Descarbonización del Proceso de Calidad del Aire en Inmisión Mediante Cálculo y Gestión de la Huella de Carbono en el "Laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS"

Jherson David Ramírez Gonzalez

Lizbeth Vargas Forero

Meyvi Angélica Barragán Callejas

Universitaria Agustiniana - Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible

Bogotá D.C.

2025

Descarbonización del Monitoreo de Calidad del Aire en Inmisión Mediante el Cálculo y Gestión de la Huella de Carbono en el "Laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia S.A.S."

Jherson David Ramírez González

Lizbeth Vargas Forero

Meyvi Angélica Barragán Callejas

Tutora: Laura Carolina Diaz Ospina

Trabajo para optar al título de: Especialista en Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible

Universitaria Agustiniana - Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible

Bogotá D.C.

2025

Tabla de contenido

Introducción 7

1. Planteamiento del Problema 9

2. Alcance 14

3. Justificación 15

4. Objetivos. 17

5. Marco Teórico. 18

6. Marco Referencial: 20

7. Diseño Metodológico 21

8. Desarrollo del estudio 27

9. Resultados y Análisis de Resultados 38

10. Propuesta de Mejora o Recomendaciones 40

11. Conclusiones 42

12. Bibliografía 44

Lista de Tablas

Tabla 1: Metodología. Autoría Propia 21

Tabla 2: Cronograma de Actividades. Autoría Propia. 25

Tabla 3. Demanda energética. Datos tomados de thermofisher.com 29

Tabla 4: Parámetros relevantes de la actividad. 34

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Árbol de problema, Uso de Combustibles Fósiles para Realizar Análisis de Calidad del Aire en Inmisión 13

Ilustración 2 análisis de costo beneficio con inversión 40

Resumen (Abstract)

En el marco del proceso de monitoreo de calidad del aire por inmisión realizado por el laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS y con el objetivo de avanzar hacia la sostenibilidad ambiental se propone en el siguiente proyecto la implementación de paneles solares reemplazando el uso de energías convencionales que implican el uso de combustibles fósiles.

Actualmente el monitoreo se realiza con plantas eléctricas que consumen aproximadamente dos (2) galones de Diesel por 24 horas, lo que contribuye a la generación de gases efecto invernadero, para reducir este impacto y emisión de huella de carbono se propone un proyecto piloto basado en la instalación de doce paneles solares y cinco baterías de litio con inversores y reguladores para garantizar la operatividad continua del equipo.

Palabra clave: energía fotovoltaica, energía solar, descarbonización

Abstract (resumen)

Within the framework of the air quality monitoring process conducted by Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS, and with the objective of advancing towers enviromental sustainability, the following Project proposes the implementation of solar panels to replace the use of the conventional energy sources that rely on fossil fuels.

Currently, monitoring is carried out using generators that consume approximately two (2) gallons of Diesel per 24 hours, wich contributes to the generation of greenhouse gases. To reduce this impact and crbon foodprint a piloto f Project is proposed base on the installation of twelve solar panels and five lithium batteries with inverters and regulators toensure the continuous operation of the equipment.

Keywords: Photovoltaic energy, solar panels, decarbonization

Introducción

Las Naciones Unidas afirman que “El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón”. (Naciones Unidas , 2025)

La corte constitucional en Colombia publicó la sentencia C-280/24 en la que se indica que se debe incluir la evaluación de impactos en materia de cambio climático en los estudios de impacto ambiental para obtener la licencia ambiental, (Corte Constitucional República de Colombia, Rama Judicial , 2024) es por esto que se incluye dentro del siguiente análisis la importancia de prevenir y mitigar los impactos ambientales que generen efectos negativos sobre el medio ambiente y las condiciones ambientales seguras para las futuras generaciones, si bien las emisiones atmosféricas son considerables en los procesos de monitoreo de calidad del aire en inmisión, se ha demostrado que con la sustitución de energías convencionales por energías renovables no sólo se reducen estas emisiones, sino también que el costo que usualmente se considera para las ejecuciones cambia significativamente en comparación con la inversión y puesta en marcha de métodos como por ejemplo paneles solares que permiten realizar los análisis y actividades de laboratorio pertinentes sin ninguna afectación al proceso, evitando así el uso de combustibles fósiles.

Teniendo en cuenta que la sentencia obliga a los diferentes actores a hacer un buen uso de los recursos naturales y a evaluar aquellos impactos ambientales que pueden ser representativos

en una actividad, el presente proyecto plantea el diseño de un plan para la descarbonización del proceso de monitoreo de medición de calidad del aire en inmisión en el laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS mediante la sustitución de fuentes energéticas convencionales por energías renovables con el fin de sustituir la huella de carbono y sirviendo como punto de partida o modelo para otros laboratorios.

1. Planteamiento del Problema

1.1.Descripción del problema:

El bien mancomunado efecto de la globalización y el absolutismo del agotamiento de los recursos naturales ha provocado un proceso inmerso en la degradación del medio ambiente, dicho efecto negativo provoca la aceleración del cambio climático. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud OMS en su reciente estudio denominado "Ambient (outdoor) Air Pollution" se estima que la contaminación ha empeorado significativamente la calidad de vida del ser humano, en el cual se afecta directamente la calidad del aire; se estima que a causa de la degradación de la calidad del aire se provocó un total de 4,2 millones de muertes prematuras en el año 2019, adicionalmente se estima que 9 de cada 10 personas respiran una calidad del aire moderada con riesgo leve a la salud humana de acuerdo con los criterios establecidos en las guías de la OMS; en conjunto con la contaminación de los ambientes controlados como el hogar, la cifra total asciende a un total de 6,7 millones de muertes prematuras por año. (Organización Mundial de la Salud , 2024).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (Intergovermental Panel on Climate Change IPCC) confirma que el actuar antropogénico ha provocado el aumento generalizado del calentamiento en el planeta de hasta 1,1°C respecto a 1850 – 1900 y se advierte que la relación de las alteraciones en el medio ambiente ha generado impactos y alteraciones irreversibles o con un tiempo de recuperabilidad y estabilización de temperatura muy amplio de

entre 20 a 80 años en los mejores casos, el actual modelo económico globalizado aumenta aceleradamente el calentamiento global y los daños serán mucho más graves si no se reducen drásticamente las emisiones de Gases Efecto Invernadero, dichos cambios irreversibles serán afectaciones directas en la calidad del aire, temperaturas extremas, modificaciones de cuerpos hídricos, pérdida de biodiversidad en flora y fauna, entre otras. En consecuencia, la sociedad en general está obligada a acelerar la sustitución de combustibles fósiles y la búsqueda de estrategias para la transición y sustitución definitiva por energías renovables más eficientes y menos contaminantes. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021).

La Constitución Política de Colombia (1991) en su artículo 79 establece que "todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano" este principio fundamental debe ser el camino que oriente tanto a entidades públicas como a entidades privadas relacionadas con laboratorios y estudios ambientales a promover modelos de desarrollo sostenible en los procesos principales de su misionalidad y su actividad económica, diseñando e implementando diferentes estrategias que permitan ejecutar una transición del modelo estratégico hacia sistemas energéticos más eficientes y menos contaminantes, dando ejemplo a sus usuarios y clientes finales. No obstante, cabe resaltar que las actividades desarrolladas en el monitoreo de calidad del aire en inmisión no constituyen una gran fuente contribuyente al cambio climático y la degradación del ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero, sin embargo, sí están relacionados algunos impactos ambientales asociados a la quema de combustibles fósiles como el Diesel por el uso de plantas generadoras de energía.

La International Energy Agency IEA proyecta que la cuota de energías renovables en la electricidad global podría subir de 30% (2023) a 46% (2030) en virtud de la reducción de uso

energías convencionales se instaura un proceso de descarbonización en procesos industriales alimentados por electricidad; aún así, se busca generar un modo tendencia en el mundo dado que no alcanza por sí solo la meta de triplicar capacidades sin políticas adicionales, por lo que las acciones voluntarias empresariales son críticas (International Energy Agency , 2024). En Colombia el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS reglamentó el Monitoreo, Reporte y Verificación de acciones de mitigación a través de la Resolución 1447 de 2018, abordando el artículo 175 de la Ley 1753 de 2015, además, el país actualiza su inventario nacional de Gases Efecto Invernadero GEI (1990 – 2021), lo que refuerza la necesidad de generar reportes empresariales trazables y consistentes con metodologías reconocidas como la NTC ISO IEC 14064-1 direccionando a las empresas a adoptar estrategias de cuantificación, informes y procesos de remoción de GEI.

En Este contexto los laboratorios de medición de calidad del aire en inmisión generan emisiones principalmente por actividades como el consumo de combustibles fósiles, en el desplazamiento a estaciones de calidad del aire durante las campañas de medición, uso de fuentes de electricidad para el funcionamiento y la operación de equipos e instalaciones del laboratorio y por último se contemplan actividades de logística (envíos de filtros, equipamiento de repuestos e insumos, etc.). En virtud de ello la compañía puede aportar un estudio técnico como modelo inicial de descarbonización en el proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión siendo la empresa pionera en el sector y nicho de laboratorios ambientales acreditados por el IDEAM en desarrollar e implementar procesos de cálculo de huella de carbono a través del proceso de descarbonización de la actividad, fundamentado en el uso de energías renovables solarizando el suministro de

energía para equipamiento y Shelter de campo, optimizar rutas y digitalizar reportes para disminuir traslados cuantificando y verificando la reducción bajo la ISO 14064-1 y MRV Nacional.

El proceso productivo actual de la empresa Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS depende en gran medida de fuentes de energía convencionales, lo cual genera un volumen significativo de GEI. Derivados de sus procesos, obras o actividades referentes a monitoreo de calidad del aire en inmisión; esto dificulta el cumplimiento de metas de sostenibilidad y expone a la compañía a riesgos reputacionales, económicos e incluso ambientales, por lo tanto surge la necesidad de direccionar la compañía hacia un desarrollo sostenible de la actividad a través de la adopción de estrategias de cuantificación de GEI cálculo de huella de carbono de alcance, gestionar y producir documentos técnicos para reducir la huella de carbono a través de estrategias de remoción priorizando alternativas limpias como el uso de energías renovables con la finalidad de contribuir al cumplimiento de los ODS desde los organismos de gestión ambiental, de esta manera surge la necesidad de crear un plan piloto con el uso de energías renovables fotovoltaicas evidenciando la optimización en la reducción del uso de energías convencionales generadoras de GEI, descarbonizando la actividad de monitoreo de calidad del aire en inmisión.

1.2.Árbol de Problema:

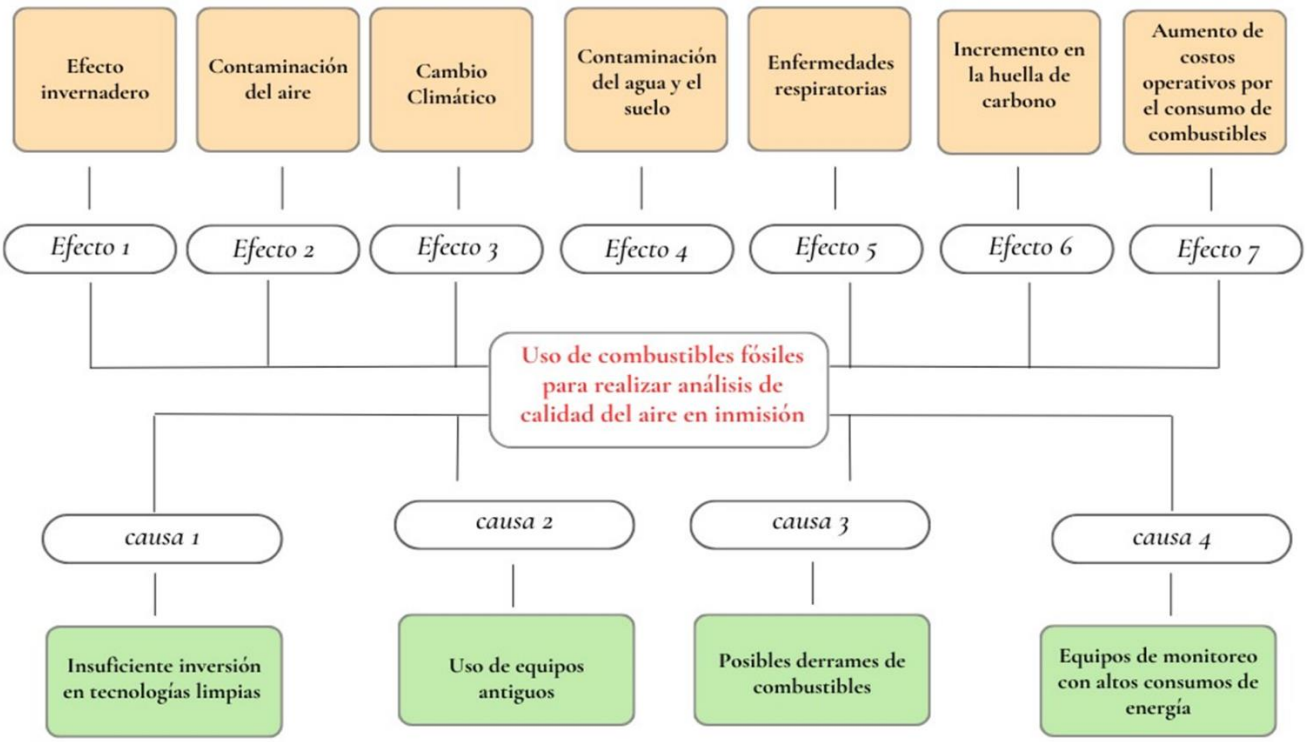


Ilustración 1: Árbol de problema, Uso de Combustibles Fósiles para Realizar Análisis de Calidad del Aire en Inmisión

1.3.Pregunta de Investigación/ Formulación del problema:

¿Cuántas toneladas de CO_2 equivalente puede reducir la compañía Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS mediante la sustitución de fuentes energéticas convencionales por energías renovables en el proceso de calidad del aire en inmisión?

2. Alcance

El presente proyecto aplica para el proceso del laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS, en el que se realiza monitore de calidad del aire en inmisión para el cual cuentan con el siguiente equipamiento de medición en estudio de los siguientes parámetros respectivamente: PM10 marca Tisch Alto Volumen, Pm 2.5 marca Thermo Partisol 2025 Plus, O_3 marca Thermo 49i, SO_2 en rack de gases, NOX en marca Horiba ABNA-370, Co en marca Thermo 48i y Caseta de Monitoreo Climatizada en Shelter, alimentadas por una planta de energía eléctrica y a las cuales se les aplicará el estudio de medición de huella de carbono en alcance 1 con el fin de establecer las estrategias para la descarbonización a partir de las energías renovables y prácticas de eficiencia energética para demostrar la relación costo/beneficio a través de un informe, que además incluya la propuesta del plan de descarbonización con dichas energías renovables demostrando los beneficios de implementación.

3. Justificación

El cambio climático es un fenómeno que actualmente está impactando significativamente y de manera negativa el planeta, el acelerado crecimiento de la industria y la tecnología que implícitamente generan altas emisiones de gases contaminantes a la atmosfera como el dióxido de carbono, metano, gases fluorados entre otros han incrementado en un alto porcentaje esta problemática que a pesar de los esfuerzos de algunos gobiernos y varias organizaciones desde hace ya más de cuatro décadas para prevenir y mitigar estos impactos, parecen ser a este punto irreversibles, dado que, por ejemplo, en el acuerdo de París en 2015 se estableció como meta que el calentamiento global no aumente a más de 2°C, limitando su crecimiento a más de 1,5°C objetivo que en la actualidad ya se incumplió generando la necesidad de crear nuevas estrategias y/o simplemente adaptarse al cambio de manera general a nivel global (United Nations Climate Change , 2020).

En Colombia a nivel gubernamental se han estado fortaleciendo los esfuerzos por la prevención y mitigación del calentamiento global, por ejemplo el Ministerio de Medio Ambiente y “La Comisión Intersectorial de Cambio Climático” en el pasado mes de septiembre de 2025 aprobaron la “Versión Declarativa del Compromiso Nacional que orientará la Acción Climática hasta el año 2025” en el que entre otras se reconoce que la crisis climática no sólo es ambiental sino también económica y civil, en esta declaratoria se establece que en nuestro país se establecen tres metas principales: reducir las emisiones de gases efecto invernadero, disminuir el carbono negro y la deforestación, por otra parte en el año 2024 se emitió la sentencia C280 en la que se exige incorporar impactos climáticos en estudios ambientales garantizando el derecho al ambiente sano y a su protección y es precisamente esta obligación la que conlleva a plantear el presente proyecto.

En este sentido, con el presente proyecto se busca que el laboratorio proyecte la reducción verificable de la huella de carbono al focalizar el proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión cuantificando las emisiones de alcance 1 demostrando reducciones con la implementación y gestión del modelo sugerido en la ISO 14064-1, facilitando auditorías, reportes entre otras actividades, además, con base en un estudio de mercadeo de la compañía se crea una diferenciación y reputación técnica documentada al poder llegar a convertirse en el primer laboratorio ambiental en reducir su huella de carbono y descarbonizar uno de sus procesos productivos más contaminantes al medio ambiente, el documentar la descarbonización del proceso y someterla a verificación independiente posicionaría a la compañía como pionera en el sector de laboratorios de ensayos ambientales acreditados por el IDEAM que integren energías renovables en sus procesos y servicios de monitoreo.

4. Objetivos.

4.1.Objetivo general:

Diseñar un plan de descarbonización del proceso de Monitoreo de Medición del Aire en inmisión del laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS mediante la sustitución de fuentes energéticas convencionales por energías renovables con el fin de reducir la huella de carbono.

4.2.Objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico detallado de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión, identificando su impacto ambiental, económico y social dentro de la operación de la empresa Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS.
- Analizar la huella de carbono en el proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión con el uso de energías convencionales con respecto a energías renovables conforma a la NTC ISO IEC 14064-1.
- Establecer estrategias para la descarbonización a través a partir de las energías renovables y prácticas de eficiencia energética para demostrar la relación costo/ beneficio a través de un informe.

5. Marco Teórico.

5.1.Antecedentes:

Las energías renovables han generado un gran impacto a nivel mundial por su capacidad de regenerarse más rápido en el tiempo, según las Naciones Unidas "las energías renovables son un tipo de energías de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que puedan consumirse, ejemplo de estas fuentes son la luz solar y el viento, estas fuentes se renuevan continuamente. Las fuentes de energía renovable abundan y las encontramos en cualquier entorno."

En la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en el año se habló acerca de la necesidad de diversificar el suministro de energía en los sectores públicos y privados y ampliar el portafolio para implementar y desarrollar energías más limpias, es importante resaltar que en esta cumbre participaron diferentes países con el objetivo de llegar a acuerdos en los que se comprometieron a cumplir metas sobre el desarrollo sostenible. Es así como en diferentes países, varias organizaciones han implementado nuevas tecnologías relacionadas con energías renovables, existen diferentes investigaciones que han llevado a la innovación de grandes laboratorios ambientales a nivel mundial que han dado lugar a disminuir su huella de carbono utilizando nuevas alternativas, por ejemplo, en Eslovaquia existe un laboratorio de fuentes de energías renovables que las acumula y las aprovecha en la realización de proyectos de investigación, cuenta con una planta de energía fotovoltaica ubicada en el techo que genera aproximadamente 20kWp, (Slovak University of Technology, 2013) mientras que en Perú muchos laboratorios han venido trabajando

en la estructuración de nuevas tecnologías para la ejecución de sus análisis; en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNALM se realizó una investigación en el año 2016 que permitió dimensionar un sistema fotovoltaico para abastecer las cargas de baja potencia en el mismo laboratorio, concluyendo que era viable montar el sistema supliendo aproximadamente 19,8KWh/día, con aproximadamente 20 años de vida útil (Cruz, 2016).

Lo anterior demuestra que sí es posible abastecer diferentes centros de trabajo con energías limpias como lo son por ejemplo los paneles solares, en Colombia según el Departamento Nacional de Planeación "la transición hacia una sociedad movida por el sol y el viento no solo es una respuesta al cambio climático, sino también una vía para transformar la economía colombiana, apalancar la reindustrialización, reducir la desigualdad y mejorar la calidad de vida de millones de personas" (Nicolás Rincón, 2024), además también existen investigaciones relacionadas con el cumplimiento de los objetivos para poner en marcha nuevos proyectos encaminados a la transición energética con energías limpias, en Colombia se diseñó y se presentó un proyecto para la adquisición de un sistema de energía limpia a través de paneles solares, para lograr el abastecimiento eléctrico de un laboratorio de electrónica en los llanos orientales, en el que se concluyó que se demuestra una base viable para la ejecución de proyectos similares para diferentes instituciones, garantizando así ahorros significativos en el consumo de energía eléctrica y en el cambio hacia un mundo más sostenible (John Martínez, 2014), es por esto que se busca demostrar la viabilidad de cambiar las energías de fuentes fósiles utilizadas en el laboratorio de Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS, específicamente en el proceso de medición de calidad del aire en inmisión.

6. Marco Referencial.

- El cambio climático es un proceso del clima que, aunque se estima a largo plazo, se ha incrementado en los últimos tiempos debido directa o indirectamente a la actividad humana, variando abruptamente las temperaturas, evidenciándose en el aumento del nivel del mar, las olas de calor que han producido graves incendios forestales, la extinción o el desplazamiento de grandes cantidades de especies de flora y fauna entre otros fenómenos o impactos ambientales.
- El presente proyecto se centra en la descarbonización de un proceso, sin embargo, es importante entender que la descarbonización consiste en la reducción paulatina de emisiones atmosféricas que contribuyen al calentamiento global mediante el reemplazo de tecnologías como fuentes renovables y mejoramiento y cambio en los procesos industriales y de transporte con energías limpias.
- Estas diferentes dinámicas que generan emisiones de gases efecto invernadero de manera antrópica actualmente se denominan como huella de carbono y es un indicador de medición con diferentes métodos de cálculo de dichas emisiones derivadas de combustibles fósiles.
- Para lograr procesos óptimos de descarbonización, las energías renovables son necesarias, las encontramos dentro de las mejores alternativas, ya que se derivan de fuentes naturales como la luz solar y el viento que producen menos emisiones, su implementación es menos costosa y generan económicamente un ahorro considerable. (Naciones Unidas, 2025)

7. Diseño Metodológico

La metodología para el proyecto de descarbonización del proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión, mediante cálculo y gestión de la huella de carbono en el laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS se basa en un enfoque mixto cuantitativo y cualitativo para ello se contempla el desarrollo de objetivos a través de la tabla 1 metodología y se contextualizan los diferentes escenarios requeridos para el desarrollo óptimo del proceso.

Tabla 1: Metodología. Autoría Propia

Metodología		
Objetivo general		
Diseñar un plan para la descarbonización del proceso de Monitoreo de Medición del Aire en inmisión del laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia S.A.S. mediante energías renovables y estrategias de eficiencia energética con el fin de demostrar los beneficios de reducir la huella de carbono mediante la implementación de energías renovables.		
Objetivo específico	**Actividades**	**herramientas**
1. realizar un diagnóstico de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión, identificando su impacto ambiental, económico y social dentro de la operación de la empresa Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia S.A.S	a. Realizar recorridos y levantamiento de datos en generación de recursos eléctricos (L, km, kWh, horas-equipo). b. Aplicar formatos de recolección en campo. c. Revisión documental cronogramas (ejecución de actividades 18 días), manuales y potencias. d) taller de materialidad de campo (encuestas al, área comercial, cantidad de monitoreos generados en un año).	a. observación directa, revisión documental b. uso de listas de chequeo, recolección manual de información, generación de cantidad de kW /h durante 24 en un proceso de 18 días

2.Analizar la huella de carbono del proceso de Monitoreo de la Calidad del Aire en inmisión con el uso de energías convencionales, respecto a energías renovables	a. Generar cálculo de línea base de las emisiones generadas por el uso convencional de energías no renovables (alcance 1) b. Generar cálculo de línea base de las emisiones generadas por el uso de energías renovables (alcance 1) c. Revisión documental investigativa para identificación de factores de emisión d. Ejecutar plan comparativo del análisis de huella de carbono generada entre ambas energías	a. observación directa. b. matriz de validación la cantidad de huella de carbono generada por el uso de combustibles fósiles por el factor de emisión c. revisión documental correspondiente a la 14064 d. base informativa de factores de emisión equivalente a la actividad a ejecutar e. Formato de cálculo de huella de carbono f. informe de cuantificación de huella de carbono
3 Establecer las estrategias para la descarbonización a partir de las energías renovables y prácticas de eficiencia energética para demostrar la relación costo/ beneficio de esta implementación a través de un informe.	a. identificar el plan estratégico de descarbonización energético a través de la documentación base b. implementar en el informe el análisis costo beneficio de la implementación, sugerencias y resultados esperados con y sin la implementación c. identificación de plan de metas de reducción de GEI con la periodicidad de un muestreo de calidad del aire y uno en general de todos los proyectos que podrían haber ejecutado en el año 2025	a. escenario de modelación financiera con indicadores de rentabilidad y costo. b. Análisis de huella de carbono. B. informe definitivo

7.1.Tipo de Enfoque:

El enfoque del proceso investigativo se realizará de manera mixta especificando los siguientes procesos:

- Enfoque cuantitativo: El desarrollo de la actividad se caracterizará por brindar información certera con respecto a la problemática planteada para el desarrollo óptimo de la actividad por lo tanto se empleará el método propuesto por la NTC ISO IEC 14064- 1: 2020 como estándar internacional para la recolección de datos, informe y cuantificación de la huella de carbono emitida en el proceso de medición de calidad del aire en inmisión, adicionando factores de modelación económica a través del proceso de análisis costo/ beneficio.
- Enfoque descriptivo en caso de estudio: Se realizará un proceso descriptivo de manera analítica especificando los impactos ambientales, sociales y económicos por el uso de energías convencionales versus el plan piloto para la descarbonización con el uso de energías limpias y renovables a través de paneles solares.

7.2.Población:

La población objeto del proyecto de descarbonización del proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión mediante el cálculo y gestión de la huella de carbono será no probabilística, siendo el laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS y su proceso de medición de calidad del aire en inmisión el objeto de estudio.

7.3.Muestra y técnica de muestreo:

El muestreo empelado en el presente proyecto es “No Probabilístico” dado que se utilizan fuentes de información como bitácoras de campo, listas de chequeo, hojas de vida, fichas técnicas o información general de equipamiento, datos sobre la cantidad de combustible fósil utilizado en campo para la generación de energía entre otras.

Así mismo se emplean otras actividades como lo son la observación directa del proceso desarrollado en campo, entrevistas a personal subcontratado, listas de chequeo, matrices de cálculo de huella de carbono, entre otros.

El ejercicio también se basa en el planteamiento del estándar internacional ISO 14064-1: 2020.

7.4.Técnica e instrumentos de recolección de datos:

En su mayoría se basarán en la recolección de datos a través de la información del laboratorio que se encuentra en medios digitales, así como la observación y el análisis de documentos en físico tales y como lo son planillas de registro, listas de chequeo, formatos de inspección, manuales de información entre otros.

7.5.Cuadro del diseño metodológico:

Las actividades planteadas para el desarrollo de los objetivos del proyecto se encuentran en la Tabla 1: Metodología. Autoría Propia, bajo la cual se rige el direccionamiento estratégico del proceso, en él se traza desde el direccionamiento del problema hasta su informe de cierre final.

7.5.1. Cronograma de Trabajo

Se relacionan a continuación las actividades que se desarrollan para lograr el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto **establecidos en el anexo numero 1**:

Tabla 2: Cronograma de Actividades. Autoría Propia.

Cronograma de actividades																	Anexo 1			
Actividades	**agosto**				**septiembre**				**octubre**				**Noviembre**				**Diciembre**			
Planteamiento problema																				
Realizar recorridos y levantamiento de datos en generación de recursos eléctricos (L, km, kWh, horas-equipo).																				
Aplicar formatos de recolección en campo.																				
Revisión documental facturas (alquiler de equipamiento), cronogramas (ejecución de actividades 18 días), manuales y potencias																				
taller de materialidad de campo (encuestas al, área comercial, cantidad de monitoreos generados en un año).																				
Generar cálculo de línea base de las emisiones generadas por el uso convencional de energías no renovables (alcance 1)																				
Generar cálculo de línea base de las emisiones generadas por el uso de energías renovables (alcance 1)Generar cálculo de línea base de las emisiones generadas por el uso de energías renovables (alcance 1)																				
Revision documental investigativa para identificación de factores de emisión																				
Ejecutar plan comparativo del análisis de huella de carbono generada entre ambas energías																				
identificar el plan estratégico de descarbonización energético a través de la documentación base																				
implementar en el informe el análisis costo beneficio de la implementación, sugerencias y resultados esperados con y sin la implementación																				
identificación de plan de metas de reducción de GEI con la periodicidad de un muestreo de calidad del aire y uno en general de todos los proyectos que podrían haber ejecutado en el año 2024																				
informe final																				

8. Desarrollo del estudio

El presente estudio se desarrolla en el marco del Monitoreo de Calidad en Inmisión ejecutado por el laboratorio ambiental acreditado Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS, el cuál a través de su amplia experiencia en el mercado evidencia la presente necesidad de dar un paso en el profundo análisis hacia la sostenibilidad ambiental ejecutando una transición del modelo convencional de energía por energías renovables de bajo impacto ambiental con énfasis puntual al uso e implementación de paneles solares tradicionalmente la implementación del estudio de calidad del aire dado a la influencia y practicidad del equipamiento se realiza a través de fuentes de energía convencionales específicamente una planta eléctrica (ilustración N° 1) operada a través de Diesel la cual garantiza la operatividad del equipamiento en un período de estudio de 24 horas de acuerdo con los registros operacionales del laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS, el consumo promedio de la planta de energía operada por Diesel es de dos (2) galones de combustible por cada 24 horas de muestreo continuo lo cual implica de manera directa la afectación a la calidad del aire de manera puntual y a raíz de ello se genera la participación en la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Con la meta clara de implementar un proceso de descarbonización del proceso convencional del monitoreo de calidad del aire en inmisión se planteó el escenario alternativo basado en el uso de energías renovables a través de la implementación de doce (12) paneles solares (Ilustración 2) acompañado de un sistema de cinco (5) baterías de litio con una capacidad de almacenamiento de hasta 5.120Wh de la marca Green Point en conjunto con sus inversores y reguladores de carga adicionando su estructura refrigerante, este nuevo escenario se plantea a través de la necesidad de aportar al desarrollo sostenible y la ejecución de un proceso de bajo

impacto ambiental promoviendo la reducción del uso de combustibles fósiles (Diesel), disminuyendo así la huella de carbono asociada al ensayo de la calidad del aire en inmisión.

En el desarrollo del estudio se contemplan las siguientes etapas:

Etapa1. *Planteamiento del problema:*

Se evidencia la necesidad de cumplimiento legal, además tras realizar un análisis detallado del mercado buscando procesos de mejora continua e implementando el concepto de sostenibilidad ambiental que se precisa la ejecución del proyecto piloto identificando posibles factores de riesgo y evidenciando la alternativa sostenible a través de la estandarización del procedimiento de instalación y los costos asociados a la transición energética con paneles solares, a través de este análisis conceptual se identificaron los siguientes riesgos asociados:

- Necesidad de suministro energético, cantidad y potencia.
- Paros repentinos
- Almacenamiento de carga
- Instalación de paneles solares
- Condiciones climatológicas adversas

De ello surge la necesidad de tener en cuenta los siguientes criterios que determinaron el proceso para una prueba piloto:

- De acuerdo con el equipamiento y parámetros asociados al estudio, (*ver tabla 3)* se detectó la siguiente necesidad energética:

Tabla 3. Demanda energética. Datos tomados de thermofisher.com

Parámetro de estudio	**modelo/referencia**	**Dato oficial**	**Potencia típica**
PM 10	Tisch PM10 alto volumen	110 V 8 A / 220 V 4 A	880 W
PM 2.5	Thermo Partisol 2025 Plus	3 A @ 120 V o 1,5 A @ 240 V	360 W
O_3	Thermo 49i	100–240 VAC	150 W
CO	Thermo 48i	100–240 VAC	275 W
NOX	Horiba APNA-370	240 VAC, 50 Hz, ca.170 VA	170 W
SO2	N/A	¼ HP	200 W
Caseta de monitoreo climatizada (Shelter)	N/A	Aire acondicionado instalado con sistema de apagado	800 W
Total energía requerida			2835 W

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, tras evaluar la anterior información, se determinó el desarrollo del proceso mediante la siguiente formula:

$$Edía(kWh)=P(W)*horas\ de\ operación/1000$$

Entonces se calculó mediante la anterior formula el siguiente dato en el desarrollo del proceso:

$$Edía(kWh)=2835W*24/1000$$

Con lo cual se determina que al día se requiere un sistema con una potencia de generación de más de $Edía(kWh)=68,04\ kWh/Día$

Esto con la finalidad de contar con un sistema que sea capaz de soportar el proceso ininterrumpido en el ensayo de monitoreo de calidad del aire en inmisión.

Otro escenario de riesgo que se contempla es el tiempo o las horas en las cuales no se cuenta con energía solar, por lo tanto se implementa un sistema de almacenamiento de 5.120Wh con lo cual no se presentaron cortes, con base en el proceso se identifica que es necesaria la instalación de doce (12) paneles solares con una capacidad suficiente de generación energética para que en el caso tal no se presenten cortes y sean lo suficientemente eficientes para que estos no permitan que se descarguen, ni se pierda en énfasis del estudio de calidad del aire en inmisión.

Como resultado se identifica que el principal factor para la descarbonización del ensayo de monitoreo de calidad del aire en inmisión sería la sustitución de la planta de energía operada con Diesel por energías renovables de bajo impacto planteando así el uso de paneles solares.

Etapa 2. *Realizar un diagnóstico de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión, identificando su impacto ambiental, económico y social:*

En función de la identificación de la problemática y del desarrollo del diagnóstico inicial del proceso se identifica la necesidad energética requerida por el equipamiento y el estudio preliminar para dar paso al plan piloto del proceso de transición energética *(ver Tabla 3)* identificando de manera inequívoca el equipamiento en el proceso de monitoreo de calidad del aire, implementando una revisión documental extendida con base a manuales de operación, fichas técnicas, segregando datos relevantes para el estudio como potencia requerida, por consecuente se identifica y se realiza el levantamiento de datos en campo una vez se implementa el plan piloto en el desarrollo del proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión, identificando posibles

afectaciones, contratiempos y entre otros procesos no determinados en el estudio del plan piloto del cual tras la ejecución se identificó un proceso satisfactorio y sin contratiempos por más que se presentaron condiciones climáticas adversas, se realizó una prueba en la que se determinó un proceso satisfactorio e ininterrumpido por 18 días de ejecución del proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión a través del uso de una check list (ver anexo 2).

Como resultado del análisis y el levantamiento de la información se procede a ejecutar una solicitud formal al área comercial del laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS de la cantidad y el detalle de estudios de medición de calidad del aire en inmisión de diferentes proyectos ejecutados durante el año 2025 con la finalidad de proceder a calcular la huella de carbono evitada de forma directa, si se aplica un proceso de transición energética dando así un resultado de la materialidad del proceso, con el cual el laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS precisa que para el año 2025 se realizaron un total de trece (13) proyectos.

En virtud de lo anterior se define que el alcance 1 de acuerdo con la NTC ISO 14064-1 se determina que la principal fuente asociada a la generación de gases de efecto invernadero provocadas por la influencia del ensayo de calidad del aire en inmisión es el uso de la planta de energía eléctrica operada por Diesel en la cual tras una revisión documental se estima que el promedio de Diesel consumido por día es de 2 galones, lo equivalente a 7.57 litros diarios de consumo, por lo que conlleva a un valor aproximado en el mercado al momento de ejecución del proyecto sea de $10.876 pesos colombianos por galón, lo cual estaría pagando un valor total de $21.752 pesos colombianos por el consumo diario de la planta eléctrica.

Etapa 3. *Documentar y establecer la propuesta con base en la NTC ISO 14064-1: 2020.*

Conforme se realiza el diagnóstico inicial de las principales fuentes contaminantes, y como es contemplado en la "Enviroment Protection Agency" (EPA) el alcance 1 del presente proyecto es considerado como "emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI) que se producen en fuentes controladas o propiedad de una organización (p. ej., emisiones asociadas con la combustión de combustibles en calderas, hornos y vehículos)" (EPA United States Enviromental Protection Agency, 2025), se precisa que para el caso práctico del objeto de estudio se implementa como línea base la determinación de la huella de carbono a través de factores de emisión generados por el uso de una fuente de energía convencional operada por Diesel.

Con base en lo anterior se estableció el correspondiente análisis de materialidad de campo, realizando la consulta a través del medio formal al área comercial correspondiente de la empresa Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombi SAS especificando la cantidad de muestreos de calidad del aire en inmisión realizados durante el año 2025 del cual se identificó que para el año 2025 el laboratorio ejecutó de manera satisfactoria trece (13) proyectos de calidad del aire uno de estos proyectos fue ejecutado como plan piloto con el uso de paneles solares y doce (12) fueron ejecutados con energía convencional.

Estos escenarios representan la actual situación del ensayo o monitoreo bajo la cual el laboratorio ha operado durante los últimos seis (6) años en todas sus campañas de monitoreo, dado

la practicidad del proceso y la operatividad del mismo, permitiendo ejecutar un ensayo de manera exitosa y de manera ininterrumpida.

Así las cosas, tomando como referencia la NTC ISO 14064- 1: 2018, se establecen los siguientes componentes ambientales para la implementación del modelo.

- Delimitación del proyecto: Monitoreo de calidad del aire en inmisión.
- Límites operacionales:

Se incluye como límite operacional referente a la emisión de gases efecto invernadero tipo 1 o alcance 1, del cual se identifica la quema de combustibles fósiles en el desarrollo y ejecución del ensayo.

- Temporalidad: Proyecto de monitore de calidad del aire en inmisión con duración de 18 días las 24 horas del día.
- Identificación de aspectos ambientales: quema de combustibles fósiles por uso de planta eléctrica, actividad que a su vez es generadora de impacto en la calidad del aire y emisiones de gases de efecto invernadero.

Tabla 4: Parámetros relevantes de la actividad.

Parámetro	Valor base	Unidad
consumo diario de Diesel	2 galones/día	gal/día
horas de operación	24 h/día	horas
cantidad de días por campaña	18 días	días
tipo de combustible	Diesel	-
tipo de planta	120v	-

Fuente: Elaboración propia

- Factor de emisión utilizado: De acuerdo con la Green House Gas Protocol en su herramienta de factores de emisión, para este proyecto se encuentra en un valor de 2.910 Kg CO_2/ litro de Diesel consumido.
- Evaluación de incertidumbre y consistencia. Incertidumbre controlada; uso de factores de emisión divulgados por la GHG Protocol, datos de registro de combustible emitidos por el laboratorio – consumo de Diesel constante y sin interrupción, operación continua sin pausas en el sistema.
- Estado del análisis de huella de carbono: de acuerdo con el proceso se recomienda ver el anexo 3 huella de carbono en la cual se presentan los cálculos referentes al proceso de medición de huella de carbono con relación al desarrollo de la actividad, con el cual se plantean factores de emisión en conjunto con la actividad relacionada, para ello se establecen dos escenarios:

Escenario 1: Uso de energía convencional con la planta operada con Diesel con la que se asocia una huella de carbono con un valor total de 0.397 toneladas de CO_2 equivalente.

Escenario 2: se contempla el uso de energía fotovoltaica con paneles solares, cuyo hallazgo indica que genera cero (0) toneladas de CO_2 equivalente dado a que en ellas no se genera la emisión de ningún contaminante por la quema de combustibles.

Etapa 4: *Establecer estrategias para la descarbonización a partir de las energías renovables y prácticas de eficiencia energética para demostrar la relación costo/beneficio de esta implementación a través de un informe.*

En el desarrollo del presente estudio se ejecuta un análisis costo beneficio contemplado en el anexo número 4 para la implementación de un sistema de energía renovable con énfasis en procesos fotovoltaicos para el suministro de energía limpia para el proceso de ensayo de calidad del aire en inmisión, en comparación del escenario con modelo convencional basado en la planta eléctrica alimentada por Diesel.

El análisis se enfoca en el desarrollo de:

- Costos directos de operación en ambos modelos
- Costos de inversión del alquiler de equipamiento en ambos escenarios
- Beneficios económicos, ambientales y reputacionales.

Para el presente estudio se ejecuta el proceso a través del análisis de dos escenarios en el cual el escenario uno (1) será considerado como el proceso de calidad del aire en inmisión con

fuentes de energía convencionales y el escenario número dos (2) que es el ensayo con fuentes de energía renovables.

Escenario 1: Se identificaron los siguientes factores determinantes de estudio:

- Fuente de energía, planta de energía operada con Diesel
- Consumo promedio: dos (2) galones consumidos por día o por cada 24 horas de operación continua.
- Duración de la campaña: 18 días
- Consumo total de combustible: 36 galones de combustible
- Emisiones asociadas: 0,396 toneladas de CO_2 EQ por cada campaña
- Costo de alquiler de equipamiento: $250.000 pesos colombianos

Escenario 2: se identificaron los siguientes factores determinantes:

- Fuente de energía fotovoltaica a través de paneles solares
- Consumo cero (0) de combustible ya que no se requiere
- Duración de campaña: 18 días
- Emisiones asociadas: cero (0) toneladas de CO_2 EQ
- Costo de equipamiento: $250.000 pesos colombianos

De acuerdo con el objeto del proceso, se identificaron los siguientes hallazgos:

- El costo total operativo para el escenario número uno (1), el cual se opera con fuente de energía convencional dio un valor de $4´891.536 pesos colombianos, segregado de la siguiente manera:
- Cantidad de combustible utilizado en el proceso 36 galones de Diesel.
- Valor total del combustible: $391.536 pesos colombianos

- Valor total del alquiler de equipamiento por campaña: $4´500.000 pesos colombianos.
- Emisiones generadas: 0.396 Toneladas de CO_2 EQ.

En comparación con los valores obtenidos en el desarrollo del proceso, con el escenario número dos (2) el cual arroja un valor total de $4´500.000 pesos colombianos para el alquiler total del equipamiento por campaña, para el cual se destaca la significante disminución del impacto ambiental con las cero (0) toneladas de CO_2 EQ emitidas.

Como análisis comparativo directo conforme al resultado económico arrojado, se basa en la siguiente ecuación:

$\triangle Costo18dias = Cesc1 - Cesc2$

Donde se identifica que la variabilidad del costo durante la campaña de monitoreo 18 días es igual al costo del escenario uno (1) menos el costo del escenario dos (2) con el cual se determinó el siguiente valor:

$\triangle Costo18dias = 4.891.536 - 4.500.000$

$\triangle Costo18dias = 391.536$

Con base en lo anterior, se determina que el escenario dos (2) es mucho más rentable en un valor de $391.536 pesos colombianos, asociados a costos operativos por alquiler de equipamiento como la necesidad de alimentación de combustible fósil para la operatividad de la planta de energía, por ende, el escenario número dos (2) resulta ser más viable a nivel económico e incluso más eficiente desde el primer día de uso del equipamiento en un 8%.

Adicionalmente al proceso de estudio costo – beneficio se considera como factor determinante la contaminación generada en el proceso de ensayo del primer escenario dando como resultado la emisión de 0.396 toneladas de CO_2 EQ el cual contribuye al cambio climático y no

garantiza la seguridad de la calidad del aire dado que la quema de combustibles fósiles en comparación con el escenario número dos (2) que no implica quema de combustibles su factor de emisión es cero (0); el desarrollo del ensayo de calidad del aire en inmisión da como resultado que la implementación del escenario dos (2) es viable en cuestiones de ahorro económico y prevención de la emisión de CO_2 al ambiente.

9. Resultados y Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos con respecto a la medición de la huella de carbono asociada al proceso de monitoreo de calidad del aire en inmisión y el estudio costo beneficio permiten comparar la correlación directa del proceso asociado a los dos escenarios de manera integral evidenciando su desempeño ambiental y económico.

Por ende, desde un punto de vista convencional, el primer escenario en el que se usan energías convencionales se ha vuelto obsoleto y deberá ser utilizado únicamente para casos extremos en los cuales no sea viable la instalación de paneles solares por condiciones climatológicas adversas, punto de muestreo con sombra permanente u otros factores que afecten la eficiencia del modelo número dos.

El desarrollo de los procesos de monitoreo de calidad del aire con energías renovables trae consigo altos beneficios con propósito para el área ambiental de la compañía, aumentando la reputación de la misma dado a que ningún laboratorio a nivel ambiental acreditado cuenta con estudios de huella de carbono e implementación de energías renovables, ni tampoco cuentan con estudios costo beneficio para la operatividad de este escenario.

Los datos arrojados por la cuantificación del modelo económico más viable arrojan como "ganador" al escenario número dos (2) en el cual se evidencia que la implementación del alquiler de dicho equipamiento genera un beneficio económico adicional proporcionando un valor de $391.536 pesos colombianos de ahorros marginales por cada monitoreo ejecutado con este modelo.

En cuanto al beneficio ambiental del desarrollo se evidencia que el modelo con menor impacto es el modelo número dos (2), en el cual la fuente fotovoltaica evita la generación de 0,396 toneladas de CO_2 EQ emitidas a la atmósfera por ende favorece al desarrollo sostenible de la operatividad en el laboratorio ambiental acreditado en contraste con el modelo convencional reduce significativamente las emisiones operacionales, lo cual se traduce en la descarbonización del monitoreo de calidad del aire en inmisión.

A través del análisis profundo de la actividad se evidencia que favorece económicamente al laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia como población objetivo, descarbonizando el proceso de ensayo.

Como medida no probabilística se intuye que la población cualitativa en la zona de impacto generada por el uso de energías renovables, va a obtener una mejor calidad del aire debido a la no generación de gases de efecto invernadero por el consumo de combustibles fósiles promoviendo la prevención de impactos ambientales y de enfermedades derivadas de los gases efecto invernadero.

10. Propuesta de Mejora o Recomendaciones

Se propone la implementación general de un sistema fotovoltaico para los procesos del laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS, con el fin no solo de suministrar la energía para los procesos de monitoreo de calidad del aire en inmisión, sino también para que se contemple en otros procesos de la organización, con el fin de reducir el impacto ambiental generado por el consumo de combustibles fósiles para la operación de todos sus equipos en monitoreo de calidad del aire en inmisión, contribuyendo hacia una transición de fuentes de energías limpias,

Tras una revisión detallada en un estudio de análisis costo beneficio (ver anexo 4) se contemplan 4 escenarios viables con el objeto de precisar una transición energética efectiva.

Ilustración 2 análisis de costo beneficio con inversión

Análisis de costo beneficio con inversión						Anexo 4
Número de escenario	valor de inversión	valor de ganancia por campaña	vida útil del equipamiento (años)	Punto de equilibrio en proyectos	operatividad aproximada del equipamiento por año	cantidad aproximada de moitoreos viables
1	$ 80.000.000,00	$ 391.536,00	40	204	15	584
2	$ 50.000.000,00	$ 391.536,00	35	128	15	511
3	$ 40.000.000,00	$ 391.536,00	28	102	15	409
4	$ 34.000.000,00	$ 391.536,00	20	87	15	292

En dichos escenarios se contempla la posible inversión inicial teniendo en cuenta la compra de una cabina monitorizada climatizada, convertidores de energía, paneles solares y baterías requerida para la operatividad del proyecto, el cual brinda como resultado que el escenario más viable de implementación es el 4 escenario, con una inversión total de $34.000.000 de pesos colombianos.

Cabe resaltar que el proceso de calidad de aire en inmisión es de 18 días de ejecución sin contar que la instalación y calibración del equipamiento puede llegar a tardar ± 2 días, al adicionar procesos tales como mantenimientos preventivos, y logística del desplazamiento

determinaría la operatividad aproximada del equipamiento en 25 días por mes. Por tanto, la operatividad en proyectos una vez realizado el cálculo es de 15 proyectos por año, lo cual se traduce al multiplicarlo por la cantidad de vida útil en años el valor total de cantidad aproximada de monitoreos viables, por ello se recomienda optar por la implementación del modelo numero 4 brindando un total de 205 proyectos factibles a ejecutar una vez ya se haya recuperado la inversión inicial del proyecto en transición energética descarbonizando la calidad del aire en inmisión.

Durante el plan piloto se evidencia que la eficiencia operativa de los equipos alcanza un 100% cuando funcionan con energías renovables, frente a un 100% cuando operan con energías convencionales, lo que demuestra una viabilidad técnica y económica del sistema fotovoltaico, además de mejorar el desempeño de los equipos dado a la tasa de regulación y emisión estable de energía, por ende su uso permite disminuir costos asociados al consumo de combustibles, mantenimiento, operación y posibles emergencias por derrames.

Desde la perspectiva de desarrollo sostenible, la adopción de alternativas energéticas responsables posiciona al laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia SAS como un laboratorio comprometido e innovador en el marco de la responsabilidad ambiental y la reducción de impactos ambientales. Esto fortalece su atractivo para organizaciones que buscan servicios de análisis con menor huella ecológica alineados con estándares ambientales económicos.

Así mismo la propuesta contribuye al cumplimiento de la agenda 2030, particularmente a los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la acción por el clima (ODS 13), la energía asequible y no contaminante (ODS 7) y la producción y consumo responsables (ODS 12). Avanzar en estas metas impulsa la construcción de un futuro más sostenible y competitivo para el sector ambiental del país.

11. Conclusiones

- El estudio evidenció que fuentes convencionales de energía, particularmente plantas eléctricas operadas con Diesel, genera impactos ambientales significativos debido a la quema de combustibles fósiles necesaria para abastecer los equipos utilizados en el análisis de calidad del aire en inmisión.
- La prueba piloto con el sistema fotovoltaico demostró un desempeño eficiente y confiable, garantizando el suministro energético continúo requerido para la operación de los equipos y el cumplimiento sin interrupciones.

- Se determinó que la huella de carbono asociada al uso de Diesel alcanza aproximadamente 0,396 toneladas de CO_2 equivalente por campaña, mientras que la operación del sistema fotovoltaico genera cero emisiones directas, marcando una diferencia ambiental contundente entre ambos escenarios.

- La transición hacia energías renovables fortalece la sostenibilidad del proceso, y que reduce los impactos ambientales y aumenta la eficiencia operativa, asegurando la continuidad del servicio y cumpliendo los requisitos técnicos del monitoreo.

- El análisis de costos reflejó un ahorro económico significativo al utilizar energía fotovoltaica, producto de la eliminación del gasto en combustible y la reducción de costos operativos, lo cual confirma la viabilidad financiera del modelo renovable.

- Aunque el sistema fotovoltaico es la alternativa recomendada, el uso de energía convencional únicamente se justifica en condiciones climatológicas que impidan la operación o instalación de paneles solares; en condiciones normales, el estudio sugiere emplear exclusivamente energía renovable.

- El proceso de comparación entre escenarios permitió demostrar que la energía solar elimina por completo las emisiones directas de contaminantes a la atmosfera, lo que evidencia su potencial para lograr una descarbonización real de los procesos del laboratorio.

- Finalmente, la implementación permanente del sistema fotovoltaico posicionaría al laboratorio Soluciones en Ingeniería Ambiental de Colombia como pionero en la sustitución de energías convencionales por energías renovables en análisis de calidad del aire, fortaleciendo su liderazgo técnico y su compromiso con la sostenibilidad.

12. Bibliografía

Corte Constitucional República de Colombia, Rama Judicial . (2024). *Corteconstitucional.gov.co*. Obtenido de Sentencia C280/24 : https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2024/c-280-24.htm

Cruz, E. C. (2016). *repositorio.lamolina.edu.* Obtenido de https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/23e84348-ecd6-438d-9101-528692b85bb4/content

EPA United States Enviromental Protection Agency. (23 de april de 2025). *epa.gov EPA United States Enviromental Protection Agency*. Obtenido de epa.gov scopes 1&2 Emissions Inventoying and Guidance: https://www.epa.gov/climateleadership/scope-1-and-scope-2-inventory-guidance

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (09 de Agosto de 2021). *Cambio Climático Generalizado, Rápido e Intensificandose - IPCC* . Obtenido de https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/?utm_source=chatgpt.com

International Energy Agency . (2024). *IEA.ORG*. Obtenido de https://www.iea.org/reports/renewables-2024/global-overview?utm_source

John Martínez, C. R. (24 de Julio de 2014). *laccei.org.* Obtenido de Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology: https://laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/StudentPapers/SP021.pdf

Naciones Unidas . (2025). *un.org*. Obtenido de Naciones Unidas. Acción por el Clima : https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change

Naciones Unidas. (27 de 11 de 2025). *un.org*. Obtenido de Naciones Unidas. Acción por el Clima : https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy

Nicolás Rincón, J. N. (29 de septiembre de 2024). *dpn.gov*. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación. Planeación y Desarrollo: https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Planeacion/Paginas/transicion-energetica.aspx

Organización Mundial de la Salud . (24 de Octubre de 2024). *Organización Mundial de la Salud* . Obtenido de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

Slovak University of Technology. (2013). *Stuba.sk*. Obtenido de Laboratorio de Fuentes de Energía Renovable : https://www.stuba.sk/english/science-and-research/other-research-centres-and-laboratories/laboratory-of-the-renewable-energy-sources.html?page_id=10591

United Nations Climate Change . (20 de Noviembre de 2020). *unfccc.int*. Obtenido de United Nations Climate Change. El Acuerdo de París : https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris#:~:text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20es,4%20de%20noviembre%20de%202016.