el ministerio trabajarán juntos para establecer los objetivos del proyecto, identificar los recursos necesarios y establecer un plan de trabajo detallado. La *ESPOL* puede proporcionar asistencia técnica para la selección de plantas, personas y la preparación del sitio, así como para la supervisión de la construcción del muro de setos.

³<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>

⁴<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/globalpartnerships/>

⁵<https://www.ambiente.gob.ec/valores-mision-vision/>

⁶<https://www.espol.edu.ec/noticias/el-bosque-protector-la-prosperina-fue-escenario-del-primer-siembraton-del-2022>

- Comunidad local: La comunidad local, estudiantes y colaboradores, será responsable de promover y apoyar la implementación. También deberá estar informada y actualizada sobre el proyecto y sus objetivos.

3.3.3 Continuidad

Una de las principales deficiencias de los proyectos de infraestructura verde es la falta de supervisión y evaluación posterior para medir los resultados de los servicios ecosistémicos y las funciones que supuestamente proporcionan. Para que la infraestructura verde tenga un impacto positivo, se requieren inversiones, gestión y actualizaciones frecuentes, y los organismos responsables deben estar dispuestos a proporcionar información actualizada sobre sus objetivos, logros y perspectivas en relación con los espacios verdes. Por lo tanto, los planes de infraestructura verde deben incluir un sistema de seguimiento bien definido o informes periódicos que muestren la evolución de los proyectos verdes previstos.

La adquisición de datos meteorológicos precisos y actualizados a través de una API especializada es esencial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la infraestructura verde. Estos datos pueden ser analizados para evaluar el éxito del proyecto y determinar si se necesitan ajustes o mejoras adicionales para mantener el rendimiento y la funcionalidad de la infraestructura en línea con los objetivos.

3.4 Análisis de mercado

El análisis mediante una encuesta identifico oportunidades y desafíos en el mercado para la implementación de infraestructura verde, así como evaluar la viabilidad económica de este tipo de proyectos. Se realizo un análisis de mercado efectivo, donde consideramos diferentes aspectos como la situación actual del mercado, las tendencias futuras, los actores clave, la regulación y la normativa, los recursos disponibles, la infraestructura existente, entre otros.

- **Mercado objetivo:** Nuestro mercado objetivo principal para la implementación de infraestructura verde son el bosque protector *"La Prosperina"* y las empresas que se encuentran dentro del bosque. Sin embargo, también consideramos a otros bosques como motivo para potenciales clientes que puedan estar interesados en integrar elementos verdes en sus infraestructuras y mejorar su impacto ambiental. Podemos ver una tendencia de interés de una empresa con una demanda creciente por soluciones sostenibles dentro de la ciudad de Guayaquil y estamos comprometidos a ofrecer soluciones innovadoras y efectivas para abordar los desafíos ambientales.

¿ Estaria de acuerdo con la implementacion de proyectos de Infraestructura verde para el Bosque Protector "La Prosperina" ?
42 respuestas

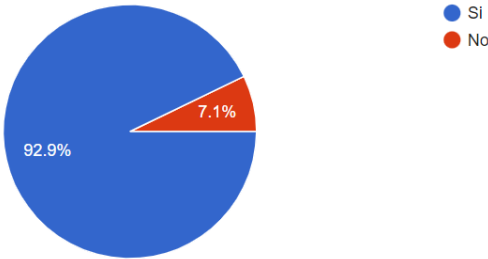


Figura 3.13: Respuesta de Encuestas a usuarios Pregunta 7

Toda empresa dentro de guayaquil es un pontencial cliente para empresas que comiencen a implementar infraestructuras verdes para minimizar los daños ecológicos que mantiene la ciudad, como se puede visualizar dentro de la Figura 3.4, las personas que viven dentro de Guayaquil no cuentan con una estructura que minimice los problemas ecologicos como lo son la temperatura elevada en verano

e inundaciones en invierno.

- **Competencia:** En el mercado actual de la implementación de infraestructura verde, se encuentra una escasa cantidad de empresas que brindan este servicio. La mayoría de las empresas que se dedican a este sector están enfocadas en la construcción de estructuras urbanas y no tienen un enfoque específico en la implementación de infraestructura verde en zonas verdes como bosques y dentro de estructuras urbanas dentro de las ciudades.

Este hecho representa una oportunidad única para las empresas, ya que nos permitirá establecernos como líderes en el mercado y ofrecer soluciones innovadoras a nuestros clientes del sector público y privado. Además, la demanda por soluciones sostenibles y la concientización sobre la importancia de preservar los bosques y su impacto en el medio ambiente está en constante aumento, lo que representa una oportunidad aún mayor para expandir nuestro alcance en el mercado.

- **Demanda:** La necesidad de soluciones sostenibles para enfrentar los problemas ambientales y urbanos ha llevado a un aumento en la demanda de infraestructuras verdes en todo el mundo. La infraestructura verde se destaca como una alternativa innovadora que ofrece varias soluciones eco sistémicas en lugar de una sola solución de implementación. Como visualizamos una tendencia dentro de la figura 3.16 .

¿ Estaria de acuerdo con la implementacion de proyectos de Infraestructura verde para el Bosque Protector "La Prosperina" ?

42 respuestas

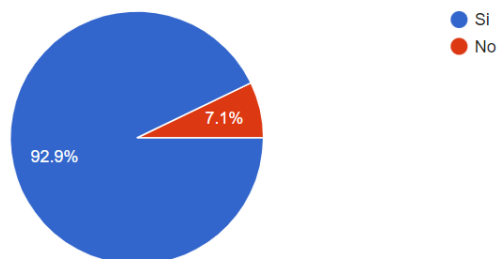


Figura 3.14: Respuesta de Encuestas a usuarios Pregunta 7.

Como se visualiza en la Figura 3.6, la demanda se considera alto debido a que existe un nivel aceptación mayor al 90% para implementar la infraestructura verde

Tabla 3.1: Tabla de Costos de materiales

| Implementación de Muro de Cetos | | | | |
|---------------------------------|---------------|----------|----------------|---------------|
| Unidad | Descripción | Cantidad | Costo Unitario | Costo Parcial |
| Ud | Aligustre | 4,000 | 0,53 | 2,12 |
| kg | Abono mineral | 1,500 | 0,88 | 1,32 |
| m ³ | Agua. | 0,020 | 1,76 | 0,04 |
| Subtotales : | | | | 3,48 |

Tabla 3.2: Tabla de Costos de Equipo

| Unidad | Descripción | Cantidad | Costo Unitario | Costo Parcial |
|------------|---------------------|----------|----------------|---------------|
| h | Mini pala cargadora | 0,110 | 38,12 | 4,19 |
| h | Camion | 0.70 | 40.24 | 4.30 |
| Subtotal : | | | | 8,49 |

en el bosque protector *"La Prosperina"*, es decir, que la soluciones climáticas son un modelo de negocio demandante en este siglo.

- **Costos:** Para la implementación de la infraestructura verde, el proceso de evaluación de costos es crucial para determinar la viabilidad y la rentabilidad de un proyecto de este tipo. Este análisis implica la identificación y el cálculo de los costos directos e indirectos asociados con la planificación, construcción, operación y mantenimiento del muro de cetos. Los costos incluyen materiales, mano de obra, equipo, transporte, permisos, impuestos y otros gastos relacionados con el proyecto, como lo podemos visualizar en las siguientes tabla 3.1 y tabla 3.2

Considerando que la distancia entre la entrada a ESPOL en el colegio Copol y la Urb. Colinas de CEIBOS es de 1000 m, y asumiendo que el costo por metro cúbico es de \$14.21, se estima que la inversión total sería de \$14.210.

Es importante tener en cuenta los costos a largo plazo, en particular durante los primeros 10 años. En este sentido, el mantenimiento diario del muro de cestos ascendería a \$10.21. Si se mantiene este costo constante durante un año, el mantenimiento del muro de cestos alcanzaría un costo total de \$3726.65

Tabla 3.3: Tabla de Costos de Mano de obra

| Unidad | Descripción | Cantidad | Costo Unitario | Costo Parcial |
|------------|-----------------|----------|----------------|---------------|
| h | Jardinero. | 0,098 | 8,84 | 0,87 |
| h | Peón jardinero. | 0,307 | 5,45 | 1,67 |
| Subtotal : | | | | 2.54 |

Tabla 3.4: Tabla de Costos de total

| Unidad | Descripción | Cantidad | Costo toall |
|----------|---------------|----------|-------------|
| M cubico | Material. | 1 | 3.48 |
| M cubico | Equipo. | 1 | 8.49 |
| M cubico | Mano de obra. | 1 | 2.54 |
| Total : | | | 14.21 |

El costo de inversión y mantenimiento evaluado en un año tendría el valor de \$13936.65.

- **Rentabilidad** : La rentabilidad dentro de implementaciones ecológicas tiene medidas calculables e incalculables, por que son proyectos que depende de factores que las personas o empresas no pueden controlar, como lo son desastres naturales o accidentes de peligro ecológico.

No se puede contabilizar la restauración de la flora y fauna en una zona debido que es incalculable por que son un aspecto clave en la protección y preservación de los ecosistemas naturales, para garantizar un futuro sostenible para el medio ambiente y futuras generaciones.

Debido a que es un proyecto a largo plazo, la rentabilidad del proyecto se basa en la recuperación económica en un lapso de 5 años, donde tomamos en cuenta estas variables aproximadas con al menos una.

El valor total de gastos al mes que podría tener una empresa es de \$175 por un solo empleado, tomando como ejemplo una base de 100 personas de una empresa grande, el gasto ahorrado por mes seria \$ 17500 que al año alcanzaría

Tabla 3.5: Tabla de gastos por mes

| Descripción | Costo |
|----------------------------|--------------|
| Citas médicas | \$20 |
| Tratamiento y medicinas | \$35 |
| Cuidado de infraestructura | \$20 |
| Evitar pérdidas de trabajo | \$100 |
| Total | \$175 |

a \$210000, teniendo en cuenta estos valores, el retorno de material invertido son implementación que resultan beneficiosas tanto a la persona.

3.5 Pruebas de rendimiento

Las pruebas de rendimiento como se comentó en la sección 2.4 será la comparación de las medidas obtenidas por la API con respecto al sensor físico.

Tabla 3.6: Comprobación de error de temperatura (c)

| Fecha y hora | API | Sensor | % Error |
|-----------------|-------|--------|---------|
| 1/1/2022 0:00 | 23.61 | 24 | 1.62 |
| 13/2/22 19:00 | 27.43 | 26 | 5.5 |
| 10/4/2022 17:00 | 28.6 | 30 | 4.9 |
| 22/5/22 12:00 | 26.68 | 27 | 1.19 |
| 7/7/2022 15:00 | 25.5 | 26 | 1.92 |
| 31/7/22 10:00 | 23.54 | 24 | 1.91 |
| 5/3/2022 14:00 | 30.74 | 30 | 2.47 |
| 20/6/22 2:00 | 26.58 | 27 | 1.56 |

En una muestra aleatoria de 8 mediciones, 5 están por debajo del 2% de error, como se indica en la tabla 3.1. Este rango de error está dentro del intervalo aceptable definido en el capítulo 2, en la sección de métricas de desempeño. En contraste, en la tabla 3.2, solo 3 mediciones caen dentro del umbral del 2%. Es importante destacar que existe una relación entre los errores de ambas comparaciones, ya que las mediciones con los

Tabla 3.7: Comprobación de error de humedad (%)

| Fecha y hora | API | Sensor | % Error |
|---------------------|------------|---------------|----------------|
| 1/1/2022 0:00 | 83 | 84 | 1.19 |
| 13/2/22 19:00 | 82 | 89 | 7.86 |
| 10/4/2022 17:00 | 72 | 76 | 5.26 |
| 22/5/22 12:00 | 77 | 78 | 1.28 |
| 7/7/2022 15:00 | 75 | 78 | 4 |
| 31/7/22 10:00 | 81 | 82 | 1.22 |
| 5/3/2022 14:00 | 71 | 74 | 4.05 |
| 20/6/22 14:00 | 74 | 77 | 3.90 |

errores más pequeños en la tabla 3.2 coinciden con las mediciones con los errores más pequeños en la tabla 3.1.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo, se presenta el análisis de resultados de una solución climática aplicada en el bosque protector "*La Prosperina*" y se demuestra cómo se lograron cumplir los objetivos principales y secundarios establecidos en la sección 1.4 del capítulo 1. Además, se proporcionan recomendaciones para la implementación y evolución de infraestructuras verdes, y se discuten posibles trabajos e innovaciones futuras para mejorar o implementar soluciones climáticas dentro de las infraestructuras.

4.1 Conclusiones

Mediante el análisis de variables contaminantes y el uso de imágenes satelitales, se pudo identificar el área más afectada dentro del bosque protector "*La Prosperina*". Este hallazgo permitió establecer un área prioritaria para la implementación de medidas de ayuda climática, específicamente en la ruta *CEIBOS-ESPOL*. En los últimos años, esta zona ha experimentado cambios significativos, como la construcción de nuevas empresas, la ampliación de vías y la creación de un redondel, lo que la convierte en un área crítica en términos de impacto ambiental. En consecuencia, se recomienda que se implementen medidas urgentes para proteger y restaurar esta zona.

El análisis de los datos indica una creciente de los indicadores contaminantes en la vía, lo que permite crear conciencia en las personas y autoridades para implementar una infraestructura verde que mitigue la contaminación.

Luego de analizar las gráficas de los contaminantes NO_2 , CO , O_3 y material particulado, se concluyó que la implementación de un plan de acción, como la construcción de un muro de setos en la ruta *CEIBOS-ESPOL*, tendría beneficios significativos. Entre ellos, se destaca la reducción de la temperatura en los periodos más

calurosos, como el verano, y la disminución del impacto directo de los contaminantes en transeúntes, como estudiantes y trabajadores del sector.

La incorporación de infraestructura verde puede brindar múltiples beneficios, incluida la reducción del riesgo de incendio, la mejora del hábitat de la vida silvestre y de la estética general de un paisaje. Es importante elegir especies de plantas que se adapten bien al clima local y las condiciones del suelo para asegurar su éxito y maximizar sus beneficios.

4.2 Recomendaciones

Tomando en cuenta los resultados obtenidos a través de la investigación realizada, se pueden considerar muchos puntos a mejorar dentro de la infraestructura propuesta, en los cuales se detalla a continuación:

- La selección de un área de evaluación adecuada es esencial para abordar con eficacia los problemas ecológicos en una región y ofrecer servicios ecosistémicos a los usuarios del sector. Para garantizar la protección y conservación del ecosistema en su conjunto, es fundamental elegir una zona que permita abordar las variables que contaminan la biodiversidad y afectan a seres vivos, incluyendo plantas, animales y personas. Por lo tanto, la elección de un área adecuada es clave para el éxito de las medidas que se tomen para abordar los problemas ecológicos en una región.
- La planificación detallada es esencial para la implementación exitosa de cualquier tipo de infraestructura verde en bosques o ciudades, ya que permite al sector público o privado llevar a cabo un análisis de costos y rentabilidad, así como estudiar las condiciones climáticas y propiedades del suelo en el área de implementación. Este enfoque integral permite a los tomadores de decisiones evaluar los costos, beneficios y riesgos de la infraestructura verde, así como garantizar que se adapte de manera efectiva a su entorno para cumplir sus objetivos de mejora ambiental y social. Por lo tanto, una planificación cuidadosa y exhaustiva es fundamental para el éxito de cualquier proyecto de infraestructura verde en bosques o ciudades.
- En Ecuador y en toda Latinoamérica, el desconocimiento del concepto de infraestructura verde ha llevado a muchas empresas a enfocarse en infraestructuras

grises que no consideran el impacto en la naturaleza y en los ecosistemas. Para solucionar este problema, es fundamental establecer alianzas estratégicas con compañías y constructoras que tengan un amplio conocimiento en infraestructuras verdes, lo que permitiría una mejor comprensión y aplicación de estas soluciones en la región. Además, la colaboración con expertos en infraestructura verde podría ayudar a reducir la brecha de conocimiento en el sector, promover prácticas sostenibles y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región. Por lo tanto, la creación de alianzas estratégicas es una recomendación importante para impulsar el desarrollo y la implementación efectiva de infraestructuras verdes en la región.

- El monitoreo y mantenimiento continuo de la infraestructura verde es crítico para asegurar su efectividad a largo plazo. Aunque los efectos de los cambios en las variables climáticas no son siempre inmediatamente visibles y las catástrofes climáticas no se pueden controlar, el monitoreo constante de la infraestructura permite detectar y evaluar rápidamente cualquier impacto y realizar las acciones necesarias para minimizar los daños. Además, el monitoreo puede ayudar a identificar problemas de manera temprana y realizar ajustes necesarios para mejorar la eficiencia y la efectividad de la infraestructura verde. En resumen, el monitoreo y mantenimiento continuo son esenciales para garantizar la sostenibilidad y la eficacia de la infraestructura verde a largo plazo.
- En un proyecto de investigación, ChatGPT puede ser una herramienta valiosa para obtener información precisa y completa de diversas fuentes. Como modelo de lenguaje entrenado en grandes conjuntos de datos, ChatGPT tiene la capacidad de analizar, sintetizar y comprender información de una variedad de temas y generar respuestas precisas a una amplia gama de preguntas. Con su ayuda, los investigadores pueden ahorrar tiempo y mejorar la calidad de su trabajo, lo que puede llevar a mejores resultados en la investigación

4.3 Líneas Futuras

En esta sección del capítulo 4 vamos a realizar una pequeña descripción de las futuras implementaciones que se puede realizar dentro del bosque protector "*La Prosperina*".

- **Sensores Físicos :**

La incorporación de sensores físicos en un muro de setos es una medida altamente efectiva para mejorar la eficacia y el rendimiento de la infraestructura verde. Estos sensores pueden monitorear y recopilar información valiosa sobre el clima, la humedad, la calidad del aire y otros factores ambientales críticos con mayor precisión. Con esta información, se pueden ajustar la gestión y mantenimiento del muro de setos para asegurarse de que cumpla con sus objetivos de reducir el impacto vial y proteger el medio ambiente. Además, los sensores pueden utilizarse para detectar y reportar cualquier problema o desviación que pueda afectar la eficacia del muro de setos, lo que permite una acción rápida y efectiva para garantizar que la infraestructura verde funcione de manera óptima.

- **Publicidad :**

Colocar publicidad ecológica puede aumentar la visibilidad y la conciencia entre el público, el cual puede ser una fuente de ingresos invertible, ya que se podrían utilizar para gastos de mantenimiento del muro de setos. Además de ser una oportunidad para las empresas dentro del sector de mejorar la imagen de su empresa dando como mensaje compromiso con la sostenibilidad y el medio ambiente, también podría realizar alianzas estratégicas con otras empresas que tengan la misma misión de mejorar las infraestructuras que dañan el medio ambiente

- **Paso peatonal para animales:**

La implementación de un paso peatonal ecológico para animales, como se observa en la figura 4.1, es una implementación de infraestructura verde importante para reducir el impacto vial en la fauna silvestre y su hábitat, dentro del bosque protector "*La Prosperina*" tiene infraestructuras de colegios, empresas y avenidas que lo atraviesan, lo cual suele suceder que animales silvestres invaden las avenidas pudiendo ocasionar colisiones y otros desastres. Este tipo de infraestructura ayuda



Figura 4.1: Puente peatonal para animales

a los animales a cruzar de manera segura y eficiente las avenidas, lo que reduce la fragmentación del hábitat. Además, el uso de materiales ecológicos y la integración de los pasos con el paisaje natural pueden contribuir a la restauración y preservación de los ecosistemas naturales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Kouro, M. A. Perez, J. Rodriguez, A. M. Llor, and H. A. Young, “Model predictive control: Mpc’s role in the evolution of power electronics,” *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 9, no. 4, pp. 8–21, 2015.
- [2] F. Morante-Carballo, L. Bravo-Montero, P. Carrión-Mero, A. Velastegui-Montoya, and E. Berrezueta, “Forest fire assessment using remote sensing to support the development of an action plan proposal in ecuador,” *Remote Sensing*, vol. 14, no. 8, p. 1783, 2022.
- [3] T. Paz-Ramírez and J. A. Salas, “Evaluación de tres bosques protectores periurbanos del cantón guayaquil (guayas, ecuador) como potenciales áreas de importancia para la conservación de murciélagos: Evaluation of three periurban protectors forests from guayaquil (guayas, ecuador) as potential important areas for bat conservation,” *Mammalia aequatorialis*, vol. 1, pp. 31–41, 2019.
- [4] F. Proaño and F. Ortiz, “Plan de acción redd+ ecuador,” 2015.
- [5] A. Traveset, “La importancia de los mutualismos para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas insulares,” *Revista Chilena de Historia Natural*, vol. 72, pp. 527–538, 1999.
- [6] T. A. Asato, H. R. Marques, R. M. Buzarquis, and P. P. Borges, “Perspectivas da economia criativa e do desenvolvimento local no corredor bioceânico,” *Interações (Campo Grande)*, vol. 20, pp. 193–210, 2019.
- [7] R. M. Biere Arenas, J. Roca Cladera, *et al.*, “Plataforma de prevención y recuperación de catástrofes naturales. los terremotos una oportunidad de transformación y recuperación del medio construido y natural en chile y méxico,” 2010.
- [8] A. Depicker, B. De Baets, and J. M. Baetens, “Wildfire ignition probability in belgium,” *Natural hazards and earth system sciences*, vol. 20, no. 2, pp. 363–376, 2020.

- [9] T. Matthews, A. Y. Lo, and J. A. Byrne, "Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers to adoption and drivers for uptake by spatial planners," *Landscape and urban planning*, vol. 138, pp. 155–163, 2015.
- [10] Z. Aguirre, L. P. Kvist, and O. Sánchez, "Bosques secos en ecuador y su diversidad," *Botánica económica de los Andes Centrales*, vol. 2006, pp. 162–187, 2006.
- [11] M. J. Nieuwenhuijsen, "Green infrastructure and health," *Annual Review of Public Health*, vol. 42, pp. 317–328, 2021.
- [12] J. Ying, X. Zhang, Y. Zhang, and S. Bilan, "Green infrastructure: Systematic literature review," *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, vol. 35, no. 1, pp. 343–366, 2022.
- [13] D. Kim and S.-K. Song, "The multifunctional benefits of green infrastructure in community development: An analytical review based on 447 cases," *Sustainability*, vol. 11, no. 14, 2019.
- [14] R. Monteiro, J. C. Ferreira, and P. Antunes, "Green infrastructure planning principles: An integrated literature review," *Land*, vol. 9, no. 12, 2020.
- [15] S. Pauleit, R. Hansen, E. L. Rall, T. Zölch, E. Andersson, A. C. Luz, L. Szaraz, I. Tosics, and K. Vierikko, "Urban landscapes and green infrastructure," in *Oxford research encyclopedia of environmental science*, 2017.
- [16] V. Jayasooriya, A. Ng, S. Muthukumar, and B. Perera, "Green infrastructure practices for improvement of urban air quality," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 21, pp. 34–47, 2017.
- [17] C. Liqueste, S. Kleeschulte, G. Dige, J. Maes, B. Grizzetti, B. Olah, and G. Zulian, "Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A pan-european case study," *Environmental Science & Policy*, vol. 54, pp. 268–280, 2015.
- [18] N. S. V. Lund, M. Borup, H. Madsen, O. Mark, K. Arnbjerg-Nielsen, and P. S. Mikkelsen, "Integrated stormwater inflow control for sewers and green structures in urban landscapes," *Nature Sustainability*, vol. 2, no. 11, pp. 1003–1010, 2019.

- [19] E. M. Santos and D. d. A. Azevedo, "Impact on ground-level ozone formation by emission characterization of volatile organic compounds from a flex-fuel light-duty vehicle fleet in a traffic tunnel in rio de janeiro, brazil," *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 14, no. 2, pp. 259–270, 2021.
- [20] J. Manzini, Y. Hoshika, B. B. Moura, and E. Paoletti, "Impatto dell'ozono troposferico sulle foreste italiane: il progetto mottles," *L'Italia Forestale e Montana*, vol. 77, no. 5, pp. 185–195, 2022.
- [21] P. Wang, S. Zhu, M. Vrekoussis, G. P. Brasseur, S. Wang, and H. Zhang, "Is atmospheric oxidation capacity better in indicating tropospheric o₃ formation?," *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, vol. 16, no. 5, pp. 1–7, 2022.
- [22] S.-D. Lee and M.-J. Kim, "Potential effects of surface o₃ on forests in gangwon province, korea, based on critical thresholds," *Frontiers in Forests and Global Change*, p. 197.
- [23] A. M. Abdullah, M. Ismail, F. S. Yuen, S. Abdullah, and R. E. Elhadi, "The relationship between daily maximum temperature and daily maximum ground level ozone concentration.," *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 26, no. 3, 2017.
- [24] Y. Shimizu, Y. Lu, M. Aono, and K. Omasa, "A novel remote sensing-based method of ozone damage assessment effect on net primary productivity of various vegetation types," *Atmospheric Environment*, vol. 217, p. 116947, 2019.
- [25] D. A. Glencross, T.-R. Ho, N. Camina, C. M. Hawrylowicz, and P. E. Pfeffer, "Air pollution and its effects on the immune system," *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 151, pp. 56–68, 2020.
- [26] C. N. Hewitt, K. Ashworth, and A. R. MacKenzie, "Using green infrastructure to improve urban air quality (gi4aq)," *Ambio*, vol. 49, no. 1, pp. 62–73, 2020.
- [27] B. De, "Api management," in *API management*, pp. 15–28, Springer, 2017.
- [28] M. R. Sisco, V. Bosetti, and E. U. Weber, "When do extreme weather events generate attention to climate change?," *Climatic change*, vol. 143, no. 1, pp. 227–241, 2017.

- [29] P. H. V. López, “Efectos de la contaminación ambiental en la flora y fauna en el cantón la maná,” *ConcienciaDigital*, vol. 1, no. 2, pp. 16–27, 2018.
- [30] X. Luo, H. Bing, Z. Luo, Y. Wang, and L. Jin, “Impacts of atmospheric particulate matter pollution on environmental biogeochemistry of trace metals in soil-plant system: A review,” *Environmental Pollution*, vol. 255, p. 113138, 2019.

APÉNDICES

A Código Python para la obtención de los datos meteorológicos

```
import requests
import datetime
import json

def get_pollution_data(
    start_date, end_date, latitude, longitude, api_key, save_to_file=False
):
    # Convierte las fechas de entrada en formato timestamp
    start_timestamp = int(
        datetime.datetime.strptime(start_date, "%Y-%m-%d %H:%M:%S").timestamp()
    )
    end_timestamp = int(
        datetime.datetime.strptime(end_date, "%Y-%m-%d %H:%M:%S").timestamp()
    )

    # Realiza la solicitud a la API
    url = f"http://api.openweathermap.org/data/2.5/air_pollution/history?
lat={latitude}&
lon={longitude}&start={start_timestamp}&end={end_timestamp}&
appid={api_key}"
    response = requests.get(url)

    # Comprueba si la solicitud se ha realizado correctamente
    if response.status_code == 200:
        # Convierte la respuesta en un objeto JSON
        data = response.json()

        # Convierte el parámetro dt al formato datetime
```

```

for item in data["list"]:
    item["dt"] = datetime.datetime.fromtimestamp(item["dt"])
    .strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")

if save_to_file:
    # Guarda los datos JSON en un archivo
    with open("pollution_data.json", "w") as f:
        json.dump(data, f)

return data
else:
    raise Exception(f"Request failed with status code: {response.status_code}")

# Salida en consola
start_date = input("Ingrese fecha inicial (YYYY-MM-DD hh:00:00): ")
end_date = input("Ingrese fecha final (YYYY-MM-DD hh:00:00): ")
longitude = float(input("Ingrese longitud: "))
latitude = float(input("Ingrese latitud: "))
api_key = "1adda074324bc90d82d31352ca137afc"

pollution_data = get_pollution_data(
    start_date, end_date, latitude, longitude, api_key, save_to_file=True
)

```