

Plan de negocio para la creación de una empresa dedicada a la medición de emisiones gaseosas mediante drones.

Laura Ximena Prada Rueda y Leidy Valentina González Jaimes

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Químico

Modalidad creación de empresas

Director

Giovanni Morales Medina

Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2026

Dedicatoria y Agradecimientos

En primer lugar, elevo mi gratitud a Dios, por ser la luz en los momentos de incertidumbre y la fuerza renovadora que me permitió persistir ante cada desafío.

Dedico este logro con todo mi amor a mi familia. De manera especial a mi mamá, Leydi, quien desde mi infancia se ha esforzado por brindarme la mejor educación y un proyecto de vida único; culminar este trabajo es una meta alcanzada por ambas, pues he llegado hasta aquí gracias a su amor incondicional, a esos consejos oportunos cuando el camino parecía difícil, a cada regaño, cada lagrима y cada sonrisa. A mi abuela Celina, mi segunda madre, cuya labor incansable permitió que nunca me faltara nada; sin su esfuerzo, nada de esto sería posible. con su paciencia y apoyo silencioso, se convirtieron en el refugio seguro donde siempre pude descansar; este título es tan mío como de ustedes, pues su fe la que me trajo hasta la meta.

A Mike, quien pasó noches en vela conmigo a lo largo de mis estudios y siempre fue mi compañero fiel. A mis tíos y primos, por creer en mí y estar cuando los necesité.

A mi compañero de sueños y aventuras, Nafer, gracias por estar conmigo día y noche, por darme fuerzas, creer en mí, tenerme paciencia, llenarme de amor en cada etapa de este recorrido y, sobre todo, por nunca dudar de mí e iluminar mi camino en esos días oscuros sin salida.

Gracias a mis amigas de la infancia que desde pequeña destacaron mis cualidades, las cuales me han permitido llegar hasta acá, a mis amigas del colegio y que siguen presentes, porque juntas hemos culminado etapas y nos hemos acompañado incondicionalmente en cada uno de nuestros logros, a mis amigos de la universidad, porque han aportado su granito de arena y me han guiado en este proceso. Gracias a todos por hacer este proceso más agradable y ameno.

Un agradecimiento muy especial a Laura, mi compañera de tesis y mi primera amiga en la universidad; es un privilegio cerrar este ciclo con ella, habiendo aprendido la una de la otra, desde el principio sabíamos que el camino estaba destinado a lograrlo juntas.

Expreso mi gratitud a la Universidad Industrial de Santander, especialmente a la Escuela de Ingeniería Química, mi casa de estudios, por brindarme una formación de excelencia y el rigor científico necesario para enfrentar el mundo profesional con integridad. Al Profesor Giovanni Morales, le manifiesto mi más sincero reconocimiento, por su dirección técnica y su confianza en nuestra visión; sus enseñanzas han dejado una huella en este proyecto.

Gracias Leidy, por creer en ti misma, por no hacer caso a los malos comentarios, por esforzarte, por desvelarte, por volverte a levantar con la frente en alto y, sobre todo, por soñar en grande, este logro es para ti, es el primero de muchos que se avecinan, porque acá empieza un nuevo camino que irás descubriendo poco a poco con paciencia y dedicación.

Leidy González

Dedicatoria y Agradecimientos

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, quien ha sido mi guía constante, mi refugio en los momentos difíciles. A Él le debo cada paso que me ha traído hasta aquí.

A mi mamá, por sus consejos y por cada uno de esos momentos en los que, incluso con un plato de comida, un consejo o un regaño jaja, me dio el impulso para seguir adelante. A mi papá, cuyo arduo trabajo me permitió concentrarme en mis estudios sin mayores preocupaciones. Mi mayor motivación es hacerlos sentir orgullosos este título es más de ustedes que mío. A Camilo, quien me enseñó que la paciencia y la perseverancia son el camino, y quien, con una canción o una película, sabía cómo ayudarme a respirar en medio del caos. A Alfredo, por ser ejemplo, por mostrarme el camino y también por enseñarme, incluso desde los errores, que siempre hay algo valioso por aprender.

A Sammy, mi perrita, mi compañía fiel en tantas noches de desvelo.

A mi novio, Ramón, mi mayor apoyo en esta última etapa. Gracias por escucharme incluso en los momentos en los que dudaba de mí misma, por hacer tuyos mis miedos y preocupaciones y por ayudarme a ver siempre el lado positivo de las cosas; por los días de estudio, los dulces en medio de un día pesado y, sobre todo, por estar siempre ahí, justo cuando más lo necesitaba.

A los amigos que la vida me regaló en este camino, que hicieron parte de este proceso: gracias por el apoyo, los consejos, las tutorías, las risas y por recordarme que nunca estaba sola en este camino. A Sofía, mi primera amiga en la universidad, mi compañera de risas, de trabajos y de momentos inolvidables, con quien compartí tanto las dificultades como la felicidad de cada logro. A Leidy, mi compañera de tesis, con quien viví grandes momentos; no pude haber elegido mejor persona para cerrar este ciclo tan importante.

A Téllez, mi mejor amiga desde el colegio, con quien he crecido soñando y construyendo metas. Gracias por cada conversación en la que compartíamos nuestras pasiones, y por demostrarme que la verdadera amistad no se mide en la frecuencia, sino en la certeza de saber que siempre estamos la una para la otra.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarme las herramientas, el conocimiento y los espacios que hicieron posible mi formación profesional. Al profesor Giovanni Morales, por su guía, disposición y acompañamiento durante este proceso, por compartir su conocimiento y por aportar significativamente al desarrollo de este trabajo.

Finalmente, me dedico esta tesis a mí misma, a la mujer que persistió incluso cuando todo parecía difícil, a mi esfuerzo, mi disciplina y mi resiliencia; por no rendirme, por levantarme cada vez que lo necesité y por demostrarme que soy capaz de alcanzar todo aquello que me proponga.

Laura Prada.

Tabla de contenido

Introducción	14
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. Mercado	16
2.1 Investigación de mercados.....	16
2.1.1 Análisis del Sector	16
2.1.2. Análisis PESTEL.....	18
2.1.3 Análisis del Mercado	18
2.1.4 Análisis de la Competencia	20
2.1.5 Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter	21
2.2 Estrategias de mercado.....	22
2.2.1 Concepto del Servicio	22
2.2.2 Estrategias de Distribución.....	23
2.2.3 Estrategias de Precio	23
2.2.4 Estrategias de Promoción y Comunicación.....	24
2.2.5 Estrategias de Servicio	24
2.2.6 Presupuesto de la Mezcla de Mercadeo	24
2.2.7 Estrategias de Aprovisionamiento	25
2.2.8 Justificación Proyección de Ventas	26
3. Aspectos Técnicos y de Operación	27
3.1 Operación	27
3.1.1 Ficha Técnica del Servicio	27
3.1.2 Estado de Desarrollo	28
3.1.3 Descripción del Proceso	29
3.1.4 Necesidades y Requerimientos.....	33
3.2 Plan de compras	34
3.2.1 Consumos Por Unidad de Servicio.....	34

3.2.2 Costos de Producción	35
3.2.3 Infraestructura	35
4. Organización	36
4.1 Estrategia organizacional	36
4.1.1 Análisis DOFA	36
4.1.2 Estructura Organizacional	37
4.1.3 Organismos de Apoyo	37
4.2 Aspectos legales	38
4.2.1 Constitución Empresa y Aspectos Legales.....	38
4.3 Costos administrativos	39
4.3.1 Gastos de Personal	39
4.3.2 Gastos de Puesta en Marcha.....	40
4.3.3 Gastos Anuales de Administración.....	40
5. Finanzas	41
5.1 Ingresos	41
5.1.1 Fuentes de Financiación	41
5.1.2 Formatos Financieros	42
5.2. Análisis de sensibilidad.....	45
6. Plan Operativo	47
6.1 Cronograma de Actividades	47
7. Conclusiones	47
8. Recomendaciones	48
Referencias Bibliográficas	50
Apéndices.....	64

Índice de tablas

Tabla 1 Competidores principales del monitoreo ambiental en Colombia	20
Tabla 2 Valor del servicio	23
Tabla 3 Costos de mercadeo	25
Tabla 4 Proyección de Servicios	26
Tabla 5. Especificaciones metrológicas de los sensores.....	31
Tabla 6. Necesidades de activos	33
Tabla 7. Consumo por campaña	34
Tabla 8. Consumo por informe.....	35
Tabla 9 Costos de producción	35
Tabla 10 Salarios Personal de Trabajo	39
Tabla 11 Puesta en marcha	40
Tabla 12 Presupuesto administrativo.....	41
Tabla 13 Fuentes de financiación del proyecto	42
Tabla 14. Estado de resultados	43
Tabla 15 Indicadores financieros.....	44
Tabla 16 Cronograma	47
Tabla 17. Participación y descripción de los sectores económicos	65
Tabla 18. Sectores económicos de interés en el año 2021.....	68
Tabla 19. Estimación de las empresas en el año 2026.....	69
Tabla 20 Tarifas totales.....	71
Tabla 21 Tarifa base.....	71
Tabla 22. Adecuaciones	89
Tabla 23. Paneles solares.....	92

Tabla 24. Referentes	92
Tabla 25 Costos de producción	100
Tabla 26 Referencias costos de producción	100
Tabla 27 Aumento salario mínimo	102
Tabla 28 Aumento inflación	103
Tabla 29 Consideraciones.....	103

Índice de figuras

Figura 1. Ficha técnica del Servicio.....	27
Figura 2. Diagrama del proceso	29
Figura 3. Layout en vista superior de las instalaciones.....	36
Figura 4. Análisis DOFA.....	36
Figura 5. Organigrama de la empresa	37
Figura 6 Flujo de Caja.....	43
Figura 7 Peor escenario.....	45
Figura 8 Mejor escenario	46
Figura 9. Participación en emisiones	66
Figura 10. Distribución geográfica de las industrias en Colombia.....	67
Figura 11. Interfaz de Cabina.....	82
Figura 12. Mapa de Isolíneas 3D	83
Figura 13. Mapa de Densidad	83
Figura 14. Perfiles de concentración temporal.....	84
Figura 15. Mapa de Calor	85
Figura 16. Datos exportables	86
Figura 17. Paneles de concentración en el tiempo	87

Índice de Apéndices

Apéndice A <i>Análisis PESTEL</i>	64
Apéndice B. <i>Estudio de Mercado</i>	65
Apéndice C <i>Demanda del servicio</i>	68
Apéndice D. <i>Precio del servicio</i>	70
Apéndice E <i>Capacidad Operativa</i>	72
Apéndice F <i>Especificaciones técnicas</i>	73
Apéndice G. <i>Estructura del informe</i>	80
Apéndice H. <i>Requisitos</i>	89
Apéndice I <i>Consumo por servicio</i>	96
Apéndice J <i>Costos de producción</i>	99
Apéndice K <i>Formatos financieros</i>	102

Glosario

- AEMA: agencia Europea del Medio Ambiente
- ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
- ARL: administradora de Riesgos Laborales
- CAGR: tasa de crecimiento anual compuesta
- CAR: corporación Autónoma Regional
- COV: compuestos orgánicos volátiles
- CRM: Customer Relationship Management
- DEE: directorio Estadístico Empresarial
- DIAN: Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales
- EPA: Agencia de Protección Ambiental
- FNCE: fuentes no convencionales de energía
- GNSS: sistema satelital de navegación global
- IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- MAVDT: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial
- NDIR: infrarrojo no dispersivo
- NIT: número de identificación tributaria
- OMS/WHO: Organización Mundial de la Salud
- OPS: Organización Panamericana de La Salud
- PID: detectores de fotoionización
- POT: planes de ordenamiento territorial
- QC/AC: control y aseguramiento de calidad
- RUA: registro único ambiental

- RUT: registro único tributario
- SGA: sistema de gestión ambiental
- SIC: Superintendencia de Industria y Comercio
- SIG: sistema de información geográfica
- SINA: Sistema Nacional Ambiental
- SISAIRE: Subsistema de Información sobre Calidad del Aire
- SVCA: sistemas de vigilancia de la calidad del aire
- TRL: nivel de madurez tecnológica
- UAV: vehículo aéreo no tripulado

Resumen

Título: Plan de negocio para la creación de una empresa dedicada a la medición de emisiones gaseosas mediante drones*

Autores: Leidy Valentina González Jaimes y Laura Ximena Prada Rueda **

Palabras Clave: Monitoreo ambiental, Emisiones gaseosas, Vehículos aéreos no tripulados, plan de negocio.

Descripción:

El presente plan de negocio propone la creación de una empresa dedicada a la medición de emisiones gaseosas mediante drones, orientada a complementar los métodos tradicionales de monitoreo ambiental en Colombia. El servicio está dirigido a sectores industriales con alta exigencia regulatoria, que requieren soluciones más eficientes para la caracterización de emisiones en entornos complejos. La propuesta de valor se basa en ventajas como el acceso a zonas de difícil alcance, la generación de datos georreferenciados en tiempo real, la reducción de riesgos operativos y la optimización de costos, lo que permite ofrecer una alternativa técnica innovadora y competitiva frente a los métodos convencionales.

El mercado presenta un alto potencial, con una demanda estimada superior a 23,000 servicios anuales, de los cuales se proyecta captar inicialmente un 0,8%. La inversión se enfoca en equipos UAV, sensores especializados y operación, financiada mediante recursos propios y fuentes externas.

Las proyecciones financieras a 10 años evidencian la sostenibilidad del proyecto, alcanzando hasta 180 servicios anuales y generando una TIR del 21% y un VPN de \$157,420,206 lo que confirma su rentabilidad. En conjunto, el proyecto resulta viable desde el punto de vista comercial, técnico, legal y financiero, aunque su éxito dependerá de la validación en el mercado y su adecuada integración con los esquemas tradicionales del sector.

* Trabajo de grado.

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Ingeniería química. Director: Giovanni Morales Medina. PhD en ingeniería Química.

Abstract

Title: Business Plan for the Creation of a Company Dedicated to the Measurement of Gaseous Emissions Using Drones*

Authors: Leidy Valentina González Jaimes and Laura Ximena Prada Rueda **

Keywords: Environmental monitoring, gaseous emissions, unmanned aerial vehicles (UAVs), business plan.

Description:

This business plan proposes the creation of a company dedicated to the measurement of gaseous emissions using drones, aimed at complementing traditional environmental monitoring methods in Colombia. The service targets industrial sectors subject to stringent regulatory requirements that demand more efficient solutions for the characterization of emissions in complex environments. The value proposition is based on advantages such as access to hard-to-reach areas, the generation of real-time georeferenced data, the reduction of operational risks, and cost optimization, enabling the company to offer an innovative and competitive technical alternative to conventional monitoring methods.

The market shows significant potential, with an estimated demand exceeding 23,000 services per year, of which an initial market share of 0.8% is projected. The investment focuses on UAV equipment, specialized sensors, and operational resources, financed through a combination of equity and external funding sources.

Ten-year financial projections demonstrate the project's sustainability, reaching up to 180 services annually and generating an Internal Rate of Return (IRR) of 21% and a Net Present Value (NPV) of COP 157,420,206, confirming its profitability. Overall, the project is commercially, technically, legally, and financially viable; however, its success will depend on market validation and its effective integration with the traditional monitoring schemes currently used in the sector.

*Bachelor Thesis.

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Ingeniería química. Director: Giovanni Morales Medina. PhD en ingeniería Química.

Introducción

El control y seguimiento de las emisiones gaseosas provenientes de actividades industriales constituye uno de los pilares fundamentales de la gestión ambiental debido a su impacto directo sobre la calidad del aire, el cumplimiento de la normativa y la salud humana. Según la Organización Mundial de la Salud, casi toda la población mundial respira aire que excede los límites recomendados por esa entidad, lo que evidencia la magnitud del desafío asociado al control de contaminantes atmosféricos a nivel global (WHO, s.f.). En Colombia, si bien existen lineamientos regulatorios claros para la evaluación de emisiones atmosféricas, su aplicación práctica enfrenta limitaciones asociadas a la cobertura espacial de las mediciones, la accesibilidad a ciertas zonas operativas y la capacidad de las empresas para realizar un seguimiento continuo y preventivo de sus fuentes de emisión.

La medición de la calidad del aire en entornos urbanos e industriales suele basarse en la monitorización continua de contaminantes atmosféricos mediante estaciones fijas y dispositivos inteligentes que capturan datos en tiempo real (Diaz, 2026), permitiendo evaluar tendencias y condiciones del aire en puntos específicos del territorio; si bien estos métodos son indispensables para efectos regulatorios y de cumplimiento, presentan restricciones cuando se trata de instalaciones industriales extensas, múltiples puntos de emisión o áreas con alta variabilidad espacial. Estas limitaciones pueden dificultar la identificación temprana de comportamiento anómalos, la delimitación de zonas críticas y la adopción oportuna de medidas correctivas, promoviendo en muchos casos una gestión reactiva de las emisiones gaseosas.

En este contexto, el uso de aeronaves no tripuladas (Aerocivil, s.f.) equipadas con sensores ambientales surge como una alternativa técnica complementaria para el monitoreo exploratorio de

emisiones gaseosas. Estas tecnologías permiten ampliar la cobertura espacial de las mediciones, acceder a zonas de difícil o peligroso ingreso y generar información ambiental detallada sin exponer al personal a condiciones de riesgo, contribuyendo así a la prevención de accidentes laborales y al fortalecimiento de la seguridad industrial.

La confiabilidad de este tipo de monitoreo depende en gran medida de la selección adecuada de sensores, la aplicación de protocolos de calibración (Calibración de Equipos Ambientales y Ocupacionales, 2024) y validación y el desarrollo de informes técnicos que integren análisis espacial, interpretación de resultados y contextualización operativa. De esta manera, la información obtenida mediante drones adquiere valor no solo como insumo técnico preliminar, sino como soporte para la planificación de campañas tradicionales, la evaluación del desempeño ambiental y la toma de decisiones estratégicas en las organizaciones.

Bajo este enfoque, el presente trabajo aborda la formulación de una empresa de servicios denominada “DronTech”, orientada a la prestación complementaria de medición de emisiones de gases contaminantes mediante drones. A lo largo del estudio se evalúa la viabilidad del proyecto desde las dimensiones de mercado, financiera, operación y legalidad, con el fin de determinar su potencial como solución técnica especializada que contribuya al fortalecimiento de la gestión ambiental y al control preventivo de emisiones en el sector industrial, en coherencia con el marco normativo vigente.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar un plan de negocio para la creación de una empresa dedicada a la medición de emisiones gaseosas en el departamento de Santander mediante drones.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la viabilidad de mercado mediante el estudio de la demanda industrial y la identificación de clientes potenciales, precisando la competitividad del plan de negocios.
- Analizar la viabilidad legal aplicable al proyecto, mediante la revisión del marco normativo colombiano, identificando regulaciones que respalden o limiten la prestación de servicios de medición, concretando la pertinencia legal del plan de negocio.
- Evaluar la adaptación tecnológica del uso de drones medidores de contaminación, en el contexto colombiano, mediante la selección de dispositivos ofertados en el mercado, estableciendo la confiabilidad y aplicabilidad de los sensores disponibles.
- Estimar los indicadores financieros del plan de negocio mediante el flujo de caja proyectado a 10 años, definiendo su sostenibilidad económica.

2. Mercado

2.1 Investigación de mercados

2.1.1 Análisis del Sector

El monitoreo de la calidad del aire es un componente clave de la gestión ambiental por su relación directa con la salud pública y sostenibilidad urbana e industrial. La OPS reconoce la contaminación atmosférica como uno de los principales riesgos ambientales por sus impactos

sobre enfermedades respiratorias y cardiovasculares (OPS/OMS s.f.), lo cual sustenta la necesidad de fortalecer sistemas de medición y vigilancia.

En Colombia, el sector del monitoreo de calidad del aire se ha consolidado mediante redes regionales y la centralización progresiva de la información a través del SISAIRES, administrado por el IDEAM (IDEAM, s.f.), el cual integra datos de distintos sistemas de vigilancia y sirve como base institucional para el análisis y la toma de decisiones ambientales (Minambiente, 2025). Sin embargo, aunque el país cuenta con un número importante de estaciones, su distribución no es homogénea y persisten brechas en zonas industriales dispersas, áreas periurbanas o regiones con baja densidad de medición, lo cual limita la representatividad espacial y dificulta diagnósticos completos en corredores urbanos o industriales específicos (Acosta et al., 2025).

Actualmente, los contaminantes de mayor relevancia en la vigilancia de la calidad del aire (CONPES, s.f.) en el país corresponden principalmente a los contaminantes criterio, entre ellos el material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), el dióxido de nitrógeno (NO_2), el dióxido de azufre (SO_2), el ozono troposférico (O_3) y el monóxido de carbono (CO), debido a sus impactos sobre la salud y su inclusión en la normativa ambiental (Contaminación Atmosférica, s.f.). Adicionalmente, en contextos industriales adquieren importancia gases como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y COV, asociados a procesos energéticos, emisiones fugitivas y actividades productivas específicas (Minambiente, s.f.).

En términos de prestación del servicio los canales de distribución se concentran principalmente en dos vías: contratación institucional con entidades públicas y autoridades ambientales y contratación privada con industrias y consultoras ambientales donde las campañas de medición se integran a auditorías, diagnósticos, licenciamiento ambiental y programas de cumplimiento normativo. En este contexto, se ha incrementado el interés por tecnologías

complementarias que permitan ampliar la cobertura espacial y apoyar campañas de diagnóstico en zonas de difícil acceso con infraestructura limitada.

2.1.2. Análisis PESTEL.

El monitoreo de la calidad del aire en Colombia está respaldado por instituciones que aseguran la continuidad en la vigilancia ambiental. No obstante, su desarrollo enfrenta limitaciones económicas debido a la alta dependencia de tecnología importada, lo que incrementa los costos de implementación (World Bank, s.f.). A nivel social, la contaminación del aire genera preocupación por sus efectos en la salud pública, impulsando una mayor exigencia de control y transparencia (Airly, s.f.). Tecnológicamente, el sector evoluciona con el uso de microsensores, herramientas digitales y drones, que mejoran la capacidad de monitoreo. Sin embargo, persisten desafíos ambientales relacionados con la cobertura de medición y la variabilidad de contaminantes, así como restricciones legales derivadas de la regulación del uso de drones en Colombia (OECD, 2026). En el [Apéndice A](#) se encuentra la evaluación detallada del análisis PESTEL.

2.1.3 Análisis del Mercado

La infraestructura de vigilancia nacional en Colombia cuenta con 175 estaciones de monitoreo (IDEAM, 2023), y a pesar de esto, está posicionado como el tercer país en Latinoamérica con mayores niveles de emisiones (Minambiente, 2025). Bajo este contexto, el mercado objetivo principal se concentra en sectores industriales, los cuales aportan más del 30% de las emisiones totales del país (Minambiente, 2025).

Dentro de este grupo, destacan sectores con una huella de emisión significativa y una alta demanda técnica, tales como el energético, la extracción y refinación de petróleo e hidrocarburos, y la industria química y petroquímica; de igual forma, el mercado abarca actividades clave en la

producción de materiales de construcción y cemento, el desarrollo de transporte e infraestructura, y la agroindustria. Según datos de distribución geográfica, estas industrias se encuentran ubicadas principalmente en ciudades como Bogotá, junto con otras capitales departamentales, donde la cobertura de estaciones es fija y la precisión en la caracterización de emisiones es fundamental para el cumplimiento de sus objetivos de sostenibilidad y cumplimiento normativo; además, esta demanda se extiende a consultorías ambientales especializadas acreditadas bajo la norma ISO/IEC 17025 (ISO, 2024), las cuales actúan como intermediarias ante autoridades como la ANLA mediante el Registro Único Ambiental (IDEAM, 2010). La profundización de estos estudios se encuentra en el [Apéndice B](#).

Este mercado global fue valorado en USD 45.09 mil millones en 2024 con una proyección de USD 76.59 mil millones para 2032, impulsado por una CAGR del 6,81% durante el período de pronóstico de 2025 a 2032 (Data Bridge Market Research, 2024), siendo una tendencia dinámica que responde a presiones regulatorias y a la necesidad de datos en tiempo real para mitigar impactos ambientales. En este escenario, el control de emisiones se consolida como un pilar del Sistema de Gestión Ambiental (SGA), siendo vital para identificar riesgos que inciden en el desempeño organizacional (ISO, 2015).

El consumo aparente de servicios de monitoreo ambiental en Colombia, cuyo análisis detallado se presenta en el [Apéndice C](#), se consolida como un mercado de alta demanda impulsado por un inventario proyectado de 6,167 empresas grandes de interés para el año 2026. Este volumen de organizaciones, pertenecientes a sectores con alta carga regulatoria, genera una necesidad de medición técnica constante.

Bajo un modelo de estimación conservador, se considera una demanda promedio de uno a tres servicios anuales por organización, lo que resulta en un universo potencial de 23,040 servicios

al año a nivel nacional (DANE, 2022). Considerando las fases de penetración de mercado y la especialización tecnológica de la empresa, se proyecta captar inicialmente un 0.8% de la demanda dentro del nicho estratégico, equivalente a 180 servicios anuales. Esta operación tomará a Bogotá como centro de referencia y base logística, aprovechando la alta densidad empresarial del sector industrial y energético en la región central del país.

2.1.4 Análisis de la Competencia

El mercado del monitoreo ambiental en Colombia está conformado principalmente por consultoras ambientales tradicionales, laboratorios acreditados y firmas de ingeniería que prestan servicios asociados a campañas de medición, estudios ambientales y cumplimiento normativo mostrados en la tabla 1. Estos actores operan bajo metodologías consolidadas y cuentan con experiencia en procesos regulatorios ante autoridades ambientales.

Tabla 1

Competidores principales del monitoreo ambiental en Colombia

Tipo de competidor	Competidores principales	¿Que ofrecen?	Fortalezas competitivas
Consultoras ambientales	Geoinnova S.A.S (Geoinnova, s.f.)	Experiencia normativa, conocimiento local, contratación regional	Enfoque tradicional, medición puntual, baja flexibilidad espacial
Firmas multinacionales tradicionales	SGS Colombia (SGS Colombia, s.f.)	Reputación internacional, capacidad técnica, cumplimiento normativo	Metodologías convencionales, baja adopción UAV
Firmas con servicios UAV incorporados	Intertek Colombia (Inspección, s.f.)	Tecnología integrada, experiencia industrial, inspección con drones	UAV no enfocado a monitoreo ambiental del aire
Proveedores de tecnología	Enviroequipos (Dublin, s.f.)	Acceso a instrumentación, soporte técnico local	No prestan servicio integral
Soluciones UAV especializadas	Sniffer4D (referente internacional) (Sniffer4D, s.f.)	Alta innovación, monitoreo georreferenciado, flexibilidad	Presencia limitada en Colombia, retos regulatorios

A partir de la identificación de los principales actores y tipos de competencia presentes en el mercado, se procede a analizar la estructura competitiva del sector mediante el modelo de las cinco Fuerzas de Porter, con el fin de evaluar el nivel de rivalidad, las barreras de entrada y las presiones que influyen en la viabilidad.

2.1.5 Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter

Rivalidad entre competidores existentes: La rivalidad en el sector es alta, debido a la presencia de consultoras ambientales y laboratorios acreditados con trayectoria, reconocimiento institucional y contratos recurrentes con entidades públicas y grandes industrias. Sin embargo, la competencia se centra menos en innovación tecnológica y más en metodologías convencionales, lo que abre oportunidades para propuestas diferenciadas (Global Forecast, s.f.).

Amenazas de nuevos entrantes: La amenaza de nuevos entrantes es media, ya que el sector presenta barreras técnicas, regulatorias y económicas (Elaboración y Evaluación EIA, s.f.). No obstante, la incorporación de tecnologías como drones y sensores modulares reduce parcialmente estas barreras, permitiendo la entrada de actores con propuestas innovadoras y menor infraestructura fija (PW Consulting Chemical & Energy Research Center, s.f.).

Poder de negociación de los clientes: El poder de negociación de los clientes es medio a alto especialmente en el caso de grandes industrias y entidades públicas, debido a que los clientes priorizan confiabilidad, cumplimiento normativo y costos, lo que presiona a los proveedores a ofrecer soluciones competitivas y justificadas técnicamente (Environmental Consulting Services Market Research Report, s.f.).

Poder de negociación de los proveedores: El poder de negociación de los proveedores es medio, dado que los equipos de medición, sensores especializados e instrumentación UAV

dependen en gran medida de fabricantes internacionales. Sin embargo, la existencia de múltiples proveedores tecnológicos y el modularidad de los sistemas atenúan parcialmente esta dependencia.

Amenaza de productos sustitutos: La amenaza de productos sustitutos es media, representada principalmente por estaciones de monitoreo fijas, campañas tradicionales de medición y modelos de dispersión atmosférica. Estas presentan limitaciones en cobertura espacial, flexibilidad operativa y capacidad de diagnóstico puntual, lo que reduce su sustitución total frente a soluciones móviles (Pronóstico Global de 2025 a 2033, s.f.).

2.2 Estrategias de mercado

2.2.1 Concepto del Servicio

El servicio de medición de emisiones mediante drones se define como una solución de apoyo técnico complementario, diseñada para integrarse a los esquemas de monitoreo tradicionales sin sustituirlos, dado que aún no cuenta con acreditación para procesos sancionatorios independientes, su valor estratégico radica en la obtención de información complementaria que reduce incertidumbres operativas y permite caracterizar los contaminantes que los métodos terrestres no capturan con precisión, especialmente en instalaciones extensas, fuentes múltiples o zonas de acceso restringido (EPA, 2023). Esta prestación se fundamenta en el uso de infraestructura tecnológica propia (UAV, sensores de alta precisión y plataformas de procesamiento), lo que garantiza autonomía en el diseño de campañas y una resolución espacial superior a la de los métodos convencionales.

Este enfoque resulta particularmente útil en escenarios como la inspección preliminar de chimeneas industriales, la identificación de emisiones difusas en complejos industriales, la

evaluación ambiental en corredores logísticos o la verificación de condiciones atmosféricas en plantas con restricciones operativas por riesgo.

2.2.2 Estrategias de Distribución

La incursión en el mercado de monitoreo ambiental se fundamenta en un modelo de venta consultiva y un sistema de distribución híbrido, diseñado para captar tanto al sector público como al privado. Para las autoridades ambientales y entes gubernamentales, la captación se centrará la participación en convocatorias oficiales y la presentación directa de portafolios; mientras que, para el sector privado, se consolidarán alianzas estratégicas con firmas de consultoría que permitan integrar el uso de drones en estudios ambientales complejos, por medio de proyectos piloto y demostraciones in situ que evidencien la precisión de la plataforma en escenarios reales.

2.2.3 Estrategias de Precio

El precio del servicio se define bajo la premisa de “mayor agilidad a menor costo” donde las suposiciones y especificaciones detalladas se encuentran en el [apéndice D](#). En la tabla 2 se muestran ingresos asociados a los clientes, como el precio aproximado del servicio, los costos de transporte junto a los canales y condiciones de pago.

Tabla 2

Valor del servicio

Precio Promedio	\$7,150,000
Canales de Pago	Transferencias bancarias o PSE
Condiciones de Pago	Pago anticipado parcial: correspondiente a un porcentaje del valor del servicio al momento de la contratación Pago final: se hace en contra entrega del informe técnico
Transporte	El costo de transporte se tendrá en cuenta dentro de la estructura del precio cuando las operaciones deban realizarse en zonas alejadas de la sede principal de la empresa.

2.2.4 Estrategias de Promoción y Comunicación

La estrategia de promoción se basa en implementar un modelo de marketing digital profesional centrado en la generación de contenido técnico y educativo; a través de redes sociales profesionales y una página web corporativa, se difundirán videos demostrativos, fichas informativas, casos de éxito y resultados de monitoreo que evidencien la precisión del sistema frente a métodos convencionales. Esta presencia digital se complementará con la participación proactiva en seminarios académicos y foros ambientales, consolidando alianzas estratégicas con consultoras de ingeniería, universidades y entes territoriales que requieran integrar soluciones de monitoreo en sus proyectos de gestión ambiental. El objetivo es proyectar una identidad visual robusta y coherente que posicione a la organización como un referente de vanguardia en el mercado colombiano.

2.2.5 Estrategias de Servicio

Durante el desarrollo del proyecto, se mantiene un canal de comunicación permanente con el cliente a través de correo electrónico, contacto telefónico y reuniones técnicas virtuales o presenciales, lo que permite realizar seguimiento a las actividades y resolver inquietudes. Este acompañamiento también hace parte del servicio postventa, brindando soporte para la interpretación de los resultados y el uso de la información generada.

2.2.6 Presupuesto de la Mezcla de Mercadeo

La ejecución de las estrategias descritas anteriormente, requieren una asignación de recursos. Este presupuesto es una inversión estratégica destinada a mitigar riesgos operativos y barreras de entrada mediante el cumplimiento estricto de la normativa aeronáutica y la validación de la tecnología en entornos reales. Los rubros aquí detallados garantizan que la empresa cuente

con el respaldo técnico y la infraestructura digital necesaria para desplazar a los métodos de medición tradicionales. En la tabla 3 se presenta la cuantificación estimada para la puesta en marcha de estas iniciativas, cuyo valor total es de \$ 23,500,000 anuales:

Tabla 3
Costos de mercadeo

Actividad	Descripción	Costo anual (COP)
Seguro de responsabilidad civil (IAREOCOL, 2022.)	Pólizas obligatorias para operar drones de peso comercial.	\$2,100,000
Garantía operativa (Manual, 2016)	Mantenimiento y calibración anual de cada sensor donde hay una revisión robusta del dron.	\$4,000,000
Proyectos demostrativos	Costos de prospección comercial y misiones demostrativas “in situ”	\$6,000,000
Desarrollo digital (Labweb, 2025.)	Creación de sitio web, manejo de redes sociales y publicidad en plataformas	\$9,000,000
Relacionamiento institucional	Participación en seminarios académicos y foros ambientales	\$2,400,000

2.2.7 Estrategias de Aprovisionamiento

Estas estrategias buscan garantizar la disponibilidad de los equipos y componentes necesarios para la prestación del servicio. Para ello se seleccionan proveedores especializados que garanticen la calidad de los equipos.

La plataforma aérea y los sensores que se utilizarán podrán adquirirse a través de distribuidores autorizados de drones industriales en Colombia, los cuales ofrecen soporte técnico, acceso a repuestos y cuyos precios de adquisición se presentarán en la sección de necesidades y requerimientos del proyecto. Los equipos de mayor valor tecnológico se adquieren mediante compra directa bajo pedido, práctica común en la adquisición de instrumentación especializada (Agencia Nacional de Contratación Pública, s.f.).

En cuanto a las condiciones comerciales, algunos distribuidores locales pueden ofrecer plazos de pago entre 15 y 30 días para clientes corporativos. Asimismo, en compras de mayor volumen es posible acceder a descuentos por pronto pago o por cantidad que generalmente oscilan entre 5% y 10% del valor de la compra (SumUp, s.f.).

2.2.8 Justificación Proyección de Ventas

La proyección de ventas se fundamenta en la capacidad operativa del sistema y un criterio de expansión basado en la utilización de los recursos. Inicialmente, el proyecto cuenta con dos drones, de los cuales uno opera y el otro funciona como respaldo para garantizar la continuidad del servicio. La capacidad efectiva inicial se estima en 8 campañas mensuales; sin embargo, durante el primer año no se alcanza este nivel debido al proceso de posicionamiento en el mercado. La justificación de los supuestos relacionados con los tiempos de operación y la disponibilidad del personal para la capacidad operativa se presentan en el [Apéndice E](#). A medida que la demanda crece, se establece como criterio de expansión la adquisición de un nuevo dron cuando se alcanza aproximadamente el 80% de utilización de la capacidad, con el fin de evitar saturación y mantener la calidad del servicio. De esta manera para el año 3 y año 8 se adquirirá un nuevo dron, y así poder alcanzar una meta de 180 servicios anuales en el décimo año. Esta proyección afecta el flujo de caja la cual se desarrollará en la sección de formatos financieros.

Tabla 4
Proyección de Servicios

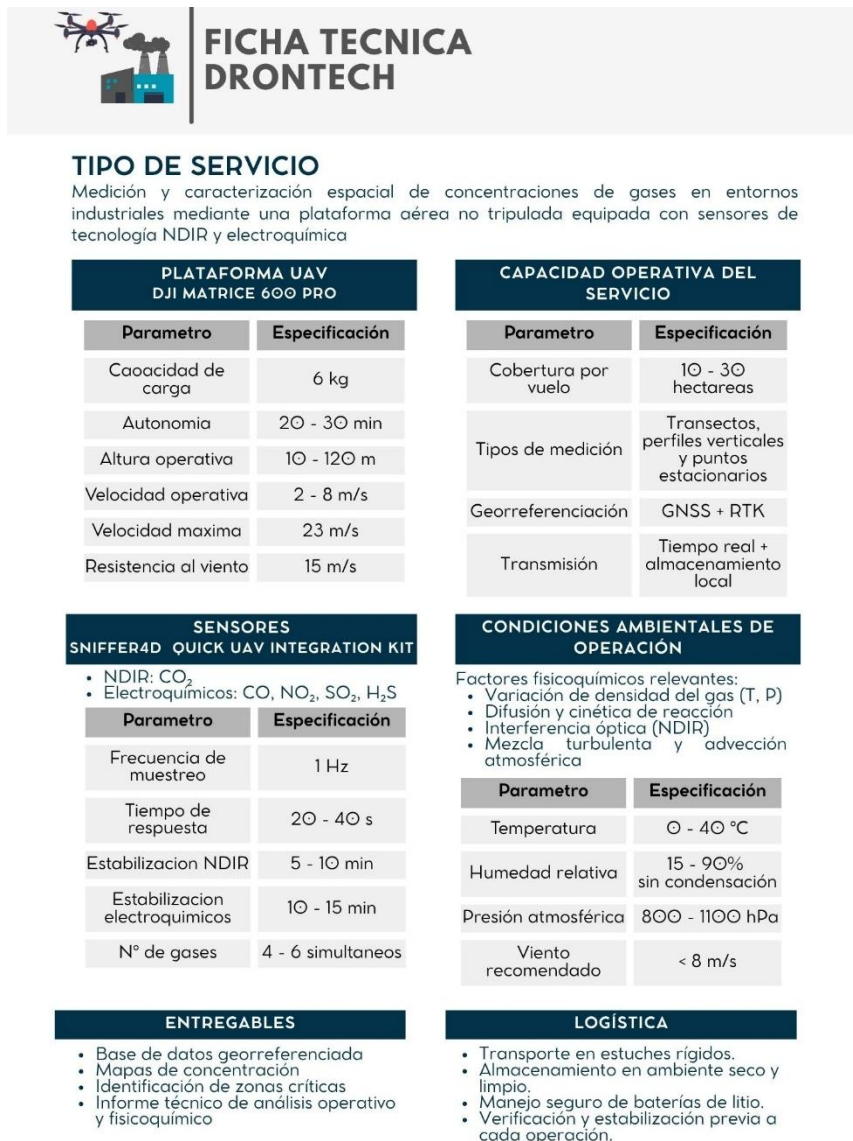
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Servicios mensuales	3	4	5	7	7	8	8	10	12	15
Servicios anuales	36	48	60	84	90	96	96	120	144	180
Drones	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4

3. Aspectos Técnicos y de Operación

3.1 Operación

3.1.1 Ficha Técnica del Servicio

Figura 1.
Ficha técnica del Servicio



Para dar respuesta a la demanda de servicios proyectada, se ha seleccionado una solución tecnológica de alta precisión que integra movilidad aérea y sensores de grado científico.

La captura de datos se realiza a través de un módulo multigas que emplea una combinación de sensores de tecnologías NDIR y electroquímicos. Este sistema facilita la caracterización espacial de contaminantes en tiempo real mediante georreferenciación, permitiendo una amplia evaluación exploratoria. La ficha técnica del servicio se muestra en la figura 1 cuyas especificaciones detalladas se desglosan en el [Apéndice F](#). El servicio cuenta con un sistema completo donde se hace acompañamiento durante todo el proceso, brindando calidad, rapidez y, sobre todo, accesibilidad económica.

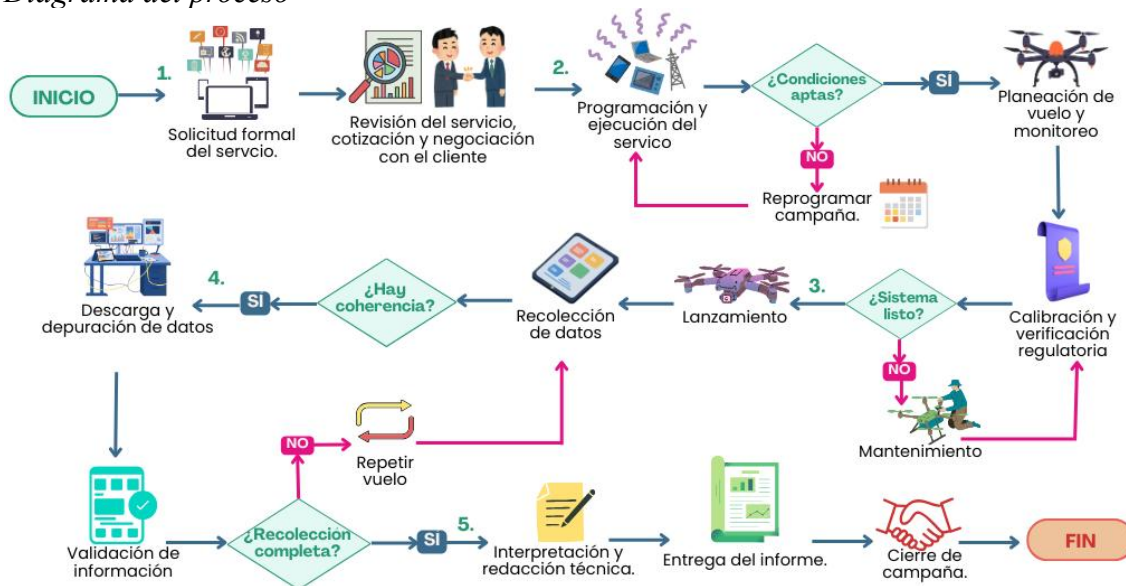
3.1.2 Estado de Desarrollo

La evolución de los UAV en la última década ha transformado el monitoreo de la calidad del aire y la caracterización de emisiones industriales. A nivel internacional, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2023) reconoce el potencial de estos sistemas móviles para mejorar la resolución espacial, identificar gradientes de concentración y caracterizar plumas de contaminación en entornos complejos, siempre bajo un enfoque complementario a los métodos de referencia tradicionales. En sintonía, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA, 2023.) destaca la integración de sensores de bajo peso y análisis geoespacial como ejes de la modernización y digitalización del monitoreo ambiental, transitando hacia modelos de gestión basados en datos tridimensionales.

Estudios especializados han validado la viabilidad técnica de estas plataformas para la cuantificación de gases como CO₂, CH₄, NO_x, SO₂ y material particulado, demostrando que la aplicación de protocolos estrictos de calibración garantiza información confiable para fines diagnósticos (Villa et al., 2016). Desde una perspectiva de madurez tecnológica, estos sistemas se ubican actualmente entre TRL 7 y TRL 8, al haber demostrado su funcionalidad en entornos industriales reales y contar con un respaldo científico sólido.

3.1.3 Descripción del Proceso

Figura 2.
Diagrama del proceso



El servicio de monitoreo se fundamenta en un proceso técnico integral regido por protocolos de aseguramiento y control de calidad (QA/QC), trazabilidad metrológica y estricto cumplimiento normativo (Coastal Drone, s.f). La metodología de prestación del servicio garantiza que la información obtenida sea técnicamente robusta y ambientalmente pertinente a través de 5 etapas que se desglosa en subetapas y decisiones como se muestra en la figura 2.

1. Planeación de la Campaña: La etapa inicial comprende un diagnóstico preliminar orientado a la caracterización del cliente, la identificación de procesos emisores y el análisis de antecedentes ambientales. En esta etapa se evalúan restricciones físicas, interferencias electromagnéticas y condiciones topográficas que podrían comprometer la estabilidad del vuelo o la representatividad del muestreo. Seguido, se establece la planificación metodológica, definiendo los contaminantes objetivo, la configuración de sensores (NDIR y electroquímicos) y las condiciones operativas descritas en la ficha técnica. Bajo los requerimientos de la EPA, se diseña

el plan de vuelo mediante trayectorias horizontales, perfiles verticales o mallas tridimensionales para interceptar la pluma de emisión (EPA, 2017).

2. Preparación Técnica: Esta etapa integra los protocolos de aseguramiento de calidad instrumental y el cumplimiento de la normativa aeronáutica (Aerocivil, s.f.). El proceso inicia con una inspección estructural del UAV, validando sus sistemas de control y la precisión del posicionamiento GNSS. Posteriormente, los sensores son sometidos a procedimientos de verificación operacional para garantizar su funcionalidad y estabilidad frente a criterios de deriva (UAV Coach, s.f.), iniciando con una estabilización térmica de 10 a 15 minutos para equilibrar los componentes electrónicos, seguida de una verificación de línea base mediante la exposición a aire limpio o gas cero para validar la estabilidad de la señal. Luego de esto, se realiza una evaluación de respuesta que analiza el ruido de fondo, la deriva y los tiempos de reacción instrumental para confirmar la aptitud del sensor, consolidando toda la información en un registro de trazabilidad.

Si bien la verificación en campo garantiza la operatividad diaria, el sistema debe contar con una calibración integral delegada al fabricante en condiciones de laboratorio. Este proceso permite establecer la relación matemática exacta entre la señal eléctrica del sensor y la concentración real del gas, identificando desviaciones críticas causadas por el envejecimiento de los componentes o la exposición a condiciones ambientales adversas.

Este procedimiento comprende un ajuste de cero mediante la exposición del sensor a un gas sin la presencia del analito objetivo para establecer líneas base de la señal y la calibración de sensibilidad (Span), donde los sensores se exponen a mezclas de gas con concentraciones dentro de su rango de medición, donde la respuesta obtenida se registra y se ajusta para definir matemáticamente la relación concentración–señal mediante la ecuación lineal (International Organization for Standardization, 1996)

$$C = aS + b \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Siendo a y b los parámetros que se ajustan según el método. Para sensores NDIR, la calibración se rige por los principios de espectroscopía que vinculan la absorbancia de luz infrarroja con la concentración, mientras que, en los sensores electroquímicos, se estandariza la proporcionalidad entre la corriente generada por la reacción de oxidación-reducción y el gas objetivo. La confiabilidad del sistema de monitoreo de gases se evalúa a partir de su capacidad para generar resultados consistentes, lo cual se expresa mediante los parámetros de repetibilidad y reproducibilidad que se muestran en la tabla 5 donde se encuentran las especificaciones metrológicas de los sensores.

Tabla 5.
Especificaciones metrológicas de los sensores

Sensor (tipo)	Modelo/Sistema	Gas	Rango de medición *** (Soarability, 2023).	Repetibilidad * (ISO 5725-1, 2023)	Reproducibilidad ** (ISO 5725-1, 2023)	Precisión *** (Eurachem, 2012)
NDIR	Sniffer4D – módulo CO ₂	CO ₂	0 – 5.000 ppm	±1–2 % de la lectura	±3 % de la lectura	± (30 ppm + 3 % de la lectura)
Electro-químico	Sniffer4D – módulo CO	CO	0 – 500 ppm	±2 % de la lectura	±3–5 % de la lectura	±5 % F.S. (Full Scale)
Electro-químico	Sniffer4D – módulo NO ₂	NO ₂	0 – 20 ppm	±2 % de la lectura	±3–5 % de la lectura	±5 % F.S.
Electro-químico	Sniffer4D – módulo SO ₂	SO ₂	0 – 20 ppm	±2 % de la lectura	±3–5 % de la lectura	±5 % F.S.

Nota:

*Corresponde al grado de concordancia entre mediciones realizadas bajo condiciones idénticas en un corto intervalo de tiempo.

**Evalúa la concordancia cuando existen variaciones en el tiempo, el entorno o el operador, siendo el rango máximo de error.

***Datos tomados de las especificaciones técnicas del fabricante Sniffer4D, pero el fabricante reporta la exactitud global del sistema, no separa los valores de repetibilidad y reproducibilidad. Por lo que, esos valores se estimaron con base en las definiciones establecidas en la norma (ISO 5725-1, 2023) y en rangos típicos de variabilidad instrumental reportados en guías de validación analítica (Eurachem, 2012).

Respecto a la frecuencia de recalibración, se establece un periodo estándar de seis meses, el cual puede reducirse ante exposiciones a concentraciones críticas, condiciones ambientales severas o tras el reemplazo de sensores electroquímicos, frente a la mayor estabilidad intrínseca de los sensores NDIR. Al concluir este proceso, el laboratorio acreditado emite un certificado de calibración que documenta los gases de referencia, las condiciones ambientales del ensayo, los factores de ajuste y la incertidumbre medida.

3. Ejecución Operativa: Durante el despliegue en campo, el UAV captura concentraciones de contaminantes sincronizadas en tiempo real con coordenadas geográficas y variables meteorológicas. Esta integración permite construir perfiles, transectos y representaciones tridimensionales de la pluma, facilitando la identificación de gradientes espaciales y emisiones fugitivas que resultan imperceptibles para las estaciones de monitoreo fijas (Villa et al., 2016).

Es fundamental considerar que, debido al tiempo de respuesta de los sensores (entre 20 y 40 segundos), los datos registrados no representan valores puntuales instantáneos, sino valores que se traducen en promedios espaciales a lo largo de la trayectoria, cuya resolución depende directamente de la velocidad de operación. Durante toda la misión, se mantiene un monitoreo continuo de la autonomía y la calidad de la señal; ante cualquier desviación significativa que comprometa la representatividad del volumen muestreado, el protocolo exige abortar la operación o repetir los segmentos críticos para salvaguardar la integridad de la serie de datos.

4. Posprocesamiento y Análisis: Finalizada la captura, los registros brutos se someten a depuración y validación, eliminando valores atípicos y aplicando correcciones por deriva instrumental o efectos térmicos. La información se integra en plataformas SIG (Sistemas de Información Geográfica) para generar mapas de concentración y representaciones tridimensionales de la pluma (Villa et al., 2016).

5. Elaboración del Informe Técnico: El proceso culmina con un informe integral que detalla la metodología, condiciones meteorológicas, análisis de incertidumbre e interpretación técnica frente a los límites normativos. Este documento incluye recomendaciones preventivas o correctivas para optimizar el desempeño ambiental del cliente, constituyéndose como un producto técnico trazable, verificable y sustentado metodológicamente. En el [Apéndice G](#) se expone la estructura del informe junto con las gráficas aportadas por el sensor.

3.1.4 Necesidades y Requerimientos

Los requerimientos de infraestructura, equipos de proceso, equipos de comunicación y muebles se presentan en la tabla 7 donde se evidencia que estas adecuaciones presentan un costo total de \$97,462,000 COP

Tabla 6.
Necesidades de activos

Tipo de Activo	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Infraestructura y adecuaciones	Adecuación por m ²	110	\$112,000	\$12,320,000
	Paneles solares	1	\$16,100,000	\$16,100,000
Equipo Técnico	DRONES	2	\$21,355,000	\$42,710,000
	SENSORES	8	\$555,000	\$4,440,000
Equipo de comunicación y computación	Computador	4	\$2,000,000	\$8,000,000
	Fotocopiadora / Impresora	1	\$1,000,000	\$1,000,000
	Teléfono inalámbrico	2	\$190,000	\$380,000
Mobiliario	Sillas	10	\$140,000	\$1,400,000
	Escritorios	4	\$260,000	\$1,040,000
	Mesa de reuniones	1	\$570,000	\$570,000
	Televisor	1	\$760,000	\$760,000
	Archivador	2	\$250,000	\$500,000
	Estantería	1	\$420,000	\$420,000
	Botiquín	1	\$70,000	\$70,000
	Canecas de basura	7	\$20,000	\$140,000
	Implementos de oficina	1	\$80,000	\$80,000
	Señalización reglamentaria	1	\$60,000	\$60,000
	Cafetera	1	\$80,000	\$80,000
	Nevera pequeña	1	\$500,000	\$500,000

	Implementos de aseo	1	\$80,000	\$80,000
	Estuche rígido protector	3	\$594,000	\$1,782,000
	Caja de seguridad para baterías	1	\$28,000	\$28,000
	Kit de limpieza electrónica	2	\$33,000	\$66,000
	Mesa técnica de trabajo	1	\$270,000	\$270,000
	Gabinete con cerradura	1	\$488,000	\$488,000
	Gel de sílice	4	\$11,000	\$44,000
	Higrómetro digital	1	\$40,000	\$40,000
Gastos preoperativos	Arriendo	1	\$5,600,000	\$5,600,000
	Desarrollo técnico e imprevistos	1	\$1,500,000	\$1,500,000
	Publicidad y marketing	1	\$800,000	\$800,000
	Matrícula mercantil	1	\$194,000	\$194,000
	Registros (empresa, rut, UAV)	1	\$1,600,000	\$1,600,000
	Total		\$97,462,000	

Nota: La justificación de las adecuaciones y referencias de cada valor unitario propuesto se encuentran en el [Apéndice G](#).

3.2 Plan de compras

3.2.1 Consumos Por Unidad de Servicio

La campaña implica el uso de diferentes recursos, la justificación técnica de los valores de consumo considerados se presenta en el [Apéndice I](#), donde se describen las bases de cálculo y las referencias utilizadas. En la tabla 7 y 8 se evidencian los consumos por campaña y por informe.

Tabla 7.

Consumo por campaña

Tipo de recurso	Descripción	Consumo por campaña	Unidad
Energía	Recarga del conjunto de baterías del UAV para dos vuelos de monitoreo	3	kWh/campaña
	Uso de computador portátil y estación de control durante la operación (Consumo típico de equipos informáticos)	0.4	kWh/campaña
Baterías	Ciclos de carga del conjunto de baterías del UAV (Autonomía típica de vuelo de 20–30 min)	2	ciclos/campaña
Gas patrón	Mezcla certificada utilizada para verificación/calibración de sensores	0.2	L/campaña

Personal	Técnico piloto de drones (Preparación, operación y desmontaje del sistema)	3	h/campaña
	Ingeniero de procesos (Supervisión técnica y verificación de mediciones)	1.5	h/campaña
Equipo	Uso del UA3V y sistema de sensores	1	Jornada de uso

Tabla 8.*Consumo por informe*

Tipo de recurso	Descripción	Consumo por informe	Unidad
Energía	Uso de computador para procesamiento y análisis de datos	0.5	kWh/informe
Personal	Ingeniero de procesos (Procesamiento de datos y generación de mapas)	4	h/informe
	Gerente general (Revisión técnica y validación del informe)	1	h/informe
	Secretaria (Formato, organización y envío del documento)	1	h/informe

3.2.2 Costos de Producción

Los costos estimados para el primer año se presentan en la tabla 9. En el [apéndice J](#) se detalla el cálculo de los costos unitarios por campaña y los supuestos considerados.

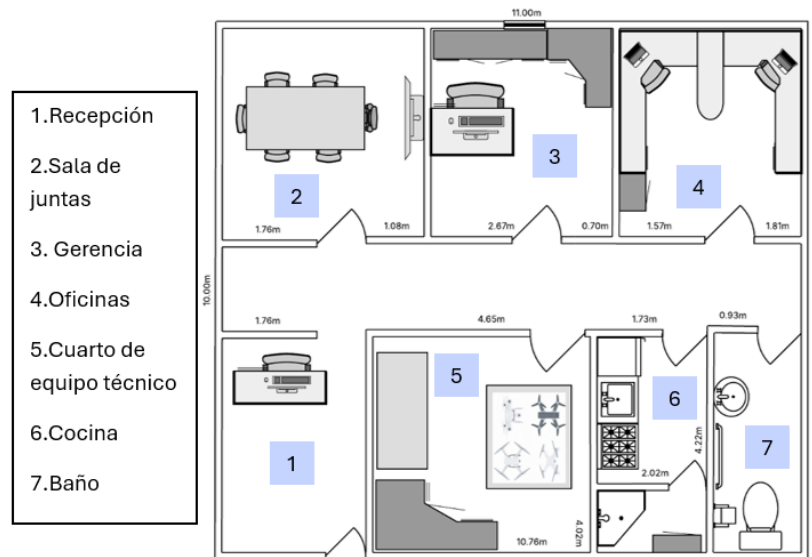
Tabla 9*Costos de producción*

Concepto	Monto [COP]
Costos directos	\$99,307
Mano de obra directa	\$71,628
Mano de obra indirecta	\$7,959
Uso de equipos (UAV, sensores y baterías)	\$120,000

3.2.3 Infraestructura

El diseño arquitectónico de la infraestructura operativa se presenta en la figura 3, correspondiente al *Layout* general de las instalaciones proyectadas para la empresa, con un área total aproximada de 110 m².

Figura 3.
Layout en vista superior de las instalaciones

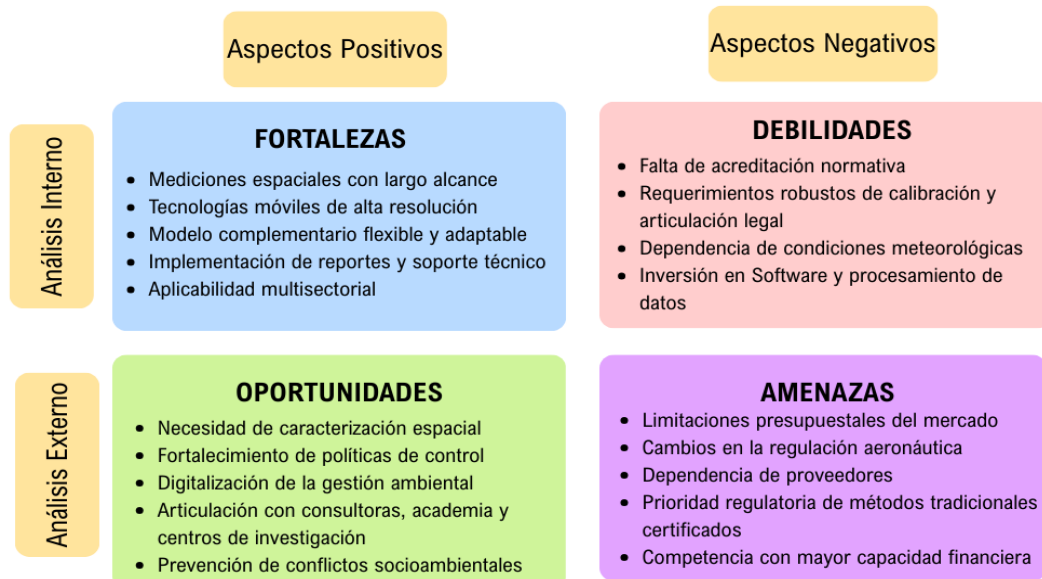


4. Organización

4.1 Estrategia organizacional

4.1.1 Análisis DOFA

Figura 4.
Análisis DOFA



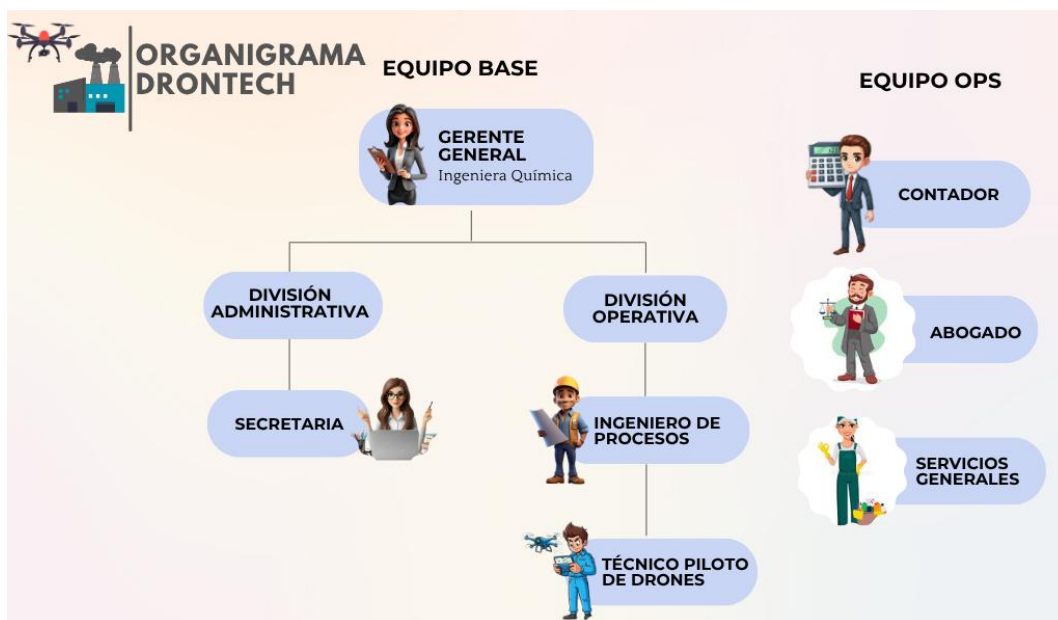
F1-O2: Aprovechar la capacidad de integración entre medición móvil, análisis espacial e interpretación técnica para atender la creciente demanda de información ambiental detallada asociada al fortalecimiento de políticas de control y seguimiento ambiental (SENSAERO, s.f.).

F5-O5: Enfocar la aplicación multisectorial del servicio en industrias con alta exposición a conflictos socioambientales (Swissinfo.Ch, s.f.), fortaleciendo la trazabilidad y el control preventivo de emisiones.

F3-A1: Reducir el impacto de restricciones presupuestales (MAVDT, 2007) ofreciendo servicios modulares y escalables según las necesidades del cliente.

4.1.2 Estructura Organizacional

Figura 5.
Organigrama de la empresa



4.1.3 Organismos de Apoyo

Para fortalecer la viabilidad técnica y el escalamiento del proyecto, se propone un modelo de colaboración estratégica basado en el ecosistema de innovación colombiano. Esta alianza

incluye al SENA como aliado fundamental en la formación técnica especializada y el acceso a fondos de fomento para el desarrollo de prototipos, y al IDEAM, cuyo respaldo es vital para la validación de metodologías y la alineación del servicio con los estándares nacionales de monitoreo atmosférico. Asimismo, la vinculación con la Asociación de Profesionales de Drones (APD) en Colombia garantizará la actualización constante en normatividad aeronáutica y la certificación de operaciones seguras bajo los más altos estándares de la industria nacional.

4.2 Aspectos legales

4.2.1 Constitución Empresa y Aspectos Legales

Para la ejecución y escalamiento del proyecto, se definió una Sociedad por Acciones Simplificadas (S.A.S.). Esta figura jurídica se seleccionó por su flexibilidad administrativa y la facilidad que ofrece para estructurar un gobierno corporativo robusto, permitiendo limitar la responsabilidad de los socios y facilitar la entrada de futuros inversionistas. Actualmente, la iniciativa se encuentra en fase de planificación estratégica y, una vez asegurado el capital inicial, se procederá con el registro formal, priorizando la adquisición de seguros de responsabilidad civil para mitigar riesgos operativos asociados al uso de drones. La operatividad del servicio está sujeta a un ecosistema normativo multidimensional que garantiza la legalidad y seguridad de las misiones.

- **Gestión Comercial y Urbana:** La operatividad del servicio se fundamenta en un ecosistema normativo multidimensional que abarca la gestión comercial y urbana mediante el cumplimiento de los requisitos de la Cámara de Comercio y la [DIAN \(NIT / RUT\)](#).
- **Regulación Aeronáutica:** Exige el registro formal de las aeronaves, la certificación de los pilotos y el cumplimiento estricto de los protocolos de seguridad en el espacio aéreo.

- **Marco Laboral y Tributario:** garantiza la vinculación del talento humano bajo el Código Sustantivo del Trabajo, asegurando la seguridad social y ARL.

Finalmente, se tramitará el registro de marca ante la Superintendencia de Industria y Comercio, garantizando la exclusividad de la identidad visual y el nombre comercial.

4.3 Costos administrativos

4.3.1 Gastos de Personal

La proyección del presupuesto de personal incorpora la carga prestacional integral conforme a la legislación laboral colombiana vigente. El capital humano se ha estructurado en dos nodos estratégicos: un grupo vinculado mediante contratos laborales indefinidos y un frente de apoyo especializado gestionado bajo la modalidad de prestación de servicios. En la tabla 10 encontramos un estimado mensual de los salarios en el primer año para ambos grupos, siguiendo una rúbrica según su experiencia y actividades a realizar.

Tabla 10
Salarios Personal de Trabajo

Cargo	Cantidad	Base Salarial Estimada*	Factor Prestacional (51%)**	Costo Total Mensual
Gerente General	1	\$5,252,715	\$2,671,111	\$7,923,826
Ingeniero de Procesos	1	\$3,501,810	\$1,780,740	\$5,282,550
Técnico Piloto	1	\$3,501,810	\$1,780,740	\$5,282,550
Secretaria	1	\$1,750,905	\$890,370	\$2,641,275
Contador	1	\$1,750,905	\$0	\$1,750,905
Abogado	1	\$1,750,905	\$0	\$1,750,905
Servicios Generales	1	\$875,453	\$0	\$875,453
Total				\$25,507,464

Nota:

*Se estimaron acorde a el S.M.M.L.V. y la experiencia requerida.

** El factor prestacional del 51% se justifica por la inclusión de salud, pensión, ARL, caja de Compensación, ICBF, SENA, cesantías, prima y vacaciones. (Consejo de la ReJO, s.f.)

4.3.2 Gastos de Puesta en Marcha

Tabla 11

Puesta en marcha

Concepto	Descripción	Costo estimado (COP)
Registro empresa	Costos asociados a la constitución legal de la empresa, incluyendo inscripción en Cámara de Comercio y formalización jurídica (Cámara de Comercio de Bogotá, s.f.).	\$ 1,000,000
Registro RUT	Inscripción del Registro Único Tributario ante la DIAN para habilitar la actividad económica (DIAN, s.f.).	\$ 0
Registro UAV	Registro de los 2 vehículos aéreos no tripulados ante la autoridad aeronáutica competente para su operación legal (Aeronáutica Civil, s.f.).	\$ 600,000
Desarrollo técnico	Elaboración de protocolos operativos, procedimientos técnicos y documentación del servicio.	\$ 1,000,000
Otros gastos	Costos asociados a trámites administrativos, papelería, gestión documental e imprevistos.	\$ 500,000
Total		3,100,000

4.3.3 Gastos Anuales de Administración

La gestión administrativa requiere una asignación de recursos destinada a garantizar la operatividad de la sede física en Bogotá y el soporte logístico de las actividades de oficina. Estos gastos se han proyectado de forma anual, considerando un inmueble de uso comercial en estrato 4, el cual no cuenta con subsidios y debe realizar aportes de contribución al sistema de servicios públicos según la normativa vigente (Ley 142 de 1994, s.f.). En la tabla 12 se presentan a detalle estos gastos.

Tabla 12
Presupuesto administrativo

Ítem Administrativo	Valor Mensual Estimado	Valor Anual Estimado	Justificación
Energía Eléctrica (Minenergía, 2026.)	\$200,000	\$2,400,000	Restante requerido en caso de falla de paneles solares.
Acueducto y Alcantarillado (Tarifas 2026, s.f.)	\$120,000	\$1,440,000	Consumo básico de agua para oficina.
Internet y Telefonía IP (Movistar, 2026.)	\$105,000	\$1,260,000	Plan corporativo de fibra óptica (mín. 300 Mbps).
Almacenamiento (Cámara Valencia, 2026.)	\$368,000	\$4,416,000	Almacenamiento en la nube para guardar toda la información digital
Aseo y Cafetería	\$200,000	\$2,400,000	Insumos de limpieza y consumo básico de oficina.
Papelería y Útiles	\$150,000	\$1,800,000	Artículos de impresión y demás.
Trámites y Renovaciones* (Legis, 2026.)	N/A	\$900,000	Renovación de Matrícula Mercantil
Mantenimiento Paneles Solares (Fogo, s.f.)	N/A	\$600,000	Mantenimiento y limpieza básico.
Total	\$1,143,000	\$15,216,000	

Nota:

*Incluye renovación de la matrícula mercantil, la renovación del registro único de proponentes y certificados de existencia y representación.

5. Finanzas

5.1 Ingresos

5.1.1 Fuentes de Financiación

La inversión inicial se estimó en \$97,462,000 COP, incluyendo equipos, sensores, baterías, adecuaciones y demás requerimientos para el inicio de operaciones. Adicionalmente, se contempló un capital de trabajo y gastos administrativos equivalente a dos meses de operación. En conjunto, el requerimiento total de financiación asciende a \$150,190,000 COP, el cual se plantea cubrir

mediante una estructura mixta que combina aportes de los emprendedores, financiación externa y programas de apoyo al emprendimiento.

Tabla 13

Fuentes de financiación del proyecto

Fuente	Tipo de recurso	Destinación	Valor (COP)	Participación (%)
Aportes emprendedores	Capital propio	Inversión inicial (equipos, adecuaciones)	90,190,000	60%
Crédito bancario	Financiamiento externo	Costos operativos	30,000,000	20%
Programas de apoyo	Cofinanciación / capital semilla	Capital de trabajo	30,000,000	20%
Total			150.190.000	100%

En este contexto, el proyecto puede acceder a iniciativas como iNNpulsa Colombia, que ofrece programas de cofinanciación y fortalecimiento empresarial para empresas innovadoras. Asimismo, se destacan instrumentos como el Fondo Emprender del SENA, el cual otorga recursos de capital semilla que pueden ser condenables, siempre que se cumplan los indicadores y metas establecidas, representando una alternativa favorable para reducir la carga financiera del proyecto en su etapa inicial.

5.1.2 Formatos Financieros

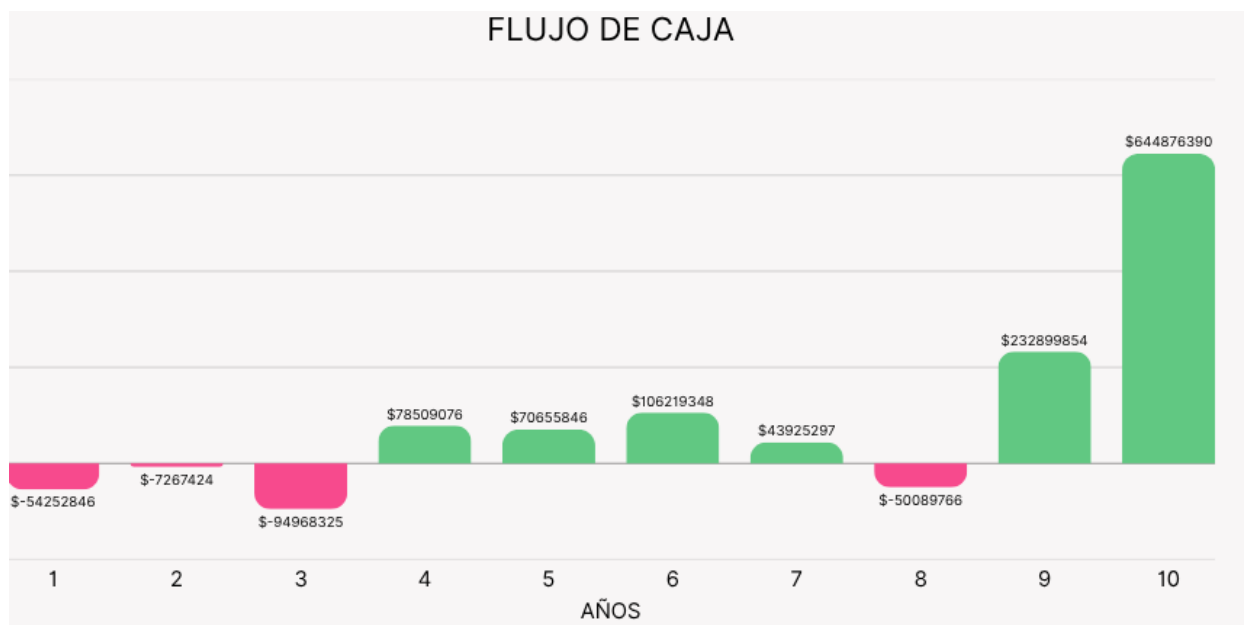
El estado de resultados proyectado a 10 años evidencia la evolución financiera del proyecto, caracterizada por un crecimiento sostenido en los ingresos y una mejora progresiva en la rentabilidad. Los ingresos aumentan de \$257.400.000 en el año 1 a \$3.280.200.925 en el año 10, reflejando la expansión de la demanda del servicio. Aunque en los primeros años se presentan resultados negativos debido a la carga de costos e inversión inicial, el proyecto alcanza utilidades positivas a partir del año 4, mostrando una tendencia creciente en la utilidad neta hacia el final del

periodo. En conjunto, estos resultados indican que el proyecto logra superar su etapa inicial y consolidar su desempeño financiero en el largo plazo.

Tabla 14.
Estado de resultados

Año	Ingresos	OPEX	EBITDA	Utilidad operativa	Utilidad neta
1	\$257,400,000	\$350,405,570	-\$93,005,570	-\$107,122,070	-\$68,369,346
2	\$380,797,560	\$401,212,733	-\$20,415,173	-\$34,531,673	-\$21,383,924
3	\$528,142,416	\$624,511,053	-\$160,773,534	-\$185,616,234	-\$119,811,025
4	\$820,400,585	\$713,903,050	\$106,497,534	\$81,654,834	\$53,666,376
5	\$975,295,145	\$880,450,813	\$94,844,331	\$70,001,631	\$45,813,146
6	\$1,154,281,310	\$1,004,243,767	\$150,037,543	\$125,194,843	\$81,376,648
7	\$1,280,732,827	\$1,226,532,286	\$54,200,542	\$29,357,842	\$19,082,597
8	\$1,776,296,386	\$1,765,146,140	-\$82,018,757	-\$91,225,690	-\$59,296,699
9	\$2,365,067,586	\$2,011,717,698	\$353,349,888	\$344,142,955	\$223,692,921
10	\$3,280,200,925	\$2,293,040,981	\$987,159,944	\$977,953,011	\$635,669,457

Figura 6
Flujo de Caja



La figura 6 presenta la gráfica del flujo de caja neto proyectado a diez años, donde se ilustra la transición financiera del proyecto desde la etapa de inversión inicial hasta la consolidación de la rentabilidad. Este esquema permite visualizar los periodos de recuperación de capital y el crecimiento exponencial de los beneficios netos a lo largo del horizonte evaluado.

La evaluación financiera del proyecto se realizó mediante el cálculo de indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el retorno sobre la inversión (ROI), utilizando una tasa mínima de rendimiento del 12%. Estos valores se muestran en la tabla 15. El VPN indica que el proyecto genera valor en términos presentes y supera la inversión inicial. Por su parte, la TIR fue superior a la TMR establecida, evidenciando que el proyecto es rentable y ofrece una rentabilidad mayor al costo de oportunidad del capital.

Adicionalmente, el ROI muestra que el proyecto permite recuperar la inversión inicial y generar beneficios adicionales a lo largo del horizonte de evaluación. En conjunto, estos indicadores confirman la viabilidad financiera del proyecto bajo un escenario de crecimiento progresivo y control de costos. Los cálculos detallados se encuentran en el apéndice K.

Tabla 15
Indicadores financieros

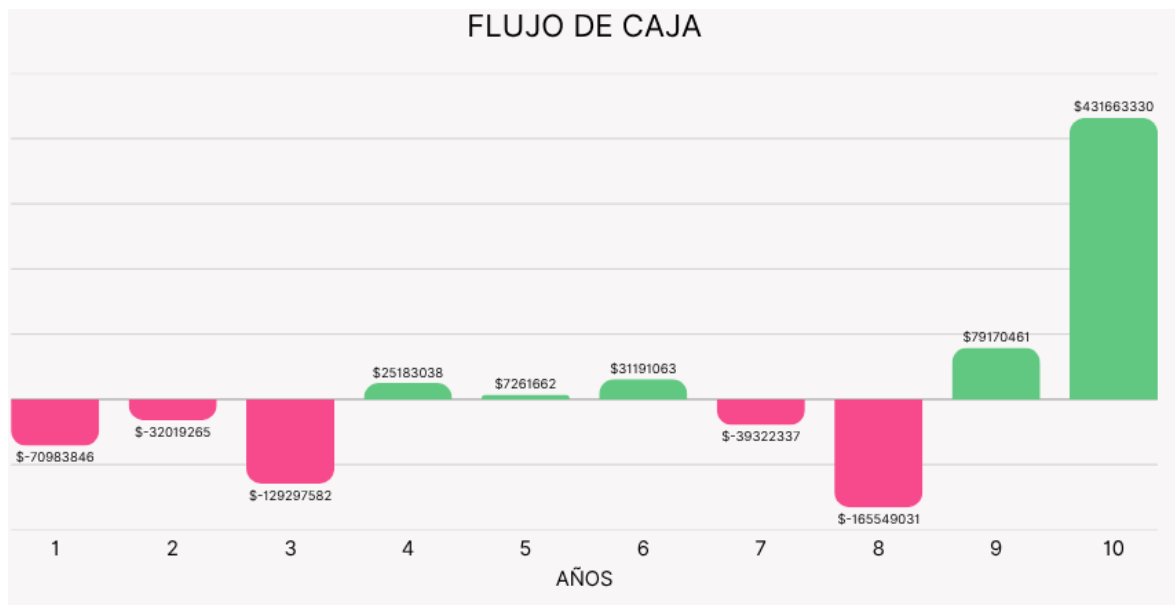
Indicadores	Resultados
TMR	12%
VPN	\$157,420,206
TIR	21%
ROI	2

5.2. Análisis de sensibilidad

Con el fin de evaluar la sensibilidad del proyecto frente a cambios en el precio del servicio, se analizaron dos escenarios con una variación del $\pm 10\%$, equivalente aproximadamente a \$715.000 COP por campaña, manteniendo constantes las demás variables del modelo.

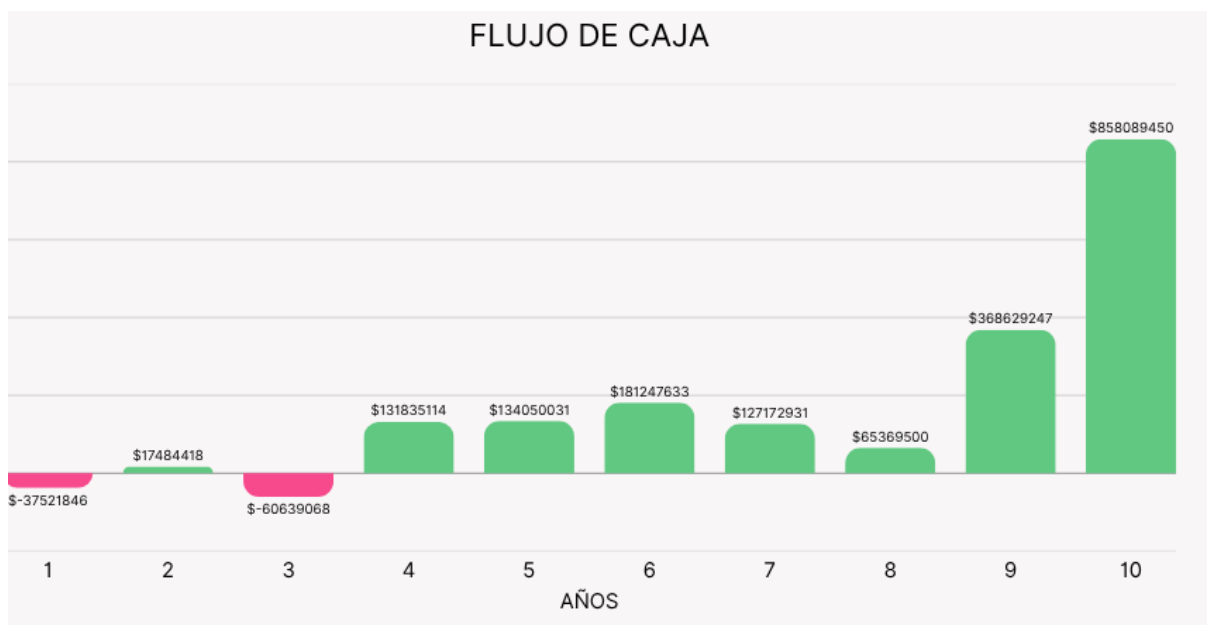
En el escenario pesimista, correspondiente a una disminución del 10% en el precio del servicio, se observa un impacto negativo significativo en los indicadores financieros. El proyecto presenta un Valor Presente Neto (VPN) de -\$217.932.300 COP y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de -2%, lo que indica que bajo estas condiciones no se logra recuperar la inversión ni generar rentabilidad. Adicionalmente, los flujos de caja como se evidencia en la figura 7 muestran mayor presión durante los primeros años, evidenciando la alta dependencia del ingreso por servicio.

Figura 7
Peor escenario



Por el contrario, en el escenario optimista, asociado a un incremento del 10% en el precio del servicio, los resultados muestran una mejora considerable en la viabilidad del proyecto. En este caso, se obtiene un VPN de \$532.772.713 COP y una TIR del 38%, valores que superan ampliamente la tasa mínima de rendimiento establecida (12%), indicando una alta rentabilidad y generación de valor y el flujo de caja mejora considerablemente como se muestra en la figura 8.

Figura 8
Mejor escenario



Los resultados evidencian que el proyecto es altamente sensible a variaciones en el precio del servicio, incluso ante cambios moderados del 10%. Esta sensibilidad se explica por la estructura de costos del negocio, caracterizada por una alta proporción de costos fijos, lo que hace que pequeñas variaciones en los ingresos tengan un efecto amplificado sobre la rentabilidad.

En consecuencia, se concluye que la definición del precio del servicio es un factor crítico para la sostenibilidad financiera del proyecto.

6. Plan Operativo

6.1 Cronograma de Actividades

Tabla 16
Cronograma

Fase	Actividad	Meta	Responsable	Semanas									
				1	2	3	4	5	6	7	8		
Estructuración Legal, Financiera y Operativa	Formalización ante la Cámara de Comercio de Bogotá, solicitud de permisos requeridos, registro de la aeronave y contratación de personal.	Operar bajo total cumplimiento normativo con un equipo de trabajo completo y eficiente.	Gerente General y Abogado										
Implementación Tecnológica e Instalaciones.	Importación y calibración de sensores, adecuación de la oficina e instalación del sistema operativo de autogeneración fotovoltaica.	Establecer una base operativa autosustentable con capacidad de procesamiento de datos inmediata.	Gerente General y Técnico Piloto										
Estandarización de Procesos Técnicos	Desarrollo de protocolos de medición, asegurando la precisión de las mediciones.	Garantizar que la entrega de resultados mediante el informe técnico cumpla con la veracidad y tiempos propuestos.	Ingeniero y Técnico Piloto										
Ejecución Comercial	Iniciar la captura de mercado objetivo en la zona, estableciendo alianzas estratégicas.	Lograr los primeros contratos de medición mediante el factor de diferenciación tecnológica y mejora de precios.	Gerente, Ingeniero, Técnico y secretaria										

7. Conclusiones

El desarrollo de la propuesta de una empresa dedicada a la medición de emisiones gaseosas mediante drones es viable bajo condiciones específicas. En cuanto a la viabilidad de mercado, se identificó una demanda potencial relevante en sectores industriales con alta carga normativa; sin

embargo, la penetración inicial se verá limitada por la presencia de competidores consolidados y por la adopción aún incipiente de tecnologías no convencionales, lo que exige una estrategia enfocada en la diferenciación y generación de confianza técnica.

Legalmente, el proyecto es pertinente pero no plenamente habilitante, dado que el marco normativo colombiano restringe el uso de estas tecnologías a un enfoque complementario. Esta condición impide que el servicio sustituya métodos certificados para cumplimiento regulatorio, orientando su valor hacia el diagnóstico y la optimización de la gestión ambiental.

En términos tecnológicos, se determinó que el uso de drones con sensores especializados es aplicable y funcional en el contexto colombiano, con un nivel de madurez adecuado para su implementación. No obstante, la confiabilidad de los resultados depende de los procesos de calibración, validación y control de calidad, reconociendo que las mediciones obtenidas corresponden a aproximaciones espaciales que no reemplazan los métodos tradicionales.

Finalmente, el análisis financiero evidencia que el proyecto es potencialmente rentable y sostenible en el tiempo, aunque sujeto a supuestos críticos relacionados con la tasa de adopción del servicio, la estabilidad de la demanda y la capacidad de expansión operativa. En conjunto, se concluye que el modelo de negocio representa una alternativa innovadora y pertinente para el fortalecimiento del monitoreo ambiental en Colombia, cuyo éxito dependerá de su implementación gradual, validación en campo y adecuada articulación con los esquemas convencionales del sector.

8. Recomendaciones

Con base en los resultados del estudio, se recomienda implementar el proyecto bajo un enfoque gradual y estratégicamente controlado, reconociendo tanto su potencial como las limitaciones identificadas.

En primer lugar, se sugiere validar el modelo de negocio mediante la ejecución de proyectos piloto y casos demostrativos, que permitan evidenciar el desempeño de la tecnología en condiciones reales. Esto facilitará la generación de confianza en el mercado y reducirá la incertidumbre asociada a la adopción de soluciones basadas en UAV.

Desde el ámbito legal, es recomendable posicionar el servicio como una herramienta complementaria al monitoreo tradicional, alineada con la normativa vigente. Asimismo, se sugiere realizar un seguimiento continuo a posibles actualizaciones regulatorias que puedan influir en la operación del servicio, con el fin de anticipar ajustes estratégicos.

En términos tecnológicos, se recomienda fortalecer los protocolos de aseguramiento y control de calidad, garantizando procesos rigurosos de calibración, validación y trazabilidad de los datos. Esto permitirá consolidar la confiabilidad del sistema y respaldar técnicamente los resultados ante clientes y entidades.

En cuanto al mercado, se propone priorizar la construcción de alianzas estratégicas con consultoras ambientales y actores consolidados, facilitando la inserción en el sector y aumentando la credibilidad del servicio. De igual forma, es importante enfocar la comunicación en el valor complementario de la tecnología, más que en su carácter innovador por sí solo.

Finalmente, en el componente financiero, se recomienda adoptar una postura conservadora frente a las proyecciones de crecimiento, dado que estas dependen de variables inciertas como la tasa de adopción del servicio y la evolución del entorno regulatorio. La inversión en activos debe estar estrictamente condicionada a la demanda real, evitando sobrecapacidad operativa en etapas tempranas.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, L. A., Maharjan, P., Peyriere, H. M., & Mamiit, R. J. (2025). Assessing environmental sustainability in Colombia: Metrics and policy recommendations. *Environmental and Sustainability Indicators*, 27, 100812. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100069>
- Actualizan tarifas registrales para el 2026 | Ámbito Jurídico*. (n.d.). Retrieved March 18, 2026, from <https://www.ambitojuridico.com/noticias/civilfamilia/actualizan-tarifas-registrales-para-el-2026>
- Aeronáutica Civil*. (n.d.). Retrieved March 22, 2026, from <https://www.aerocivil.gov.co/>
- Air Quality Monitoring Service Market Report | Global Forecast From 2025 To 2033*. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://dataintelo.com/report/global-air-quality-monitoring-service-market>
- Alphasense UK - Explorar sensores de gas y monitores de calidad del aire*. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.alphasense.com/>
- Análisis del tamaño, la participación y las tendencias del mercado global de servicios de monitoreo de la calidad del aire (2026-2032) - PW Consulting Chemical & Energy Research Center*. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://pmarketresearch.com/chemi/air-quality-monitoring-services-market/>
- Aviación No Tripulada - UAS/Drones*. (n.d.). Retrieved February 16, 2026, from https://www.aerocivil.gov.co/autoridad_aeronautica/publicaciones/3781/aviacion-no-tripulada-uasdrones/

Bogotá, ©. (2007). *MAVDT MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE*. www.k2ingenieria.com

Calibración de Equipos Ambientales y Ocupacionales. (n.d.). Retrieved February 6, 2026, from <https://www.inteconcolombia.com/uncategorized/calibracion-de-equipos-ambientales-y-ocupacionales/>

Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Cámara de Comercio de Bogotá. (n.d.). *Cámara de Comercio de Bogotá | CCB*. Retrieved March 22, 2026, from https://www.ccb.org.co/?gad_source=1&gad_campaignid=23616171817&gbraid=0AAAAALZB0m0_X8Ggyoz1xDSudDfvevin&gclid=CjwKCAjwyYPOBhBxEiwAgpT8PxX501APr4sqG4_qfFNoen_5XNvtZ7c7ZaA2lhBChNUJsScaGvtiuRoCngwQAvD_BwE

Cámaras digitales, fotografía y ordenadores B&H Photo Video. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from https://www.bhphotovideo.com/c/product/1297339REG/dji_cp_sb_000308_matrice_600_pro.html/overview?__cf_chl_tk=0iyFAoTx93zcxkc5Qrt8iW89FNI2belRh2WGUHcCafM-1772682215-1.0.1.1-uCJzQbdJn_vGXJ0V.EHji0__rQRTF.A778_kBmmWpc0

CODIGO SUSTANTIVO DEL TRABAJO. (n.d.). Retrieved March 18, 2026, from <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewdocument.asp?ruta=codigo/30019323>

Colombia tiene 175 estaciones de monitoreo de calidad del aire -. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://www.minambiente.gov.co/colombia-tiene-175-estaciones-de-monitoreo-de-calidad-del-aire/>

CONPES. (n.d.). *CONPES 3943*. Retrieved February 24, 2026, from <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/conpes-3943-de-2018.pdf>

Consultoría de Sostenibilidad y Prevención Ambiental - Geoinnova. (n.d.). Retrieved March 2, 2026, from <https://geoinnova.org/consultoria-de-sostenibilidad-y-prevencion-ambiental/>

Contaminación Atmosférica -. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/>

Contaminación del aire. (n.d.). Retrieved February 6, 2026, from https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

Cuánto Cuesta la Publicidad en Redes Sociales | Precios 2026. (n.d.). Retrieved March 17, 2026, from <https://www.laboratorioweb.com.co/cuanto-cuesta-la-publicidad-en-redes-sociales-en-colombia/>

Cuatro muertos en accidente por acumulación de gases en una mina del centro de Colombia - SWI swissinfo.ch. (n.d.). Retrieved February 24, 2026, from <https://www.swissinfo.ch/spa/cuatro-muertos-en-accidente-por-acumulaci%C3%B3n-de-gases-en-una-mina-del-centro-de-colombia/90793547>

DANE. (2022). *Directorio Estadístico de Empresas.*

<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/registro-estadistico/boletin-directorio-estadistico-empresas-2019-2021.pdf>

Dashboard. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/>

de Protección Ambiental de Estados Unidos, A., de Investigación Desarrollo, O., & Nacional de Investigación de la Exposición, L. (2017). *Cómo evaluar sensores de bajo costo mediante la colocación con monitores del método de referencia federal.*

Detección de gases tóxicos con el Sniffer4D mini2 + DJI Matrice 350| Cielito Drone - YouTube. (n.d.). Retrieved March 8, 2026, from <https://www.youtube.com/watch?v=My-Fhsqs-7c>

Diaz, T. (2026). Smart cities: cómo la monitorización mejora la gestión del tráfico y la calidad del aire. ITENE. <https://itene.com/actualidad/calidad-del-aire-industrial-riesgos-soluciones-y-monitorizacion-avanzada-2/>

Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales - DIAN. (n.d.). Retrieved March 22, 2026, from <https://www.dian.gov.co/>

DJI Technology Co., Ltd. (2016). *Matrice 600 Pro user manual.* <https://www.dji.com/matrice600-pro/info#downloads>

Drone Services Cost 2026: Tech & Oil And Gas Drone Services. (n.d.). Retrieved March 23, 2026, from https://farmonaut.com/mining/drone-services-cost-2026-tech-oil-and-gas-drone-services?utm_source=chatgpt.com

El futuro de las pruebas de emisiones pinta bien: cómo la EPA utiliza drones para evaluar la calidad del aire | EPA de EE. UU. (n.d.-a). Retrieved February 9, 2026, from <https://www.epa.gov/sciencematters/future-emissions-testing-looking-how-epa-using-drones-test-air-quality>

Elaboración y evaluación EIA. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from https://www.anla.gov.co/01_anla/proyectos/nuevo-licenciamiento-ambiental/elaboracion-y-evaluacion-eia

Electrochemical gas sensor - Wikipedia. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from https://en.wikipedia.org/wiki/Electrochemical_gas_sensor

Enviroequip | Environmental Monitoring Equipment | Dublin. (n.d.). Retrieved March 2, 2026, from <https://www.enviroequip.ie/>

Environment: Development news, research, data | World Bank. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://www.worldbank.org/en/topic/environment>

Environmental Consulting Services Market Research Report 2033. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://marketintelo.com/report/environmental-consulting-services-market>

Equipaje de viaje Pelican, mochilas, bolsos de viaje, cubos de embalaje y organizadores. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.pelican.com/us/en/products/travel>

Estimating Appliance and Home Electronic Energy Use | Department of Energy. (n.d.). Retrieved March 12, 2026, from <https://www.energy.gov/energysaver/estimating-appliance-and-home-electronic-energy-use>

How to Fly a Drone: A Beginner's Guide to Multirotor Systems. (n.d.). Retrieved February 16, 2026, from <https://uavcoach.com/how-to-fly-a-quadcopter-guide/#Controls>

IATA - Baterías. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.iata.org/en/programs/cargo/dgr/lithium-batteries/>

Informe del mercado de monitoreo de la calidad del aire | Pronóstico global de 2025 a 2033. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://dataintel.com/report/air-quality-monitoring-market>

Inspección. (n.d.). Retrieved March 2, 2026, from <https://www.intertek.com.co/inspeccion/>

ISO 5725-1:2023 - Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions. (2023). <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/94/69418.html?browse=tc>

ISO 17025: ¿para qué sirve la norma? (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://isotools.org/2024/11/29/que-es-la-norma-iso-17025-y-para-que-sirve/>

ISOTools. (n.d.). *¿Qué es la Norma ISO 14001?* Retrieved February 9, 2026, from <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>

International Electrotechnical Commission. (2020). *IEC 60050-131: International electrotechnical vocabulary – Part 131: Circuit theory.* <https://www.electropedia.org/>

International Organization for Standardization. (1996). *ISO 11095: Linear calibration using reference materials.* <https://www.iso.org/standard/1060.html>

Kit de integración rápida de UAV SNIFFER4D para Mini2. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://volatusdrones.ca/products/sniffer4d-series-dji-m30-integration-kit>

La digitalización puede impulsar la transición hacia un transporte más sostenible en Europa |

Comunicados de prensa | Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). (n.d.). Retrieved February 14, 2026, from <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/digitalisation-can-support-shifting>

Las tarifas de energía bajan más del 16% en todo el país y por encima del 28% en el Caribe

Colombiano. (n.d.). Retrieved March 18, 2026, from <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/las-tarifas-de-energia-bajan-mas-del-16-en-todo-el-pais-y-por-encima-del-28-en-el-caribe-colombiano/>

Ley 142 de 1994 - Gestor Normativo - Función Pública. (n.d.). Retrieved March 18, 2026, from

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>

Ley 1715 de 2014 - Gestor Normativo - Función Pública. (n.d.). Retrieved March 4, 2026, from

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Mantenimiento de paneles solares en Bogotá 2026: cómo elegir el servicio adecuado - Fogo.

(n.d.). Retrieved March 26, 2026, from <https://fogo.com.co/empresa-de-mantenimiento-de-paneles-solares-en-bogota/>

Más allá de Google: comparativa de precios de almacenamiento. (n.d.). Retrieved March 18,

2026, from <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/mas-alla-de-la-nube-de-google-comparativa-de-precios-de-almacenamiento/>

Matrice 600 Pro | Solectric Asia. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from

<https://solectricasia.com/product/matrice-600-pro/>

Matrice 600 Pro - Centro de descargas - DJI Global u otras regiones. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.dji.com/global/downloads/products/matrice600-pro#doc>

Medición de la calidad del aire con drones. (n.d.). Retrieved February 24, 2026, from <https://sensaero.com/servicios-drones/medicion-calidad-de-aire/drones/>

Mercado de Servicios de Consultoría Ambiental: Informe de Análisis del Tamaño, Participación y Tendencias del Mercado Global: Panorama del Sector y Pronóstico hasta 2032 | Data Bridge Market Research. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-environmental-consulting-services-market>

MINAMBIENTE. (n.d.). *Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones Atmosféricas de Colombia Gases de Efecto Invernadero (1990-2021) Contaminantes Criterio y Carbono Negro (2010-2021).*

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (n.d.). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia.* 2021. Retrieved February 9, 2026, from https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-14/informe_del_estado_de_la_calidad_del_aire_en_colombia_2021.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2025). *Política de Gestión Ambiental Urbana (2025-2035).* https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/11/DOC-PGAU-2025_2035_VF-APROBADO_24.pdf

¿Necesitas un seguro para drones? Esto es lo que debes saber. (n.d.). Retrieved March 15, 2026, from <https://iaerocol.co/blog/necesitas-un-seguro-para-drones-esto-debes-saber/>

OECD Environmental Performance Reviews: Colombia 2026. (2026). *OECD Environmental Performance Reviews*. <https://doi.org/10.1787/968398f7-en>

Organización de Aviación Civil Internacional. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.icao.int/>

Planes de internet fibra para Pymes y Medianas Empresas - Movistar. (n.d.). Retrieved March 26, 2026, from <https://www.movistar.com.co/pymes/soluciones-fibra>

Potencia de consumo de equipos eléctricos mas comunes. (n.d.). Retrieved March 6, 2026, from <https://electricaplicada.com/potencia-consumo-equipos-electricos/>

Precio Promedio Servicios de Dron (desde \$100k) | 2x3. (n.d.). Retrieved March 23, 2026, from <https://www.2x3.cl/p/precios-servicios-dron?utm>

Precio Punto Eléctrico Colombia 2026 — Tabla Completa con y sin Materiales. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://presucosto.com/blog/precio-punto-electrico-colombia-2026>

Protocolos de seguridad para operaciones comerciales con drones - Coastal Drone. (n.d.). Retrieved February 16, 2026, from <https://coastaldrone.co/safety-protocols-for-commercial-drone-operations/>

Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II Ambient Air Quality Monitoring Program. (n.d.).

¿QUÉ PUEDE COMPRAR POR MEDIO DE LOS ACUERDOS MARCO? | Colombia Compra Eficiente | Agencia Nacional de Contratación Pública. (n.d.). Retrieved March 9, 2026, from <https://operaciones.colombiacompra.gov.co/tienda-virtual-del-estado-colombiano/acuerdos-marco>

¿Quiénes pueden tener un dron y cómo se debe operar? | UAE CUERPO OFICIAL BOMBEROS DE BOGOTÁ. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from

<https://www.bomberosbogota.gov.co/noticias/quienes-pueden-tener-dron-y-como-se-debe-operar>

Rappel - ¿Qué es un rappel? | SumUp Facturas. (n.d.). Retrieved March 9, 2026, from <https://www.sumup.com/es-es/facturas/glosario/rappel/>

Registro Único Ambiental - RUA | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from <https://www.ideam.gov.co/nuestra-entidad/estudios-ambientales/registros-ambientales/rua>

S L R Ellison and A Williams (Eds). (2012). Cuantificación de la Incertidumbre en Mediciones analíticas. *Guía CG 4 EURACHEM / CITAC*, 1–144. https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1_ES.pdf

Sectores económicos responsables emisiones de gases en Colombia, según Ideam. (n.d.). Retrieved February 8, 2026, from https://diariodelhuila.com/sectores-economicos-responsables-emisiones-de-gases-en-colombia-segun-ideam/?utm_source=chatgpt.com

Sensores infrarrojos (NDIR): una guía completa - Sensor One Stop: el proveedor de sensores y cadena de suministro de China con la mejor relación calidad-precio. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://sensor1stop.com/knowledge/ndir-sensor/>

SGS Colombia | Somos la empresa líder a nivel mundial en análisis, inspección y certificación. (n.d.). Retrieved March 2, 2026, from <https://www.sgs.com/es-co>

Sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) - Sonidos naturales (Servicio de Parques Nacionales de EE. UU.). (n.d.). Retrieved February 6, 2026, from <https://www.nps.gov/subjects/sound/uas.htm>

Sniffer4D + AIRINS.ai | Aerial & Ground Gas Detection & Mapping. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.airins.com/sniffer4d-airins-ai>

Sniffer4D – Sniffer4D – Mobile Air Poluttant Mapping System. (n.d.). Retrieved March 2, 2026, from <https://sniffer4d.eu/sniffer4d/>

Sniffer4D Sistema de detección y mapeo de gases para dron - ACRE - España. (n.d.). Retrieved March 8, 2026, from https://grupoacre.es/catalogo-productos/sniffer4d-sistema-de-deteccion-y-mapeo-de-gases-para-dron/?srsltid=AfmBOoqao_2TW3LP6vwiaY-RbLIA8EkVMYfdwLNGhcaOIxYbs4L1ptjm#software

SOARABILITY | iatecps. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://es.iatecps.com/soarability>

Soarability Technologies. (2023). https://sniffer4d.eu/wp-content/uploads/2023/05/Sniffer4D_V2_Components-Specs.pdf

Szuniewicz, K., Czyża, S., Kowalczyk, K., Ogrodniczak, M., & Kozakiewicz, T. (2026). Testing measurement strategies using unmanned aerial vehicles to optimize airborne mission parameters. *Measurement*, 262(1), 119974. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.119974>

Tarifas 2026. (n.d.). Retrieved March 18, 2026, from https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas_2026!/ut/p/z1/zVfbdqJKEP0VX3wkFN3QwHITY1DjJXg5iby4Cmg

SZhAcwDgzX3-

amMx4SSA5xjWDS7G7q3ZVF7urCtmR72QnxsfwHvMwiTES47nDFtcGIx3LIMPR6FoF

NrYmo9ZAozeXIN8-

CTC7BYoBZAj2GMC2zRG16JRYPSO7e8sqaYE9uWmOR7NWx5yA_K_syE6WF79enK_yB3m-

StIcozhdeEmc8zhf8KwO62yNaZjUAZduKCZ5HTKMOS6LQVKL0OVRHVYRxgufL0JfzIZB6KEn9rH4IaDSIHtPA7EsgPl38Z9nC56m6KMwgI8Ye7yG8Rqjms8FYIb7LVd7liv8X

HmhL89Vfw3klEiE-oak-

lSTDNSoZIKmaMyHQDPJUXSOtl8WHUV51oe9qwHNMWISAGtE9vWNK80UwSc2tWHWMdjr-

rtI79MvcXBfX5legt3oTC1mmaTb0A71jwVK9t9p03L7hUCJfltRy_ULAWeX3aBMxP77fe16rE8V1T7St64GQoA17JGmDmFkwfvslxj4WPz37at98kH_jw04HzvduxtUbqb0ff6XGHDK6XlbnLeKE1CF4ZSSjNJDAYtdFSnMaoChNqA_1isQ2rRUYBumAxPHPCozMWA vPvyKpKUPdLBvxtAHVQe4JOUmCqr0ZOc-StxtUm_ELjXuZSflAU95erFOxfRDnq-yf-

pQh81mc4HemvtrL08uvGQpvnV4TfEhEcn77jV5eS4evv5m8uiI7PgY8o08i5N0Kbya_M6t3HPBAJ1KCIJTUpEyyWCGIbkK6kx1XYrMIDtQZUE70cIB_GjU1MDuNo0xbaqkOyCfc7-

XHLvaFTmv98qJ8L2q2iXIEn759s1piMpeFPLvgicVpf2FQbUfNYw8jHMxH0Xoi7UIa2EcpMizPBUi6xSLIv1LQ3QDYZbZpSjaxbSLYuCF2-

Zg2xbk26U8xfy5aSh9AKRrs7cjZAaKaTKkEpq-

iBAAtIqQTJgHTFUNROJpgVsHTs8IzOC_8qcHpVbUOfxF9khVPnxrJp74wyWpvc5enpM6s5NQxj3pgMFUShwwkVVGJhOiBFDBVdJTUCxi6Vfd658Lv5wxVp58C_0YRa_XIWb0fwonwvao2QFCWpIPWQJTHFeYPkmBclt_tksVPeYxf-

J8k94sLB8_isHcsYdK73nzK4Rk5L7xyXnh6VvjBqcHpVb0W_A_6_dm37tVy9tX9GVzvX
H02bhefYJBrrna_XFw2h9K89_jz-
dYPBm1azL_ccmMzDZYtd_d2a7w62_gPmMmGlg!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/?st
=&uri=nm%3Aoid%3AZ6_6QC01802NG6F00QQGA084A0B45

The Future of Air Quality Monitoring - Trends 2025 | Airly. (n.d.). Retrieved February 9, 2026,
from <https://airly.org/en/the-future-of-air-quality-monitoring-trends-and-predictions-for-2025/>

Tipo NDIR - Principio de funcionamiento - Tecnología - FIGARO Engineering inc. (n.d.).
Retrieved March 3, 2026, from <https://www.figarosensor.com/technicalinfo/principle/ndir-type.html>

Tipos de sensores de gas, principios de funcionamiento y aplicaciones. (n.d.). Retrieved March 3,
2026, from <https://www.renkeer.com/gas-sensors-types-working-principles/>

Ubicaciones industriales, manufactureras y de recursos en Colombia. (n.d.). Retrieved February
8, 2026, from https://www.xmap.ai/location-intelligence-reports/industrial--manufacturing--resources-locations-in-colombia?utm_source=chatgpt.com

Vibok Air | Topografía del Aire - Servicios de Drones en Punta Cana. (n.d.). Retrieved March 23,
2026, from <https://airvibok.com/>

Villa, T. F., Salimi, F., Morton, K., Morawska, L., & Gonzalez, F. (2016). Development and
Validation of a UAV Based System for Air Pollution Measurements. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(12), 2202. <https://doi.org/10.3390/s16122202>

Apéndices

Apéndice A

Análisis PESTEL

Político (P): El sector del monitoreo de calidad del aire en Colombia está respaldado por instrumentos institucionales como SISAIRES, lo cual evidencia continuidad estatal en la vigilancia atmosférica y la gestión de información ambiental (Colombia Tiene 175 de Calidad Del Aire, s.f.).

Económico (E): El sector requiere inversión en infraestructura y equipos, donde la adopción de tecnologías avanzadas depende en gran medida de importaciones, incrementando costos y constituyendo una barrera de entrada para nuevos actores (World Bank, s.f.).

Social (S): La contaminación atmosférica se asocia a impactos relevantes con salud pública, lo cual incrementa la presión social por mejorar la vigilancia ambiental, la transparencia de datos y el control de emisiones en zonas urbanas e industriales (Airly, s.f.).

Tecnológico (T): El sector avanza mediante la adopción de, herramientas digitales y estrategias de monitoreo flexible, donde la literatura científica respalda el uso de drones como plataformas móviles para campañas exploratorias. (Villa et al., 2016)

Ambiental (A): La existencia de estrategias orientadas a fortalecer la gestión de calidad del aire mantiene vigente la necesidad de monitoreo como base para diagnóstico y mitigación, especialmente ante brechas de cobertura y variabilidad de contaminantes. (OECD, 2026)

Legal (L): La operación de drones en Colombia está regulada por la Aeronáutica Civil, lo cual establece requisitos y restricciones para actividades comerciales basadas en UAV, condicionando la implementación de plataformas en servicios de monitoreo ambiental (Aeronáutica Civil, s.f.).

Apéndice B.*Estudio de Mercado*

Con el fin de contextualizar la magnitud y distribución sectorial de las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia, en la tabla 17 se presenta la participación porcentual de los principales sectores económicos en el inventario nacional de emisiones (IDEAM, s.f.). Esta caracterización permite identificar aquellos sectores con mayor incidencia ambiental y establecer su relación con las necesidades de medición, control y gestión de emisiones gaseosas desde una perspectiva técnica e industrial.

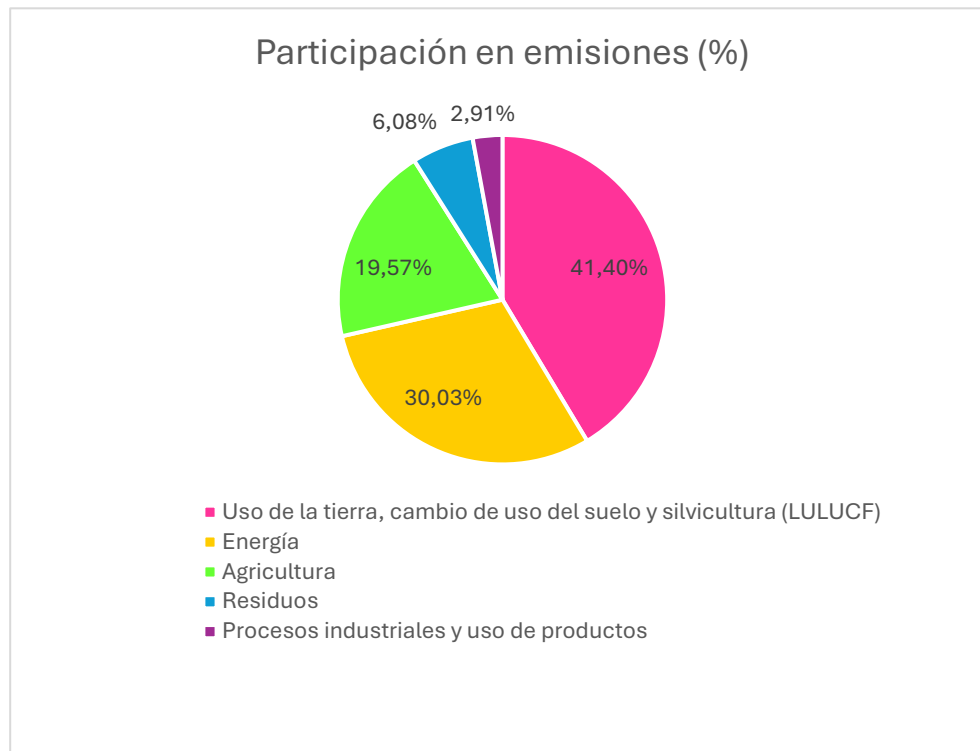
Tabla 17.*Participación y descripción de los sectores económicos*

Participación (%) de los Sectores Económicos	Descripción general del sector	Relación con el objeto del estudio
Uso de la tierra, cambio de uso del suelo y silvicultura (LULUCF) 41.4 %	Procesos de deforestación, degradación de ecosistemas, cambios en la cobertura vegetal y prácticas de manejo forestal.	No es mercado objetivo directo, requieren un monitoreo ecosistémico a gran escala y análisis del suelo.
Energía 30.03 %	Generación eléctrica, combustión industrial, transporte y uso de combustibles fósiles.	Sector prioritario, sus fuentes se identifican claramente con condiciones operativas definidas y bajo un marco regulatorio estricto.
Agricultura 19.57 %	Producción agropecuaria, fermentación y manejo de suelos.	Relación indirecta; solo relevante en subprocesos agroindustriales.
Residuos 6.08 %	Disposición de residuos sólidos, aguas residuales y descomposición de la materia orgánica.	Relevante en proyectos puntuales (rellenos, PTAR), pero no eje del servicio.
Procesos industriales y uso de productos 2.91 %	Producción de cemento, industria química, refinación y manufactura pesada.	Sector clave por sus altas concentraciones de emisiones en espacios localizados, condiciones operativas y cumplimientos legales.

Desde la perspectiva del presente estudio, esta distribución sectorial permite diferenciar entre sectores de alta contribución al inventario nacional y aquellos que, aun con una participación porcentual menor, presentan una mayor demanda técnica de servicios especializados de medición de emisiones gaseosas, debido a la naturaleza de sus procesos y a las exigencias normativas asociadas.

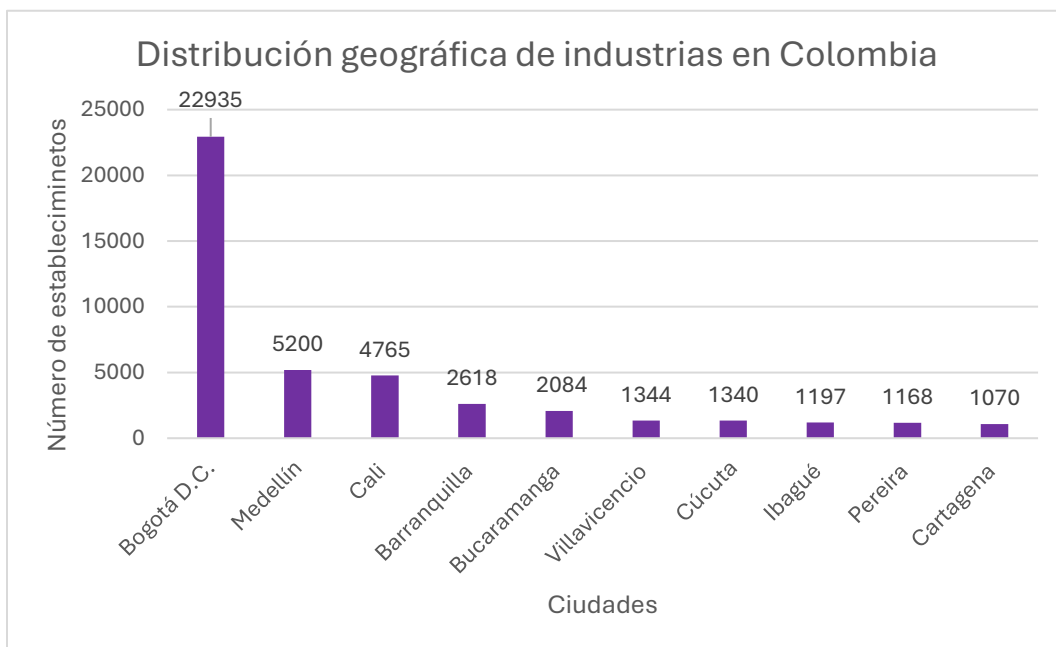
A partir de la información consolidada en la tabla anterior, se evidencia una distribución heterogénea de las emisiones entre los distintos sectores productivos. Con el objetivo de facilitar la interpretación visual de estas diferencias y resaltar el peso relativo de cada sector en el total de emisiones nacionales, dicha información se representa gráficamente en la figura 9, permitiendo una comparación directa entre sectores.

Figura 9.
Participación en emisiones



Los datos de distribución geográfica de establecimientos industriales se basan en informes de localización industrial actualizados en 2025, los cuales agrupan ubicaciones de actividades industriales, manufactureras y de recursos en Colombia como se ve en la figura 10. Las cifras reflejan la concentración relativa de industrias en las principales ciudades del país, lo que permite inferir potenciales zonas de demanda de servicios de medición de emisiones gaseosas, dada la relación entre concentración industrial y generación de emisiones contaminantes.(Ubicaciones Industriales, Manufactureras y de Recursos En Colombia, s.f.)

Figura 10.
Distribución geográfica de las industrias en Colombia



Apéndice C

Demanda del servicio

Para determinar el universo de clientes potenciales, se tomó como base el Directorio Estadístico de Empresas ([DEE](#)) (DANE, 2022), fuente oficial que permite dimensionar el tejido empresarial en Colombia. Según los registros consolidados de la entidad para el año 2021, el país contaba con un total de 5,704,308 unidades económicas, distribuidas en 4,837,778 personas naturales y 866,530 personas jurídicas, con una concentración predominante en la ciudad de Bogotá y de las cuales únicamente 6,167 son empresas grandes.

Con el fin de precisar el nicho de mercado objetivo para los servicios de monitoreo ambiental con tecnología UAV, se realizó un filtrado selectivo de los sectores con mayor carga regulatoria y necesidad de control de emisiones: Industrias Manufactureras y Suministro de Electricidad, Gas y Gestión de Desechos. De este análisis se deriva un total de 831,324 organizaciones (sumando las unidades jurídicas y naturales de dichos sectores) (DANE, 2022), cuya distribución detallada por actividad económica se presenta en la tabla 18.

Tabla 18.

Sectores económicos de interés en el año 2021

Sector Económico	Número de empresas	Participación %
Industrias manufactureras	346	5.6%
Transporte y almacenamiento	265	4.3%
Construcción	246	4.0%
Suministros de electricidad, gas, agua y gestión de desechos	30	0.5%
Explotación de minas y canteras	18	0.3%
Total	905	14.7%

Posteriormente, considerando que el informe del DANE reportó los porcentajes de empresas grandes que conforman ese mercado un crecimiento en la base empresarial del 13.31%

respecto al periodo anterior (DANE, 2022), se aplicó una proyección de interés lineal anual para estimar el volumen de organizaciones al cierre de 2026. Como se observa en la tabla 19, esta dinámica de crecimiento permite prever un mercado potencial robusto para el año de horizonte del proyecto.

Tabla 19.
Estimación de las empresas en el año 2026

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Total	5,443	6,167	6,988	7,918	8,972	10,166	11,520

Finalmente, para cuantificar la demanda nacional, se ha establecido una suposición técnica basada en la frecuencia de monitoreo. Se estima que cada empresa dentro de este segmento requiere entre 1 y 3 servicios de medición de contaminantes gaseosos anuales, combinando las obligaciones (normativa ambiental vigente) con mediciones preventivas de control de procesos. Bajo esta premisa, la demanda total de servicios a nivel nacional se define mediante la siguiente expresión:

$$11,520 \text{ empresas} \times 2 \text{ Servicios} = 23,040 \text{ Servicios en Colombia para el 2026}$$

Apéndice D.*Precio del servicio*

La estrategia de precios del proyecto se fundamenta en un análisis comparativo que distingue entre servicios de drones convencionales, servicios especializados de ingeniería y los costos de la consultoría ambiental tradicional en Colombia.

En el mercado actual, los servicios básicos de drones orientados a captura de video, inspección visual o monitoreo simple presentan tarifas base desde los \$500.000 COP por vuelo (Precio Promedio Servicios de Dron, s.f.). Sin embargo, la naturaleza técnica de este proyecto, que integra sensores, procesos de calibración constante y procesamiento de datos ambientales complejos, exige una valoración superior alineada con servicios de ingeniería especializada.

Bajo esta premisa, se observa que servicios de alta precisión como la topografía y la georreferenciación alcanzan tarifas promedio de \$3,000,000 COP por jornada operativa (Vibok Air, s.f.). Considerando que el costo global por hora de servicios especializados con UAV se proyecta en torno a los 350 USD (aprox. \$1.400.000 COP) (Drone Services Cost, s.f.), se establece una tarifa base competitiva de \$1.300.000 COP por equipo o fuente monitoreada. Este valor permite ofrecer una escala de precios flexible y diversificada que responde directamente a la complejidad y necesidades específicas de cada cliente.

La viabilidad comercial de esta propuesta radica en su eficiencia económica frente a los métodos convencionales. Según las cotizaciones de referencia para servicios tradicionales, el costo para el monitoreo de seis fuentes fijas asciende a \$16.400.000 COP. En contraste, la solución tecnológica propuesta permite realizar el mismo alcance operativo con un ahorro significativo, posicionándose aproximadamente un 47.5% por debajo de este precio.

En la tabla 20 se presenta la estructura de servicios diseñada para satisfacer las diversas necesidades del mercado, categorizada según el volumen de equipos o fuentes de emisión a monitorear, con un promedio de \$7,150,000 COP por tarifa de servicio.

Tabla 20
Tarifas totales

N° de equipos	Tarifa equipos	Tarifa base	Tarifa Total	Tipo de servicio
1	\$1,300,000	\$1,300,000	\$2,600,000	Diagnóstico puntual
2	\$2,600,000	\$1,300,000	\$3,900,000	Inspección básica
3	\$3,900,000	\$1,300,000	\$5,200,000	Monitoreo inicial
4	\$5,200,000	\$1,300,000	\$6,500,000	Monitoreo operativo
5	\$6,500,000	\$1,300,000	\$7,800,000	Monitoreo optimizado
6	\$7,800,000	\$1,300,000	\$9,100,000	Monitoreo industrial
8	\$9,100,000	\$1,300,000	\$10,400,000	Proyecto ampliado
10	\$10,400,000	\$1,300,000	\$11,700,000	Monitoreo multi-fuente

Complementariamente, en la tabla 21 se expone la composición de los costos fijos operativos que sustentan dicha tarifa base, los cuales serán desglosados con mayor profundidad en las secciones posteriores de este análisis financiero.

Tabla 21
Tarifa base

Concepto	Tarifa
Piloto certificado	\$ 300,000
Ingeniero	\$ 300,000
Operación del dron	\$ 280,000
Procesamiento de datos	\$ 300,000
EPP	\$ 120,000
Total	\$ 1,300,000

Apéndice E

Capacidad Operativa

La capacidad operativa del servicio se estimó a partir del tiempo requerido para ejecutar una campaña completa de monitoreo y procesar la información obtenida. En términos generales, la fase de campo (que incluye preparación del sistema, ejecución de dos vuelos por campaña, verificación de equipos y cierre de la operación) demanda entre 4 y 6 horas, mientras que la etapa de procesamiento, análisis de datos y elaboración del informe técnico requiere un tiempo similar.

Para la estimación de la capacidad real del servicio también se consideraron factores operativos como tiempos de desplazamiento, condiciones meteorológicas, disponibilidad del personal técnico y requerimientos de mantenimiento del equipo, los cuales limitan la programación continua de campañas (Szuniewicz et al., 2026).

Bajo estas condiciones, se establece que el equipo técnico puede ejecutar entre 1 y 2 campañas por semana, lo que corresponde a una capacidad máxima aproximada de 6 campañas por mes, valor adoptado como base para la planeación operativa del servicio.

Apéndice F

Especificaciones técnicas

El sistema de monitoreo ambiental desarrollado integra una plataforma aérea no tripulada (UAV) de alto rendimiento con instrumentación sensorial de grado científico. El diseño del sistema responde a la necesidad de obtener datos con alta resolución espacial y temporal en entornos industriales complejos, donde los métodos tradicionales de monitoreo fijo resultan insuficientes. A continuación, se describen los criterios de selección de la plataforma, los principios fisicoquímicos de los sensores integrados y las condiciones operativas necesarias para garantizar la integridad y precisión de las mediciones recolectadas.

1. Plataforma UAV: DJI Matrice 600 Pro

Para la ejecución de las campañas de monitoreo aéreo se seleccionó la plataforma DJI Matrice 600 Pro, un sistema multirrotores de uso empresarial con arquitectura modular diseñada para la integración de cargas útiles especializadas. La elección de este equipo se fundamenta en los siguientes criterios técnicos:

Autonomía y Carga: Ofrece una autonomía de vuelo extendida de 20-30 minutos (dependiendo de la carga) y una capacidad de carga útil de aproximadamente 6kg, ideal para misiones multigigas (B&H Photo Video, s.f.).

Precisión de Posicionamiento: Incorpora un sistema GNSS (GPS+GLONASS) con capacidad de corrección diferencial RTK, permitiendo una precisión de $\pm 1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$ en el plano horizontal para una georreferenciación exacta (B&H Photo Video, s.f.).

Desempeño Operativo: Alcanza alturas máximas de operación de 120 m y velocidades de aproximadamente 23 m/s y posee una estabilidad aerodinámica en condiciones de viento moderado

y una resistencia a este de hasta 15 m/s, garantizando estabilidad en condiciones de campo moderadas (Solectric Asia, s.f.).

Robustez Industrial: Cuenta con un grado de protección IP45, proporcionando resistencia frente al ingreso de partículas sólidas y salpicaduras de agua en exteriores (DJI, s.f.)

2. Integración de Sensores Ambientales

Para la integración de la instrumentación ambiental se empleará el módulo “Sniffer4D Quick UAV Integration Kit”, el cual está diseñado para su acoplamiento directo a plataformas UAV industriales y operación sincronizada con el sistema de vuelo. Esta integración se define bajo los siguientes componentes.

- **Configuración de Sensores:** Este sistema consiste en una carga útil compacta y autónoma que integra sensores NDIR para la medición de CO₂ y sensores electroquímicos para la detección de gases criterio como CO, NO₂, SO₂ y H₂S (*Kit de Integración Rápida de UAV SNIFFER4D Para Mini2*, n.d.)
- **Variables de Corrección:** Se incorporan sensores ambientales para el registro de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, datos esenciales para la interpretación de las concentraciones medidas (Volatus Drones s.f.).
- **Estructura:** El módulo se instala como carga útil intercambiable mediante un soporte estructural compatible con la plataforma UAV y se alimenta directamente desde el sistema energético del dron (Airins, s.f.).
- **Características físicas:** El módulo pesa entre 0.8 y 1.5 kg, el cual, junto a sus accesorios de fijación de 0.2 a 0.5 kg, suma una carga útil total estimada de 1 a 2 kg. Esta disposición se ubica en la parte inferior del UAV mediante un soporte anti vibratorio para mantener el

centro de gravedad, minimizar interferencias aerodinámicas, reducir el ruido en la señal y proteger los componentes electrónicos (Soarability, s.f.).

- **Gestión de Datos:** La unidad de adquisición permite la captura, almacenamiento y transmisión en tiempo real hacia una estación en tierra, facilitando la generación posterior de mapas de concentración georreferenciados. (Soarability, s.f.).

3. Fundamentos de los sensores

El sistema cuantifica contaminantes basándose en principios fisicoquímicos específicos que condicionan su sensibilidad y selectividad. La respuesta dada está determinada por fenómenos de transferencia de masa, equilibrios fisicoquímicos y cinética de reacción, los cuales condicionen su sensibilidad, selectividad y tiempo de respuesta.

- **Sensores NDIR:** Los sensores de infrarrojo no disperso operan mediante la absorción selectiva de radiación infrarroja por parte de moléculas que presentan modos vibracionales activos en el espectro, fundamentada en la Ley de Beer-Lambert (Sensor One Stop, s.f.):

$$A=\varepsilon CL \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde la absorbancia (A) es proporcional a la concentración del gas (C), al coeficiente de absorción molar (ε) y a la longitud del camino óptico (L). Estos sensores destacan por su alta estabilidad y baja deriva para gases infrarrojo-activos como el CO₂ (Sensor One Stop, s.f.).

Desde el punto de vista fisicoquímico, la señal depende de la fracción molar del gas en la mezcla y de las condiciones termodinámicas del sistema, ya que la densidad del gas varía con la temperatura y la presión. Por esta razón, los sensores NDIR incorporan

compensaciones internas o requieren el registro simultáneo de variables ambientales para la corrección de la concentración (Figaro, s.f.). El tiempo de respuesta del sensor está asociado al transporte del gas hacia la cámara óptica, el cual ocurre por difusión y convección, así como al tiempo de estabilización del detector. Esta tecnología se caracteriza por su alta estabilidad que requiere un periodo de 5 a 10 minutos previos a la operación, baja deriva y adecuada selectividad para gases infrarrojo-activos (Figaro, s.f.).

- **Sensores electroquímicos:** Estos sensores se basan en la oxidación o reducción del gas objetivo en la superficie de un electrodo, generando una corriente proporcional a la concentración del analito. El proceso involucra varias etapas controladas por fenómenos de transporte y reacción como difusión del gas desde el ambiente hasta la membrana permeable, disolución del gas en el electrolito, reacción electroquímica en el electrodo de trabajo y transferencia de carga y generación de la señal eléctrica (Wikipedia, s.f.).

En condiciones normales de operación, el sistema se diseña para trabajar en régimen controlado por difusión, de modo que el flujo molar del gas hacia el electrodo sea proporcional a su concentración en el aire. En este caso la respuesta está regida por la Ley de Fick para el flujo molar (N) a través de la membrana del sensor (Renke, s.f.):

$$N = -D \frac{dc}{dx} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde la respuesta depende del coeficiente de difusión (D) y del gradiente de concentración, son sensibles a factores ambientales que afectan el electrolito y la cinética de reacción. Estas respuestas son sensibles a factores ambientales como la temperatura y la humedad, los cuales afectan las propiedades del electrolito, la velocidad de reacción y los coeficientes de difusión; por otro lado, requieren un periodo de estabilización de 10 a 15 minutos y sus exposiciones prolongadas a altas concentraciones pueden generar

saturación o degradación del material activo (*Tipos de Sensores de Gas, Principios de Funcionamiento y Aplicaciones*, n.d.).

- **Respuesta Global del sistema:** El tiempo de respuesta efectivo (T90) del módulo oscila entre 20 y 40 segundos. El tiempo de respuesta global se define como:

$$\tau_{\text{total}} = \tau_{\text{sensor}} + \tau_{\text{flujo}} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Esto implica que las mediciones representan un promedio temporal y espacial influenciado por la dinámica de transporte y mezcla del aire durante el vuelo a una frecuencia de muestreo de 1Hz.

4. Condiciones ambientales y operativas

Para garantizar la representatividad y confiabilidad de las mediciones, el sistema debe operar bajo los siguientes parámetros:

- **Rango Ambiental:** Temperatura entre 0 y 40 °C, humedad relativa entre 15% y 90% (sin condensación) y presión atmosférica de 800 a 1100 hPa (Villa et al., 2016).
- **Parámetros de Vuelo:** Velocidades de viento inferiores a 8–10 m/s, alturas de hasta 120 m y velocidades de desplazamiento entre 2 y 8 m/s (OACI, s, f).
- **Estabilidad:** Debido al tiempo de respuesta del sistema (T90 de 20 a 40 s), es vital mantener trayectorias estables (transectos o perfiles verticales) para evitar efectos de dilución o mezclas erróneas en la muestra de aire (Villa et al., 2016).

Las condiciones ambientales influyen debido a las variaciones en la densidad del gas, los cambios en los coeficientes de difusión, las posibles interferencias ópticas y las alteraciones en el

transporte. Durante el vuelo, la concentración registrada corresponde a una concentración promedio afectada por procesos de mezcla turbulenta y advección (Alphasense, s.f.)

5. Entregables del servicio

El despliegue del sistema contempla la elaboración de un informe técnico dirigido al cliente, en el cual se presentan de manera estructurada la metodología empleada, los datos obtenidos y el análisis de las concentraciones de gases medidas. Este documento constituye al entregable principal del servicio y permite consolidar la información generada durante la operación del sistema de monitoreo en un formato claro, técnico y trazable, el cual se explica a detalle en el [apéndice F](#).

6. Almacenamiento, Transporte y Logística Operacional

La integridad de los equipos y la calidad de los datos dependen de protocolos estrictos de manejo logístico:

- **Protección de Equipos:** La plataforma UAV y la carga útil de sensores se transportan en estuches rígidos de alta resistencia, diseñados con protección certificada contra impactos, vibraciones y humedad (Pelican, s.f.).
- **Preservación de Sensores:** Los módulos de medición deben almacenarse en ambientes controlados (secos y a temperatura ambiente), evitando la exposición prolongada a agentes corrosivos que puedan degradar las membranas de los sensores electroquímicos (Alphasense, s.f.)
- **Gestión Energética:** Las baterías de polímero de litio se gestionan bajo los protocolos de seguridad del fabricante y la normativa aeronáutica vigente para el transporte de materiales inflamables (IATA, s.f.).

- **Protocolos de Pre-vuelo:** Antes de cada despliegue, se ejecutan procedimientos de verificación técnica y estabilización térmica de los, asegurando la repetibilidad y confiabilidad de las mediciones en campo UAE s.f.).

Apéndice G.

Estructura del informe

A continuación, se describe la estructura general del informe técnico que se entrega como resultado de servicio de monitoreo.

- **Portada:** Constituye el elemento de identificación formal del informe técnico y permite contextualizar el documento desde el punto de vista administrativo y técnico. Esta sección incluye nombre del proyecto, la organización responsable de la ejecución del servicio (Drontech), el cliente solicitante, la fecha de realización de la campaña de monitoreo y la versión del informe.
- **Resumen ejecutivo:** Sintetiza los aspectos más relevantes del estudio y está dirigido principalmente a tomadores de decisiones que requieren comprender rápidamente los resultados. Esta sección presenta de manera concisa el objetivo del estudio, la metodología general empleada, los gases analizados, los principales resultados obtenidos y las conclusiones más relevantes.
- **Objetivos del estudio:** Define el propósito del monitoreo y delimita el alcance del servicio prestado. En ella se establece un objetivo general que describe la finalidad principal del estudio, junto con objetivos específicos que detallan las actividades necesarias para alcanzarlo.
- **Descripción del sistema de medición:** Presenta las características técnicas del sistema utilizado para la adquisición de datos, incluyendo la plataforma UAV, los sensores de medición y los sistemas auxiliares de control y transmisión de datos. La inclusión de esta información permite evaluar la idoneidad del equipo para el tipo de monitoreo realizado y

proporciona transparencia respecto a las capacidades y limitaciones del sistema de medición.

- **Metodología de monitoreo:** Describe detalladamente el procedimiento seguido durante la campaña de medición, incluyendo la delimitación del área de estudio, diseño de las trayectorias de vuelo, las alturas de operación y la frecuencia de muestreo de los sensores. Asimismo, se especifican los protocolos de verificación y calibración de los equipos antes de cada misión.
- **Procesamiento de datos:** La eficacia del servicio de monitoreo no solo reside en la precisión de la captura, sino en la capacidad de traducir métricas complejas en representaciones visuales que faciliten la interpretación del impacto ambiental.

Mediante el uso de software especializado, los datos georreferenciados se transforman en una serie de entregables gráficos que permiten una evaluación integral del comportamiento de los contaminantes en el área de estudio. Estos recursos visuales proporcionan una trazabilidad completa de la misión y actúan como la evidencia técnica fundamental para la identificación de zonas críticas.

A continuación, se presentan los modelos gráficos generados a partir del procesamiento de datos en campo:

El proceso de análisis comienza con el registro de concentraciones en tiempo real, el cual se despliega a través de una interfaz de monitoreo avanzada que permite la visualización instantánea de múltiples analitos y variables termográficas durante el vuelo como se ve en la figura 11. Esta herramienta es fundamental para que el operador y el ingeniero ambiental supervisen la misión de manera dinámica, facilitando la detección inmediata de anomalías o picos de emisión que orienten la toma de decisiones tácticas,

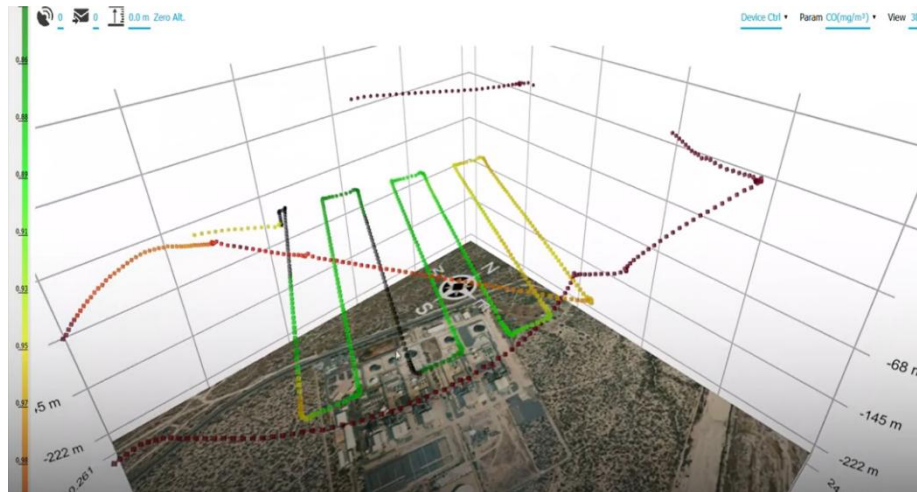
como la ejecución de vuelos estacionarios o descensos controlados para investigar fuentes específicas. (Cielito Drone, 2025.)

Figura 11.
Interfaz de Cabina



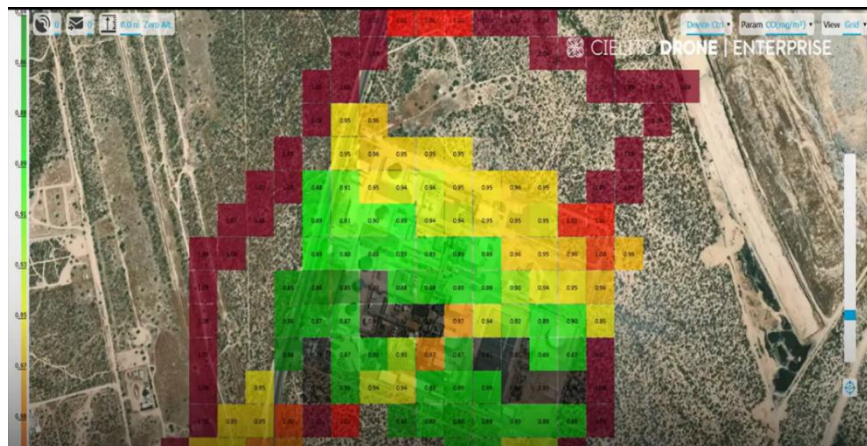
Complementando esta visión, el monitoreo de isóneas proporciona una representación tridimensional de la trayectoria del UAV, integrando fotos con etiquetas geográficas para ilustrar las variaciones de concentración según la altitud y la posición como se ve en la figura 12. A diferencia de los mapeos bidimensionales, este enfoque permite visualizar la estructura volumétrica de la pluma de contaminación, lo que resulta esencial para validar modelos de dispersión atmosférica y comprender cómo la dinámica del viento transporta los contaminantes hacia áreas sensibles o comunidades aledañas. (Cielito Drone, 2025.)

Figura 12.
Mapa de Isolíneas 3D



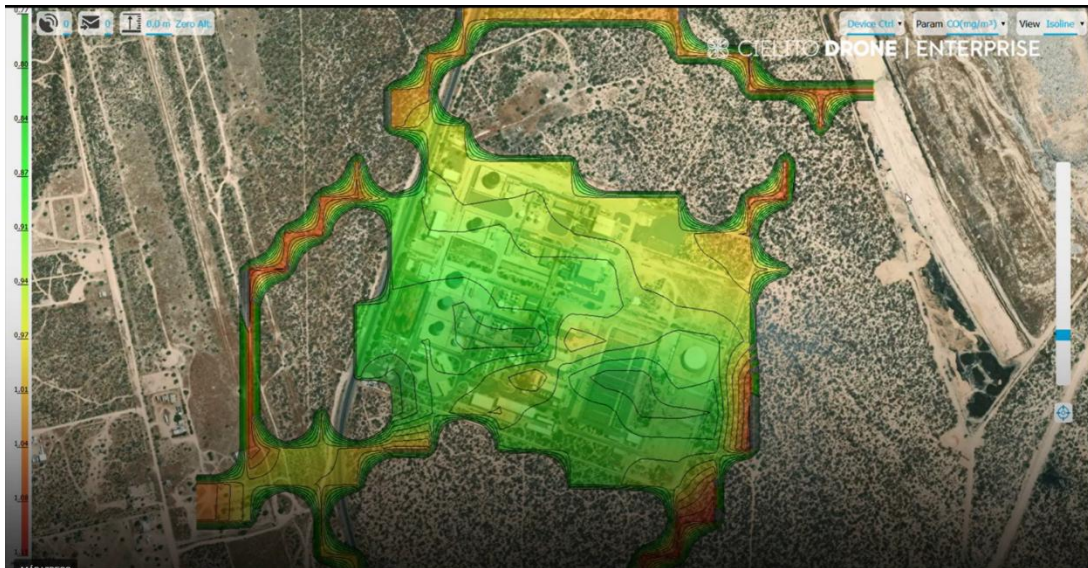
Por otro lado, el análisis de densidad de gases se representa mediante cuadrículas cromáticas donde el espectro hacia el rojo identifica niveles críticos y zonas de máxima acumulación sobre la infraestructura mostrada en la figura 13. Esta metodología bidimensional, proyectada sobre ortofotos de alta resolución, permite localizar con precisión quirúrgica fugas fugitivas o deficiencias en los sistemas de control de emisiones, optimizando así los planes de mantenimiento preventivo de la planta. (Cielito Drone, 2025.)

Figura 13.
Mapa de Densidad



De igual manera, la caracterización se consolida a través de los perfiles de concentración temporal, consistentes en gráficas de series de tiempo que detallan la evolución de cada gas analizado mostrada en la figura 14. Estas representaciones permiten correlacionar los picos de contaminación con eventos operativos específicos de la instalación, lo que ayuda a confirmar la relación directa entre los procesos industriales y el impacto medido, eliminando posibles falsos positivos y garantizando la trazabilidad técnica del estudio. (Cielito Drone, 2025.)

Figura 14.
Perfiles de concentración temporal



Como resultado directo de la operación, el sistema genera reportes automatizados que transforman la captura de datos en inteligencia geoespacial para el cliente. En primer lugar, el informe presenta un mapa de calor o mapa de grilla 2D que superpone la distribución de gases sobre ortofotos satelitales; mediante una escala cromática de verde a rojo, como se ve en la figura 15, este visualizador permite identificar con precisión geográfica las fuentes de emisión y las áreas de acumulación de contaminantes (ACRE, s.f.).

Figura 15.
Mapa de Calor



Complementariamente, el documento consolida los parámetros generales de la misión como nombre, fecha, hora, altitud y área de estudio junto con indicadores estadísticos de concentración mínima, máxima y promedio, Estos indicadores permiten evaluar rápidamente el nivel de contaminación detectado durante la misión (ACRE, s.f.).

Esta síntesis operativa se sustenta finalmente en un anexo de datos crudos que registra cada punto de medición con sus coordenadas exactas y variables climáticas mostrados en la figura 16. Al ser exportable en formatos compatibles con software de ingeniería como CSV o ArcGIS. Esta estructura de datos no solo garantiza la transparencia del monitoreo, sino que facilita el cumplimiento normativo, la distribución espacial del contaminante,

estadísticas de concentración, datos de medición georreferenciados y el análisis técnico avanzado por parte de las autoridades ambientales.

Figura 16.
Datos exportables

Time Stamp	Altitude	Latitude	Longitude	Temperature °C	Humidity %	Pressure Pa	CO2 ppm
2024/04/12 08:00:00	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:05	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:10	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:15	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:20	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:25	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:30	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:35	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:40	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:45	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:50	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:00:55	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:00	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:05	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:10	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:15	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:20	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:25	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:30	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:35	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:40	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:45	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:50	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:01:55	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:00	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:05	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:10	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:15	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:20	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:25	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:30	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:35	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:40	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:45	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:50	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:02:55	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000
2024/04/12 08:03:00	1200.000	12.121212	-77.021212	28.000000	65.000000	1013.250	400.000

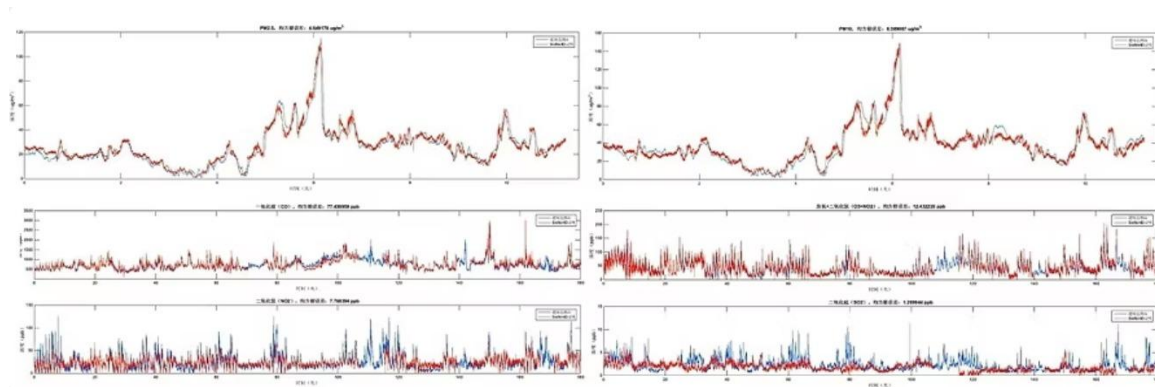
Finalmente, sumado a la representación geoespacial, el sistema proporciona un análisis detallado mediante paneles de gráficas alineadas que permiten monitorear el comportamiento de las variables en función del tiempo o el número de muestra como se detalla en la figura 17. En estas gráficas, el eje horizontal cronometra la duración de la misión, mientras que el eje vertical cuantifica la concentración de los contaminantes, permitiendo una supervisión multigas simultánea y en tiempo real (ACRE, s.f.).

Un aspecto crítico para la fiabilidad técnica es la visualización de 2 curvas diferenciadas: una línea azul, que representa la señal bruta o referencia del sensor, y una línea roja, que corresponde a la señal procesada y filtrada. Esta comparativa garantiza la transparencia en

la gestión de datos, permitiendo evaluar la estabilidad de la medición y minimizar el ruido ambiental. A través de esta metodología, es posible identificar picos de concentración que señalan el momento exacto en que el UAV atraviesa una pluma de concentración que señalan el momento exacto en que el UAV atraviesa una pluma de contaminación o se aproxima a una fuente de emisión industrial.

Figura 17.

Paneles de concentración en el tiempo



- **Resultados:** Esta sección presenta la información obtenida durante el monitoreo de manera organizada y visualmente clara. Aquí se incluyen estadísticas descriptivas de las concentraciones medidas, tablas de valores representativos y mapas georreferenciados que muestran la distribución espacial de los gases analizados.
- **Análisis e interpretación:** Se realiza una interpretación técnica de los resultados obtenidos relacionando las concentraciones observadas con posibles fuentes de emisión, condiciones meteorológicas o características del entorno estudiado.
- **Conclusiones:** Se sintetizan los hallazgos principales del estudio y responden directamente a los objetivos planteados al inicio del informe. En esta sección se destacan los aspectos

más relevantes identificados durante el monitoreo, como la presencia de zonas de concentraciones elevadas o la efectividad del método de medición empleado.

- **Recomendaciones:** Se proponen acciones o estudios adicionales basados en los resultados obtenidos.
- **Anexos:** Contienen información técnica detallada que respalda los resultados presentados en el informe, como tablas completas de datos, rutas de vuelo registradas, configuraciones de los sensores y documentación técnica de los equipos utilizados.

Apéndice H.*Requisitos*

- **Adecuaciones:** Los costos de infraestructura y adecuaciones se estimaron a partir de precios publicados por proveedores de materiales y servicios de construcción en Colombia, los cuales se muestran en la tabla 22.

Para las adecuaciones se asumió que el inmueble arrendado cuenta con infraestructura eléctrica básica instalada (iluminación general, tomas perimetrales y tablero eléctrico). Por lo tanto, el costo considerado corresponde únicamente a adecuaciones y ampliaciones menores, estimadas en seis puntos eléctricos adicionales. Con base en el costo unitario por punto eléctrico reportado para Colombia en 2026 (Presucosto, 2026.). El valor promedio por punto es de 122,500 COP, como se consideran 6 puntos, el costo total asciende a \$735,000 COP. Posteriormente, este valor se convierte a costo por metro cuadrado dividiendo 735,000 entre 110 m², lo que da como resultado aproximadamente \$7,000 COP por metro cuadrado.

Tabla 22.
Adecuaciones

Concepto	Costo unitario aproximado (COP/m²)	Materiales (COP/m²)	Proveedor de referencia
Nivelación y acabado de piso	\$24,900	\$61,900	Homecenter Colombia
Pintura industrial/acabado de muros	\$17,900	Incluidos	Homecenter Colombia
Instalación eléctrica interna básica	\$7,000	Incluidos	Mis Presupuestos
Total adecuaciones COP/m ²	\$111,700		
Total adecuaciones oficina	\$12,287,000		

- **Gastos operativos:** Para la sección correspondiente a los gastos preoperativos, el valor asociado a estudios legales contempla los costos relacionados con la asesoría jurídica necesaria para la formalización de la empresa, esto incluye el proceso de creación de la empresa que abarca la elaboración de estatutos, definición del objeto social, revisión de requisitos normativos y acompañamiento en el registro ante la Cámara de Comercio, así como el registro de marca ante la autoridad competente. Adicionalmente, este valor considera actividades de asesoría relacionadas con la revisión del marco regulatorio aplicable al servicio, la preparación de documentos legales iniciales y la orientación sobre obligaciones jurídicas y administrativas necesarias para el inicio de operaciones.
- **Paneles solares:** Se proyectó la implementación de un sistema de generación fotovoltaica como estrategia para fortalecer la sostenibilidad y la autonomía en las campañas. Dado que el uso de nuestros UAV requiere un ciclo intensivo de carga de baterías de polímero de litio, la energía solar se presenta como la alternativa técnica más viable para el suministro en sitios de operación remotos o de difícil acceso.

La operación estándar con 2 drones DJI Matrice 600 Pro, el consumo energético se estimó con la capacidad de las baterías inteligentes utilizadas de TB47s o TB48S con una capacidad de 129.96 Wh y 157 Wh respectivamente, lo cual implica el siguiente requerimiento por ciclo de carga completa:

$$E_{Baterías} = 6 \text{ baterías} \times 157 \text{ Wh} = 942 \text{ Wh} = 0.94 \text{ kWh}$$

Al operar con 2 drones, la demanda energética por ciclo sería de 1.88 kWh. Sumando el consumo de los equipos auxiliares como estaciones de control, equipos de comunicación y computadores (Electricaplicada, s.f.). Suponiendo un consumo promedio

de 300 a 500 W durante una jornada de trabajo de aproximadamente 5 horas, el consumo diario adicional se estima de la siguiente manera:

$$E_{Equipos} = 0.5 \text{ kW h} \times 5 \text{ h} = 2.5 \text{ kWh}$$

De esta manera, el consumo energético total estimado para una jornada de operación se encuentra en el rango de:

$$E_{Total} = (E_{Baterías} + E_{Equipos}) = 1.88 \text{ kWh} + 2.5 \text{ kWh} = 4.4 \text{ kWh/día}$$

Considerando la radiación solar promedio en Colombia, que se encuentra aproximadamente entre 4 y 5 horas pico solares por día, un sistema fotovoltaico de 3 kW podría generar aproximadamente:

$$E_{Solar} = 3 \text{ kW/h} \times 5 \text{ h/día} = 15 \text{ kW/día}$$

Este excedente energético no solo cubre la demanda operativa actual, sino que garantiza un margen de seguridad para pérdidas del sistema o una futura expansión de la flota. Este tipo de sistemas se compone generalmente de paneles solares fotovoltaicos, un inversor de corriente, estructura de montaje y un sistema de protección eléctrica. Técnicamente, este sistema requeriría la instalación de entre 6 y 7 paneles solares (de 450–550 W cada uno), integrados mediante un inversor y protecciones eléctricas bajo el marco normativo de la Ley 1715 de 2014 (Ley 1715, 2014)], la cual incentiva la autogeneración con fuentes no convencionales de energía (FNCE) en el país. En la tabla 23 se presenta el desglose estimado de los costos de los principales componentes necesarios para la instalación del sistema fotovoltaico propuesto junto con sus cantidades.

Tabla 23.
Paneles solares

Concepto	Cantidad	Costo unitario aproximado (COP)	Costo total aproximado (COP)
Panel solar monocristalino 500–550 W	6	\$ 700,000	\$4,200,000
Inversor solar on-grid 3 kW	1	\$3,000,000	\$3,000,000
Banco de baterías litio 5 kWh (51.2 V – 100 Ah)	1	\$ 5,390,000	\$ 5,390,000
Estructura de montaje para paneles	1 sistema	\$1,200,000	\$1,200,000
Cableado y protecciones eléctricas	1 lote	\$ 800,000	\$ 800,000
Instalación y puesta en marcha	1 servicio	\$1,500,000	\$1,500,000
Total estimado del sistema			\$16,100,000

Para los valores unitarios tanto de infraestructura, equipo técnico, equipo de comunicación, mobiliario y gastos operativos, se tomaron los referentes mostrados en la tabla 24.

Tabla 24.
Referentes

Tipo de Activo	Referencia
Nivelación y acabado de piso	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/514479/instalacion-piso-ceramico-guardaescoba-m2/514479/?cid=servskupisos102023#Inst_piso_cera https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/726061/piso-estructurado-montesol-miel-cd-206x926-caja-por-114-m2/726061/
Pintura industrial/acabado de muros	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/272737/suministro-y-aplicacion-pintura-interior-todo-costo-kolor-y-o-viniltex/272737/?searchTerm=%20272737
Instalación eléctrica interna básica	https://presucosto.com/blog/precio-punto-electrico-colombia-2026?utm_source=chatgpt.com
Panel solar monocristalino 500–550 W	https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-solar-500w-deep-blue-30-ja-solar?pcId=ZXIKcGRpSTZJbEpMYXpKUWFIQTFaMGxRWlcxVFdXNTNLekJDYW5jOVBTsXNJblpoYkhWbElqb2ITVzlaTjJ4S1IzY3pWbE14VDBOeVFYSnZSbVY1ZHowOUlPd2liV0ZqSWpvaU16UTFaR1ZsTURjM05qZzRZVFk1TW1ReFpqUmlPRFkxT0RNd09EUTBOakV4WIRZellUZGhNbU5oT0RSak5qaGxNRFpsWVRZNFItTXpPR0ZoT1dWbE5pSXNJblJoWnlJNklpSjk%3D
Inversor solar on-grid 3 kW	https://autosolar.co/inversores-solares
Estructura de montaje para paneles	https://autosolar.co/estructuras-paneles

Cableado y protecciones eléctricas	https://autosolar.co/accesorios-de-paneles-solares
Instalación y puesta en marcha	https://erco.energy/co/servicios/energia-solar/sistemas-para-empresas?utm_term=empresas%20de%20energia%20solar&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&utm_campaign=&hsa_net=adwords&hsa_ad=798846527922&hsa_ver=3&hsa_grp=194506717195&hsa_kw=empresas%20de%20energia%20solar&hsa_cam=23620002685&hsa_mt=b&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-317220654946&hsa_acc=6313729267&gad_source=1&gad_campaignid=23620002685&gbraid=0AAAAADqekrf5vB-ZynBbTGBIFKb1_j1a7&gclid=CjwKCAiAzz_NBhAEEiwAMtqKyxIlfNCOS1G1z1yP58AQdMIQXN8cn1hQjybuEJk3lIBf-TPeO1DNHRoCeD8QAvD_BwE
Equipo Técnico	https://www.infinيتدrones.com/es/products/dji-matrice-600-pro?variant=45947917533458&country=AR&currency=CAD&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&srsltid=AfmBOopfXzSSu8upf57jMdj6vYWid9kNmc5M4Uf38uSYG9qOlup4wW8J4JA
Equipo de comunicación y computación	https://www.flycamdrones.com/product/sniffer4d-mini2-ambient-air-monitoring-1-dji-matrice-300-350-rtk-integration-kit/?utm_source=chatgpt.com https://www.mercadolibre.com.co/todo-en-uno-aio-lenovo-a100-core-i3-n305-8gb-512gb-fhd-238-color-gris/p/MCO49749403#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=a1266077-2b98-4fba-b9e2-6abdec7319ae&wid=MCO1726616061&sid=search https://www.mercadolibre.com.co/impresora-simple-funcion-monocromatica-hp-laserjet-m111w-con-wifi/p/MCO18994020?pdp_filters=item_id:MCO1535751697#is_advertising=true&searchVariation=MCO18994020&backend_model=search-backend&position=2&search_layout=grid&type=pad&tracking_id=c66dcd7a-3024-43ce-9415-f45fe1d7c96b&ad_domain=VQCATCORE_LST&ad_position=2&ad_click_id=YzJmMjBmNjUtNGNjNC00ODJhLWFjNGYtMTBINzQ4OWZiODQ2 https://www.mercadolibre.com.co/telefono-inalambrico-hello-baby-dect-60-negro-2-auriculares-identificador-llamadas/p/MCO46620390#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=11&type=product&tracking_id=cb325bd1-6fc1-42c7-aafb-09269282d2dd&wid=MCO2876137770&sid=search
Mobiliario	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/258549/silla-de-escritorio-textil-ejecutiva-giratoria-negra-just-home-collection/258549/?kid=shopp_goosho_1430587&shop=1&gad_source=4&gad_campaignid=17622046203&gbraid=0AAAAADt6wnpn6AKd6ITM7emPRLJkd-VTa&gclid=CjwKCAiA-MBhAKEiwASBmsBNTD_a5lpq7k4jdEjOYYUUsVSnR2JCeyaGhi9kVKMrYp3rEDvFFexoCBxAQAvD_BwE https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/3038051/escritorio-en-l-greta-729x1064x748-cm-cafe-oscuro-negro/3038051/ https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/607858/mesa-de-reunion-home-office-m-75-x-200-x-100-rta-wengue-milan/607858/?kid=shopp_goosho_1430587&shop=1&gad_source=4&gad_campaignid=17622046203&gbraid=0AAAAADt6wnp8SAAV0TI6SDp0w2N9-rSdA&gclid=CjwKCAiAnoXNBhAZEiwAnlfcG12jpgQNlfVPEO1F79mdeNBC922Pncorn287VDwKWwwq_X59xtn0cRoCjdQQAavD_BwE

https://www.alkosto.com/tv-hyundai-40-pulgadas-1016cm-hyled4027rim-fhd-led-smart/p/7707138047565?gclsrc=aw.ds&&fuente=google&medio=cpc&campaign=A_K_COL_MAX_PEF_CPC_AON_TV_Hyundai_Ago22_EXP_AGO&keyword=&gad_source=1&gad_campaignid=17960399279&gbraid=0AAAAADlnVbhIhT1PoLJyEJ5x7snK6-zzX&gclid=CjwKCAiAh5XNBhAAEiwA_Bu8FQBAagLloVcz5Htz3ljLg6rWrZftKtOotkR7dgc38ozivjtIYr_tQRoCwIYQAvD_BwE

<https://www.ikea.com/co/es/p/helmer-cajonera-con-ruedas-blanco-10251045/#content>

<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/492525/estanteria-metal-madera-180x120x50-cm-5-niveles-galvanizado-1500kg/492525/>

https://www.falabella.com.co/falabella-co/product/131627046/Botiquin-Primeros-Auxilios-Metalico-+-Dotacion/131627047?kid=shopp274fa&gclsrc=aw.ds&gad_source=4&gad_campaignid=21991509355&gbraid=0AAAAADtuoyRiedTYJ_a6j_OuRmEV9wqqD&gclid=CjwKCAiAnoXNBhAZEiwAnItcGxHD-PY8ND1F15QkMTKh1iv8KZ_ncoxvsZCFSDPnM0vVtoMdyO9u_BoC9gcQAvD_BwE

https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/874134/papelera-oficina-malla-negra/874134/?kid=shopp_goosho_1430593&shop=1&gad_source=4&gad_campaignid=20228062686&gbraid=0AAAAADt6wnoq8wKYs89YOsNblpQ0-IiN&gclid=CjwKCAiAnoXNBhAZEiwAnItcG0fze3ynzt5LL2TF6gx1SYjEMi5mgWPVrdz7ICJhMczaFAbIf314axoCHiwQAvD_BwE

https://www.mercadolibre.com.co/kit-de-escriptorio----set-oficina-metalico/up/MCOU2432103988?pdp_filters=item_id:MCO453198372#polycard_client=search-nordic&position=25&search_layout=grid&type=item&tracking_id=bcbd7c5e-3875-479b-aa6b-b7b3e961a03f

https://agrofarbef.com/producto/avisos-senalizacion-industrial-estandar/?srsltid=AfmBOoomWbxpHR_2aziIPTUk1t35gEZY_qEJ9oCiTBCYNbfVTDBYmSNcD6g

https://www.ktronix.com/cafetera-imusa-cafe-city-6-tazas-negra/p/3016661146749?fuente=google&medio=cpc&campaign=KT_COL_MAX_PEF_CPC_AON_PO_Groupeseb-Imusa_Abr24_EXP_ABR&keyword=&gad_source=4&gad_campaignid=21194153172&gbraid=0AAAAADBAqYHVLeLyGwIB0v46HvJfXD0mC&gclid=CjwKCAiAnoXNBhAZEiwAnItcG-GdkzGgg5m84fQwCObwCc8IFeDAa1j-WTnE7qvzNHtd18RthJn_dhoCIHUQAvD_BwE

https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/500663/minibar-47-litros-erd50w-gris-mate/500663/?kid=shopp_goosho_1430587&shop=1&gad_source=4&gad_campaignid=17622046203&gbraid=0AAAAADt6wnp8SAAV0TI6SDp0w2N9-rSdA&gclid=CjwKCAiAnoXNBhAZEiwAnItcG3JKUelhcJXJMbBcYXmqquorWzutY_7FJ0WuRBASJL5aC_ZunmhxRoC72kQAvD_BwE

<https://tiendaonline.puntoscolombia.com/set-de-aseo--finlandek-301669/p?idsku=725704&srsltid=AfmBOopYUXbEqL0mXsLhAp5BJeEyQ9mqc0boOKsLbBw5i5Wi9ZUG9ceh4Cw>

https://www.mercadolibre.com.co/maleta-guttek-t230-231-hard-case-estuche-rigido-maletin/up/MCOU3300549260#polycard_client=search-

Gastos
preoperativos

[desktop&search_layout=grid&position=2&type=product&tracking_id=08ffbbfb-5aac-4cc0-a252-029451481b33&wid=MCO2953400616&sid=search](https://www.mercadolibre.com.co/bolsa-protectora-de-bateria-lipo-safe-pouch-ignifuga-a-pru/p/MCO2064198178#polycard_client=recommendations_pdp-v2p&reco_backend=ranker_retrieval_system_org&reco_model=rk_ent_v3_retsys_or_g&reco_client=pdp-v2p&reco_item_pos=0&reco_backend_type=low_level&reco_id=3e0353eb-03d4-41a8-9437-76e4d9a77ea5&wid=MCO1734445585&sid=recos)
https://www.mercadolibre.com.co/kit-limpieza-electronica-aerosol--alcohol-isp/reco-manilla/up/MCOU2429705049?matt_tool=19390127&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic&pdp_filters=item_id%3AMCO593080466&from=gshop
https://www.mercadolibre.com.co/kit-de-mesa-de-trabajo-simpson-strong-tie-wbsk-con-conectore/p/MCO2060233956#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=7&type=product&tracking_id=8272059b-0cc7-4928-85f7-142781420fe9&wid=MCO1695907581&sid=search
<https://www.amazon.com/-/es/JINGUR-almacenamiento-ajustable-aparador-cerradura/dp/B097GKNB2J?th=1>
<https://suquin.com.co/products/silica-gel>
https://www.mercadolibre.com.co/medidor-humedad-termo-hidrometro-sonda-reloj-digital-htc1/up/MCOU2572199829?pdp_filters=item_id%3AMCO506557577&from=gshop&matt_tool=29245848&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=22126928552&matt_ad_group_id=171342885337&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=729836841733&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=135925513&matt_product_id=MCOU2572199829&matt_product_partition_id=2391703167057&matt_target_id=pla-2391703167057&cq_src=google_ads&cq_cmp=22126928552&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gad_campaignid=22126928552&gbraid=0AAAAAD1DcoxaL94xq6esR-15_Nel67Xrg&gclid=CjwKCAiAh5XNBhAAEiwA_Bu8FUgZdqY8WdrXLUOCr57afndSDwAO-upXnyGU0QVMZZkj8iukk-GxzxoCMQgQAvD_BwE
<https://www.fincaraiz.com.co/oficina-en-arriendo-en-chico-norte-bogota/192588248>
<https://serviciolegal.com.co/es/blog/tabla-de-honorarios-de-abogados-en-colombia-para-el-ano-2024-segun-conalbos>
<https://www.designsandit.com/cuanto-cuesta-contratar-agencia-marketing-digital-colombia/>
https://assets.ctfassets.net/n1ptkqqt763u/3Y8yhxlVbzjMyD7njbEINL/a4bfae899c2186d803ec833699eb192c/Tarifas_Registros_Publicos_2026_y_afiliados.pdf
https://assets.ctfassets.net/n1ptkqqt763u/3Y8yhxlVbzjMyD7njbEINL/a4bfae899c2186d803ec833699eb192c/Tarifas_Registros_Publicos_2026_y_afiliados.pdf

Apéndice I

Consumo por servicio

La estimación de los consumos se realizó con base en tres criterios principales:

Especificaciones técnicas de los equipos utilizados, tiempos operativos típicos de campañas de monitoreo ambiental mediante UAV y estimaciones de consumo energético de equipos informáticos y electrónicos utilizados durante el servicio.

Estimación del consumo energético.

El principal consumo energético corresponde a la recarga de las baterías del UAV utilizadas durante los vuelos de medición. Para la estimación se consideró la realización de dos vuelos por campaña. La energía consumida durante la recarga de baterías se estimó utilizando la relación general de consumo energético (International Electrotechnical Commission, 2020):

$$E = P \times t \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

E = Energía consumida (kWh)

P = Potencia del sistema de carga (kWh)

t = Tiempo de carga (h)

Se tomó como referencia las especificaciones técnicas del fabricante de las baterías y sistema UAV.

El sistema DJI Matrices 600 Pro utiliza baterías de polímero de litio de alta capacidad modelo TB47S y TB48S. De acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante, estas baterías poseen una capacidad aproximada de 4,500-5,700 mAh y un voltaje nominal de 22.2 V (Manual, 2016),

lo que les permite proporcionar la energía necesaria para vuelos con una autonomía típica entre 20 y 30 minutos, dependiendo de la carga útil instalada.

Con base en estas especificaciones técnicas del fabricante y en el número de ciclos de uso durante la operación, se estimó un consumo energético de aproximado de 3 kWh por campaña, valor que representa la energía requerida para la recarga del conjunto completo de baterías utilizadas durante la operación de UAV.

Adicionalmente, durante la campaña de monitoreo se requiere el uso de un computador portátil o estación de control para la planificación de la misión, monitoreo del vuelo y visualización de datos. El consumo energético de estos equipos se estimó a partir de su potencia promedio, la cual se encuentra típicamente entre 60W y 100W para computadores portátiles utilizados en aplicaciones técnicas (Department of Energy, s.f.). Considerando 4 horas de uso durante la campaña, se estimó un consumo aproximado de 0.4 kWh por campaña.

De igual forma, la etapa de procesamiento de datos y elaboración del informe técnico requiere el uso de equipos informáticos para la descarga de datos, depuración de registros, generación de mapas de concentración y análisis de resultados. El consumo energético de esta etapa se estimó considerando el uso de un computador durante aproximadamente 7 horas de trabajo, tiempo que incluye tanto el análisis de los datos como la elaboración del informe técnico a partir de lo anterior se estimó un consumo aproximado de 0.5 kWh por informe

Estimación del consumo de insumos de calibración.

De acuerdo con prácticas comunes de calibración de sensores electroquímicos y sensores de gases traza, los flujos de calibración suelen encontrarse en el rango de 0.5 a 1 L/min durante periodos

cortos de verificación (EPA, 2017.. Considerando verificaciones puntuales durante la campaña, se estimó un consumo aproximado de 0.5 L por campaña.

Estimación del tiempo de trabajo del personal

El tiempo de trabajo del personal se estimó considerando la secuencia operativa típica de una campaña de monitoreo con UAV.

El técnico piloto de drones es responsable de la preparación del UAV, verificación de baterías, planificación de la ruta de vuelo y ejecución de las misiones de monitoreo. Estas actividades, junto con el tiempo efectivo de vuelo y las labores posteriores de desmontaje del equipo, se estimaron en aproximadamente 3 horas por campaña.

Por su parte, el ingeniero de procesos participa en la supervisión técnica del monitoreo, verificación del funcionamiento de los sensores y registro de las condiciones operativas del sistema, estimándose una dedicación aproximada de 1.5 horas durante la campaña.

Para la etapa de realización del informe el ingeniero de procesos es responsable del procesamiento de los datos obtenidos durante la campaña, generación de mapas de concentración y análisis de los resultados, actividades que se estiman en aproximadamente 4 horas de trabajo especializado. Posteriormente, el gerente general realiza la revisión técnica y validación del informe antes de su entrega al cliente, dedicando aproximadamente 1 hora a esta actividad. Finalmente, la secretaria apoya en la organización, formato y envío del documento final, con un tiempo estimado de 1 hora de trabajo administrativo por informe.

Apéndice J

Costos de producción

La estimación de los costos de operación del servicio de monitoreo de gases mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV) se realizó considerando los recursos directamente asociados a la ejecución de una campaña de monitoreo. Estos incluyen insumos operativos, mano de obra técnica y el uso de equipos especializados.

Los costos administrativos generales no se incluyen en esta sección, ya que son abordados de manera independiente dentro de la estructura financiera del proyecto.

Supuestos técnicos relevantes

Para la estimación de los consumos y costos presentados, se consideraron los siguientes supuestos:

- Cada campaña de monitoreo incluye dos vuelos operativos, con una duración de 20 a 30 minutos cada uno, acorde con la autonomía típica del UAV.
- Se emplea un conjunto de seis baterías tipo TB47S/TB48S, cuya recarga determina el consumo energético estimado por campaña.
- El tiempo de operación en campo incluye actividades de preparación, ejecución y desmontaje, estimándose en 3 horas para el piloto y 1.5 horas para el ingeniero.
- La depreciación de los equipos se calculó considerando su vida útil y frecuencia de uso dentro de la capacidad operativa proyectada.
- El consumo de software y recursos administrativos se estimó en función del procesamiento de datos y la elaboración del informe técnico posterior a cada campaña.

Los valores específicos derivados de estos supuestos se presentan en la tabla 25:

Tabla 25
Costos de producción

Categoría	Concepto	Unidad	Consumo	Costo unitario (\$)	Costo por campaña (\$)
Costos directos	Energía eléctrica total	kWh	3.9	\$ 878	\$ 3,424
	Gas patrón	L	0.2	\$ 29,412	\$ 5,882
	Transporte	km	60	\$ 1,500	\$ 90,000
Mano de obra directa	Piloto UAV	h	3	\$ 15,917	\$ 47,752
	Ingeniero de procesos	h	1.5	\$ 15,917	\$ 23,876
Uso de equipos	UAV + sensores (depreciación)	campana	1	\$ 100,000	\$ 100,000
	Baterías (ciclos)	ciclo	2	\$ 10,000	\$ 20,000
Mano de obra indirecta	Apoyo administrativo	h	1	\$ 7,959	\$ 7,959
				Total	\$ 298,893

La tabla 26 presenta las referencias empleadas para la estimación de los costos de producción, incluyendo fuentes de mercado, información oficial y criterios técnicos utilizados en la determinación de los valores unitarios

Tabla 26
Referencias costos de producción

Concepto	Referencia
Energía eléctrica total	https://caracol.com.co/2026/03/02/afinia-entrego-balance-de-gestion-2025-mas-de-25-mil-familias-ya-cuentan-con-energia-prepagada/#:~:text=Reducci%C3%B3n%20de%20tarifa%20y%20eficiencia%20operativa&text=En%20enero%20de%202026%2C%20el,de%20\$1.001%2C77%20por%20kWh.
Gas patrón	https://mundodotaciones.com/producto/cilindros-de-calibracion-gas-patron-prueba/#:~:text=Aplican%20T%C3%A9rminos%20y%20Condiciones%20*%20Verifica%20T%C3%A9rminos,compra!%20*%20Leer%20Nuestras%20Pol%C3%ADticas%20de%20compra.

Transporte	https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-costos-del-transporte-de-carga-por-carretera-ictc#:~:text=Informaci%C3%B3n%20febrero%202026,por%20debajo%20del%20promedio%20nacional.&text=Este%20%C3%ADndice%20condensa%20la%20experiencia,funcionamiento%20este%20tipo%20de%20ejercicios.
UAV + sensores (depreciación)	Se considero el tiempo de vida util del equipo, su costo de adquisición y el número de campañas que puede realizar
Baterías (ciclos)	

Apéndice K

Formatos financieros

Para la estimación de los supuestos financieros del proyecto, se adoptaron criterios basados en el comportamiento histórico de variables económicas relevantes y en parámetros normativos vigentes.

En primer lugar, el crecimiento del salario mínimo y la inflación se determinaron a partir del promedio de los últimos cinco años como se ve en la tabla 27, con el fin de capturar una tendencia representativa y reducir el efecto de variaciones atípicas, permitiendo así una proyección más estable y realista de los costos laborales y operativos con un promedio de aumento del salario mínimo de 14.25%.

Tabla 27

Aumento salario mínimo

Histórico aumento salario mínimo	
2022	10.70%
2023	16%
2024	12%
2025	9.53%
2026	23%

En cuanto a las prestaciones sociales, se consideró la carga prestacional total aplicable en Colombia, calculada como la suma de los porcentajes correspondientes a salud (8,5%), pensión (12%), ARL (0,52%), caja de compensación (4%), ICBF (3%), SENA (2%), cesantías (8,33%), prima (8,33%) y vacaciones (4,17%), lo cual permite reflejar de manera integral el costo real del trabajador para la empresa, tomando un porcentaje total de factor prestacional de 51%.

Por otro lado, el incremento en el valor de la prestación del servicio se estimó como el promedio entre la inflación y el aumento del salario mínimo, bajo el supuesto de que los precios

del servicio deben ajustarse tanto por el incremento general de precios en la economía como por el aumento en los costos laborales, que constituyen un componente significativo de la estructura de costos del proyecto, se hizo una estimación anual como se presenta en la tabla 28, dejando un promedio de 7.66%.

Tabla 28*Aumento inflación*

Histórico aumento inflación	
2021	5.62%
2022	13.12%
2023	9.28%
2024	5.20%
2025	5.10%

Para el cálculo de la amortización del crédito, se consideró un financiamiento a cinco años con una tasa de interés anual del 12%, bajo el sistema de cuotas constantes, lo cual permite representar de manera adecuada las condiciones típicas de financiamiento en el mercado y su impacto en el flujo de caja del proyecto.

Finalmente, se tomó un aumento del valor del servicio como promedio de las consideraciones mostradas previamente, donde no da un 10.96% como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29*Consideraciones*

Consideraciones	
Concepto	%
Aumento salario	14.25%
Factor prestacional	51%
Inflación	7.66%
Aumento valor del servicio	10.96%

Para un mayor nivel de detalle, el desarrollo completo de los cálculos puede ser consultado en el siguiente enlace: [Análisis Financiero DronTech](#)