DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD EN EL VALLE DE ABURRÁ ANTIOQUIA

POLITÉCNICO COLOMBIANO
JAIME ISAZA CADAVID

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

CONTENIDO

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO 6
1.1. Nombre del proyecto: 6
1.2. Sector o sectores a los que pertenece el proyecto: 6
1.3. Nombre de la entidad ejecutora propuesta del proyecto: 6
1.4. Localización: 6
1.5. Tiempo de ejecución (en meses): 6
2. ARTICULACIÓN DEL PROYECTO CON LA POLÍTICA PÚBLICA 7
2.1. Plan de desarrollo nacional 7
2.2. Plan de desarrollo departamental 7
2.3. Plan de desarrollo municipal 8
2.4. Foco temático abordado en el proyecto y priorizado en el departamento o departamentos 8
2.5. Foco Colciencias: 8
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 10
3.1. Problema central: 13
3.2. Descripción de la situación existente con respecto al problema: 14
3.3. Magnitud del problema: 24
3.4 Estudio de necesidades: 27
3.5 Árbol del problema: 28
4. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN 29
4.1. Antecedentes: 29
4.2. Justificación 35
5. MARCO CONCEPTUAL 38
5.1. Marco Política Pública: 38
5.2. Marco Normativo: 42
5.3. Marco normativo de instituciones: 44
5.4. Estado del Arte: 47
6. ANÁLISIS DE PARTICIPANTES 51
7. POBLACIÓN AFECTADA 55
8. POBLACIÓN OBJETIVO 55
9. CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS DE LA POBLACIÓN OBJETIVO 56

10. OBJETIVOS DEL PROYECTO 57
10.1. Objetivo general 57
10.2. Objetivos específicos 57
10.3. Árbol de objetivos: 58
11. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 59
12. CADENA DE VALOR 62
13. METODOLOGÍA 67
14. TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LOS PROCESOS DE FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA 102
15. ANÁLISIS DE RIESGOS 104
16. INGRESOS Y BENEFICIOS 108
17. ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD 111
18. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 115
19. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES FINANCIERAS 120
20. ANÁLISIS DE LICENCIAS Y PERMISOS 123
21. ANEXOS MGA 124
22. BIBLIOGRAFÍA 126

RESUMEN EJECUTIVO

La mala calidad del aire es la mayor amenaza ambiental para la salud pública, y el mayor reto para los países de medianos y bajos ingresos, con amplia evidencia sobre sus efectos negativos para la salud. Un conocimiento suficiente es imperativo para la creación e implementación de políticas públicas para mejorar la calidad del aire, la salud y calidad de vida. En Colombia y Medellín se ha avanzado en investigaciones sobre perfiles químicos de PM2.5 en campañas de medición que permite la modelación del aporte de las fuentes, y en investigaciones epidemiológicas que han estimado con distintos niveles de incertidumbre los impactos en la salud.

A pesar de los avances en política pública no se ha realizado un seguimiento en términos de los cambios que han generado para disminuir los niveles de contaminación y prevenir los episodios críticos, así mismo falta comprensión sobre las relaciones entre la salud y las características químicas y biológicas de PM2.5, principalmente sus componentes elementales tóxicos con impactos de alta carga para el sistema de salud. La fundamentación científica y la generación de información sólida y robusta necesaria para la toma de decisiones requiere un trabajo interdisciplinario y la construcción de capacidades investigativas institucionales, grupales e individuales.

Este proyecto busca avanzar en el fortalecimiento de capacidades institucionales, intersectoriales y regionales a partir de procesos de investigación que generen información sólida y robusta sobre la evaluación de los efectos en la salud del contaminante criterio PM2.5, considerando su especiación química, física y microbiológica, los aportes de fuentes de emisión locales y regionales y su diferenciación en periodos de estabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá, mediante un ejercicio interdisciplinario centrado en el territorio, que permita la gestión social del conocimiento.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define el material particulado fino como una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas, sólidas y líquidas suspendidas en el aire de tamaño menor a 2.5µm (PM2.5) formada mayoritariamente por sulfatos, nitratos, amonio, cloruro de sodio, carbono negro, polvo mineral y agua, al que se le asocian un estimado de siete (7) millones de muertes al año. Esta fracción hace parte de los denominados aerosoles atmosféricos generados por fuentes primarias naturales como los polvos transmitidos por el viento, aerosoles marinos, escombros volcánicos o desprendimientos de partes vegetales y por fuentes de actividades antropogénicas a causa de las emisiones industriales, polvo forzado por el viento producto de explotación minera, actividades agrícolas, combustión de combustibles fósiles y quemas de biomasa y en distribución de tamaños que van desde micrómetros hasta nanómetros considerado inhalable por su capacidad de ingresar a alveolos pulmonares, acumularse, traspasar mucosa pulmonar, ingresar al pulmón y en algunos casos transportarse a través del torrente sanguíneo y llegar a otros órganos, motivo por el cual es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados debido a su efecto sobre el deterioro local y regional de la calidad del aire.

Para lograr este propósito se plantea un proceso interdisciplinario que fortalezca los procesos de investigación sobre los perfiles químicos y microbiológicas del PM2.5 en campañas de medición durante un periodo 18 meses abarcando cuatro (4) temporadas de lluvia y (4) temporadas secas, que permitirá una modelación del aporte de las fuentes y análisis microbiológicos con la estrategia Metagenómica Shotgun. Así mismo analizarán los efectos respiratorios y cardiovasculares relacionados con de un índice ambiental construido con los

componentes de PM2.5 identificados mediante un análisis de componentes principales PRINQUAL vía método de máxima varianza, que involucra estrategias de análisis epidemiológico con fuentes secundarias (RiPs y RUAF) y primarias, con un análisis de series de tiempo con Modelos Aditivos Generalizados, y el seguimiento por 18 meses 546 menores de 15 años y 546 mayores de 40 años asintomáticos seleccionados con un muestreo trietapico a quienes se indagará auto-reporte de síntomas, la consulta a servicios de salud y pruebas de función pulmonar. Se realizarán pruebas de genotoxicidad y mutagenicidad del PM2.5 mediante el análisis cometa y el test de Ames. Esta información se integrará mediante la construcción de un prototipo de un metamodelo información y que permita un proceso de gestión social del conocimiento en el territorio y la validación de indicadores como herramienta de política pública.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1. Nombre del proyecto:

Nombre MGA: Desarrollo de un programa de Gestión del Conocimiento en contaminación atmosférica y sus efectos en la Salud en el Valle de Aburrá Antioquia

Nombre MinCiencias: Programa de investigación y Gestión del Conocimiento en contaminación atmosférica y sus efectos en la Salud en el Valle de Aburrá – Código SIGP 75842

NOTA: El nombre del proyecto reportado en la plataforma MGA varia respecto al nombre presentado ante el SIGP de Minciencias debido a requisitos de la MGA que solicita al inicio del nombre del proyecto el proceso y al final el departamento.

1.2. Sector o sectores a los que pertenece el proyecto:

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

1.3. Nombre de la entidad ejecutora propuesta del proyecto:

El proyecto será liderado por el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid a través del Grupo de Investigación en Higiene y Gestión Ambiental – GHYGAM en asocio con el Grupo de Investigación en Salud y Ambiente de la Universidad de Antioquia.

1.4. Localización:

- ✓ Región: Occidente
- ✓ Departamento: Antioquia
- ✓ Municipio: Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Bello, Copacabana, Girardota, Barbosa y Medellín que conforman la región del Valle de Aburrá.
- ✓ Centro poblado: No Aplica.

1.5. Tiempo de ejecución (en meses):

36 meses

2. ARTICULACIÓN DEL PROYECTO CON LA POLÍTICA PÚBLICA

2.1. Plan de desarrollo nacional

El proyecto contribuye desde diferentes pactos (enfoques) presentados en el *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Pacto por Colombia, pacto por la equidad.* Como con el Pacto por la Sostenibilidad a través de objetivos clave como la promoción del conocimiento en la comunidad sobre los riesgos de desastres y el cambio climático para tomar mejores decisiones en el territorio; y el fortalecimiento de las instituciones ambientales, la investigación y la gestión pública, al tiempo que se propicia el diálogo y la educación ambiental en los territorios.

Además, se alinea con el Pacto por la Ciencia, la Tecnología y la Innovación: un sistema para construir el conocimiento de la Colombia del futuro por medio del objetivo de potenciar la innovación pública a través de herramientas para medir, fortalecer y articular capacidades de innovación, a través de la línea de Tecnología e investigación para el desarrollo productivo y social.

Así mismo, en el Pacto por la equidad en el área de Salud para todos Con calidad y eficiencia, sostenible para todos mediante la estrategia de prevención de enfermedades cardiovasculares (infartos), tumores y cáncer, consumo de tabaco y sustancias psicoactivas, malaria, tuberculosis y VIH. Esta última, es de especial interés debido a que el estudio e intervención a este factor de riesgo ambiental, permite la prevención de algunas de estas enfermedades.

- ✓ **Plan Nacional de Desarrollo:** “Pacto por Colombia, pacto por la equidad 2018 -2022”
- ✓ **Estrategia transversal:** “Pacto por la ciencia, la tecnología y la innovación: un sistema para construir el conocimiento de la Colombia del futuro”.
- ✓ **Línea**: Tecnología e investigación para el desarrollo productivo y social
- ✓ **Programa**: Investigación con calidad e impacto

2.2. Plan de desarrollo departamental

PLANES DE DESARROLLO DEPARTAMENTALES

EJE CAFETERO

N°	DPTO	PLAN DE DESARROLLO	LÍNEA ESTRATÉGICA	PROGRAMA
1	Caldas	Plan de desarrollo 2020-2023. Unidos es posible [1].	Educación, ciencia y tecnología.	Ciencia, tecnología e Innovación al servicio de la Competitividad, la productividad y la inclusión social.
2	Risaralda	Plan departamental de desarrollo 2020-2023. Risaralda sentimiento de todos [2].	Gobierno abierto, moderno y participativo.	Ciencia, tecnología, innovación para la competitividad sostenible.
3	Quindío	Plan departamental de desarrollo 2020-2023. Tú y yo somos Quindío [3].	Inclusión social y equidad.	Generación de una cultura que valora y gestiona el conocimiento y la innovación.
4	Antioquia	Plan de desarrollo Unidos por la vida 2020-2023 [4].	Nuestra economía	Ecosistema subregional de CTeI.

En el marco del Plan de Desarrollo Departamental de Antioquia. Unidos por la vida 2020-2023 que le apunta a la construcción de un Departamento como un territorio saludable, seguro, en paz, con equidad y prosperidad, que ofrezca oportunidades para acordar una agenda colectiva, aprovechar así las riquezas y forjar progreso con desarrollo humano sostenible. El proyecto contribuye por medio de la Línea Estratégica 4 denominada Nuestra Vida en el cual se estipula "Proteger la vida como valor supremo, bajo el enfoque de seguridad humana, con el fin de promover las condiciones para que nuestro Departamento esté libre de necesidades: donde la salud, el ambiente y la economía promuevan el desarrollo (…)" y a través de este por el componente 4.2: Bienestar activo y saludable para Antioquia, donde se abordan componentes como la salud pública y la salud ambiental haciendo énfasis en la necesidad de la realización de alianzas intersectoriales que fortalezcan el abordaje integral de los determinantes sociales (que explican la mayor parte de las inequidades sanitarias, las diferencias injustas y evitables), que reduzcan los riesgos de enfermar y morir para alcanzar poblaciones saludables y equitativas

2.3. Plan de desarrollo municipal

En consecuencia a que la presente propuesta se hace en torno a un área metropolitana que se gestiona como una unidad territorial, se relaciona el *Plan de Gestión Futuro Sostenible 2020-2023, Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. El cual pretende la transformación de la ciudad metropolitana haciendo un énfasis especial en el concepto de ciudades y territorios inteligentes, para el logro del mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes metropolitanos. A partir de la utilización de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones, la innovación y el conocimiento, es posible apuntar al logro de la sostenibilidad ambiental, económica y social, superando los retos que ello supone.

En este, la presente investigación se inscribe en el 8.1.1. Eje estructural de sostenibilidad ambiental por medio de la dimensión de la estrategia de territorios inteligentes a través del fortalecimiento, generación y aprovechamiento del conocimiento científico y la tecnología el cual se considera transversal a las seis (6) dimensiones de la estrategia territorios inteligentes. En este se anida el Programa 5. Gestión inteligente del aire, apoyando el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire (PIGECA) el cual recalca por medio del eje temático Generación y aprovechamiento del conocimiento Científico de la tecnología orientando acciones para el apoyo a proyectos de investigación e innovación que deberán ser ejecutados en esta temática por grupos de trabajo inter y transdisciplinarios.

2.4. Foco temático abordado en el proyecto y priorizado en el departamento o departamentos

- ✓ SALUD
- ✓ MEDIO AMBIENTE – BIODIVERSIDAD
- ✓ EDUCACIÓN

2.5. Foco Colciencias:

De acuerdo al CONPES 3582 de 2009, el "Programa de investigación y Gestión del

Conocimiento en contaminación atmosférica y sus efectos en la Salud en el Valle de Aburrá" se articula en el objetivo 6 esta Política Nacional de Ciencia, tecnología e Innovación denominado "*Desarrollar y Fortalecer capacidades en Ciencia, Tecnología e Innovacón".* La articulación se presenta en la primera estrategia que busca fortalecer las capacidades regionales para la generación, gestión y uso del conocimiento a través del fortalecimiento de los sistemas regionales de CTeI, con lo cual se busca el mejoramiento en la planeación, organización, ejecución y evaluación de las actividades de CTeI por parte de los entes territoriales.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El entorno urbano, donde reside la mayoría de la población mundial y donde se consume una importante proporción de la energía, es también el ámbito donde los habitantes se encuentran más expuestos a la contaminación atmosférica. Existe consenso global que esta situación impone impactos negativos sobre la salud y el clima, la productividad de la agricultura, y que además empeora en la medida que las regiones urbanas crecen rápidamente y transforman sus entornos naturales por capas de cemento y materiales radiativos. A pesar de esta circunstancia existe una falta sistemática de mediciones de la calidad del aire en muchas ciudades del mundo. Es así como publicaciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, establece que para el año 2050 la contaminación del aire será la causa principal de mortalidad, superando la ocasionada por el agua contaminada y la falta de sanidad [5]. Sin embargo, la salud humana no es el único problema asociado a la contaminación atmosférica, dado que ésta afecta también el crecimiento de los cultivos, reduciendo la productividad de la agricultura [6] e interfiere en el balance Radiactivo global, mediante mecanismos complejos que modifican el clima.

Según el Índice de Desempeño Ambiental de 2018, la mala calidad del aire es la mayor amenaza ambiental para la salud pública, y el mayor reto para los países de medianos y bajos ingresos [7]. El conocimiento existente sobre calidad del aire en el mundo proviene de extensas redes de monitoreo de la calidad del aire localizadas principalmente en países de ingresos altos, con amplios avances en tecnología que les ha permitido avanzar en la vigilancia de distintos tipos de aerosoles y su composición, particularmente compuestos y elementos tóxicos como bencenos, metaloides, plomo, cadmio etc., muy relacionados con la calidad de los combustibles y con impactos de largo plazo en la salud principalmente el incremento del riesgo de varios tipos de cáncer [8].

En Latinoamérica, un reporte reciente revela que el 27.1% de las ciudades con más de 100,000 habitantes cuentan con alguna herramienta para el monitoreo de la calidad del aire, el cual se basa en la medición de material particulado grueso 93.4% y en menor proporción, 65.6%, material particulado fino. Muy pocas redes de monitoreo analizan datos de compuestos elementales, el 31.1%, y cuando lo hacen sólo miden concentraciones de plomo [9].

En Colombia, El informe de la Situación de la Calidad del Aire de 2016 informó sobre una Red de monitoreo constituida por 159 estaciones, en 72 municipios, de las cuales 139 mide PM10 y 47 miden PM2.5, y de las cuales sólo el 41% y 38% respectivamente cumplen con los mínimos de calidad exigidos [10].

De manera específica el Valle de Aburrá, región conurbada de 10 municipios, donde convergen diferentes actividades empresariales y de servicios, se han incrementado durante los últimos años las concentraciones PM2.5 generadas principalmente por fuentes móviles en especial por vehículos que funcionan con motores diésel, además de equipos de construcción, hornos, plantas generadoras de energía e industrias localizadas en el sector urbano y rural. Esta región caracterizada por un régimen de vientos de montaña y baja dispersión viene presentando desde el 2016 en los periodos de transición de temporadas secas a lluviosas, fenómenos de inversión térmica que han causado el

incremento en las concentraciones PM2.5, exigiendo la declaración de estados de alerta y emergencia de la calidad del aire para garantizar la salud de los ciudadanos [11].

Dadas estas condiciones y en el marco del Plan Estratégico Regional (PER) de la cuenca de Suramérica y el Caribe para el período 2016-2021, Naciones Unidas ONU-Agencia Internacional de Energía Atómica IAEA ha aprobado y financiado el proyecto "Uso de Técnicas Analíticas Nucleares para el Estudio de la Emisión y la Recepción de Material Particulado Atmosférico por parte de los Grandes Centros Urbanos de América Latina y el Caribe", en el que se han realizado campañas de corta duración de especiación química del PM2.5 (su composición física, química e isotópica) mediante el uso de diversas técnicas analíticas nucleares e identificación de perfiles de fuentes, que si bien no han abarcado los momentos de transición, han generado información aproximada en la modelación de aportes de fuentes de emisión, que han contribuido con importantes avances para la toma de decisiones respecto a la prevención de los estados de emergencia ambiental.

En Colombia, la relación entre contaminación del aire y salud ha sido explorada durante las últimas dos décadas. Un scoping review de la producción colombiana entre 2008 y 2016 [9], encontró 19 trabajos realizados en ciudades del país como Bogotá, Bucaramanga, Santamarta y Medellín, los cuales se ha enfocado en el análisis principalmente de los impactos asociados a la exposición a un contaminante principalmente material particulado, principalmente morbilidad y mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares con enfoque poblacional , como individual [12], e incluso con evidencia de los impactos a nivel genético y de citotoxicidad [13]. Recientemente se reportan análisis de exposición a multi-contaminantes con evidencia de efectos de mezclas y que revelan importantes impactos en la salud de los habitantes de zonas urbanas del país [14].

Desde 2016, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia vienen realizando investigaciones en la que se ha abordado la parte del espectro de salud relacionada con los eventos agudos asociada a la exposición de corto plazo, con exploraciones de la exposición diaria en población vulnerable (menores 5 años y adultos de 65 y más años) a un solo contaminante para cada de los 10 municipio de la región. Este estudio evidenció como los incrementos de 10 $\mu g/m^3$ en los contaminantes PM10, PM2.5 y O3, se asociaron a aumentos en el porcentaje de riesgo de enfermar o morir por eventos respiratorias o circulatorios [15]. Así mismo, encontró que durante los días de episodios contingencia ambiental (febrero-abril) hubo un sobre-incremento en el riesgo consulta a los servicios de urgencias por infección respiratoria aguda y neumonía respectivamente, en niños menores de 5 años, asociadas a las concentraciones de PM2.5 [15].

Estos proyectos han permitido avanzar en procesos de gestión, integración y análisis de grandes volúmenes de datos de salud y calidad del aire, lo que ha permitido la comparación e interpretación de la información generada por distintos sectores, y avanzar en análisis comparados e integrados entre los municipios de la región, a la vez que ha contribuido con los procesos de planificación intersectorial y de acción en salud pública .

Para apoyar los procesos de política pública ambiental de la región del Valle de Aburrá, El Área Metropolitana del Valle de Aburrá- AMVA viene implementando el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá (PIGECA), cuyas estrategias contemplan

la gestión del conocimiento como eje central para la toma decisiones por los actores del territorio, teniendo como eje central del plan, el cuidado de la salud y la vida de la población. Muchas de las acciones emprendidas durante el último cuatrienio han sido recomendadas de proceso de investigación desarrollado bajos marcos de cooperación entre la autoridad ambiental y la academia local que ha dado como resultado la planificación de estrategias tales como; el programa de Pico y Placa, el funcionamiento del sistema de transporte masivo con gas natural, la desintegración de vehículos altamente contaminantes, el programa de control de emisiones vehiculares, la introducción del uso de vehículos de cero y bajas emisiones, el mejoramiento del combustible Diésel cumpliendo mejores estándares de emisión, el control a las normas de emisiones de fuentes fijas y móviles, la adopción de los planes de movilidad sostenible, la gestión de mecanismos más limpios para vehículos livianos y medianos, y el diseño de un Sistema de Vigilancia en Salud Ambiental con énfasis en calidad del aire para los municipios de la región.

Dichas medidas contribuyen en diferente proporción al mejoramiento de la calidad del aire y al cuidado de la salud, sin embargo, no se ha realizado un seguimiento en términos de los cambios que estas han generado para disminuir los niveles de contaminación y prevenir los episodios críticos que afectan la salud de la población, lo cual evidencia un déficit de conocimiento validado para la evaluación y seguimiento de las medidas planteadas en el PIGECA, que son determinantes para la prevención de dichas declaratorias de emergencia. Aunque la epidemiología ambiental a nivel mundial ha trazado como reto el hecho de establecer las relaciones entre los efectos en salud y las especies de Material Particulado según sus características químicas y biológicas, principalmente de sus componentes elementales tóxicos, sobre todo por la información que aporta a la trazabilidad de estos componentes en relación con impactos en la salud que generan un alto costo y carga para el sistema de salud.

Adicionalmente, a pesar de los esfuerzos de los entes gubernamentales, la información relacionada con salud y ambiente a nivel departamental se encuentra dispersa; ya que la región cuenta con grandes volúmenes de datos y carece de soluciones tecnológicas que permitan su integración e interoperación, que permitan el almacenamiento y análisis de la misma y asimismo incluyan protocolos y metodologías desarrolladas por las instituciones y sectores involucrados; sin embargo, para aportar a este reto es necesario fortalecer las capacidades técnicas y científicas de las Instituciones de Educación Superior de la región, a través de la generación de conocimiento permanente y la transformación de currículos universitarios, que permitan despertar el interés en la comunidad académica en temas de calidad del aire y salud, fortaleciendo a su vez los programas de investigación con recurso humano competente en el ámbito científico y académico, que aborden de manera integral la problemática de la contaminación atmosférica, dando continuidad a procesos de investigación adelantados por las instituciones y lograr la consolidación y ampliación de redes de cooperación científica, para el análisis oportuno del fenómeno epidemiológico asociado a la polución del aire.

Pese a las herramientas impartidas por la Estrategia Nacional de Apropiación Social de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación en el país y dada la complejidad de la problemática de calidad del aire y salud y sus procesos analíticos, existe una limitada articulación entre los diferentes sectores institucionales y sociales, que impide una efectiva integración de la comunidad en el conocimiento científico y técnico generado, así como la participación activa de los ciudadanos; ya que la transferencia de la información académica es

difícilmente traducida en un lenguaje apropiado y comprensible para todos los públicos, obstaculizando así el desarrollo de espacios locales de reflexión, sensibilización y apropiación que den lugar a la democratización del conocimiento y permitan la divulgación de información clara y oportuna sobre la comprensión de este fenómeno, dando mayor relevancia a aquellos grupos poblacionales más vulnerables y contribuyendo así al mejoramiento de la calidad del aire y el cuidado de la salud y aportando a los retos definidos en el Plan y Acuerdo Estratégico Departamental en Ciencia, Tecnología e Innovación (PAED) para el departamento de Antioquia y a las metas priorizadas para la región en materia de educación, medio ambiente y salud.

En la ejecución de un proceso investigativo que conlleve a la búsqueda de posibles respuestas a la pregunta ¿En qué medida la caracterización química, física y microbiológica de los aerosoles atmosféricos y la estimación de aportes de fuentes de emisión locales y regionales en condiciones de baja dispersión térmica y su diferenciación en condiciones de inestabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá, contribuyen a la valoración de los efectos asociados a la salud de la población, y cuáles indicadores validados contribuirán a la evaluación y seguimiento de las medidas implementadas determinantes para la prevención de episodios críticos de contaminación en el AMVA será un importante avance para la proyección esperada y aumento del conocimiento para el acompañamiento requerido por las Entidades y Autoridades ambientales en la fundamentación científica para la toma de decisiones orientadas a la prevención de los estados de emergencia ambiental, al igual que un mayor conocimiento sobre las condiciones meteorológicas y caracterización de los aerosoles atmosféricos y su contribución significativa al cambio climático en el Área Metropolitana, disminuyendo la incertidumbre existente sobre la categorizaron al forzamiento radiativo asociado con los aerosoles según sus efectos directos e indirectos. El equipo de investigación tendrá también la oportunidad en este programa de trabajar de manera integrada con investigadores del área de hidrología y meteorología para aumentar la disponibilidad de información sobre la distribución de aerosoles, sus propiedades físicas y químicas a escala regional, esencial para su empleo en modelos globales en el contexto de América Latina.

Este proyecto busca avanzar en Fortalecimiento de capacidades institucionales, intersectoriales y regionales a partir de procesos de investigación que generen información sólida y robusta sobre la evaluación de los efectos en la salud del contaminante criterio PM2.5, considerando su especiación química, física y microbiológica, los aportes de fuentes de emisión locales y regionales y su diferenciación en periodos de estabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá, mediante un ejercicio interdisciplinario centrado en el territorio, que permita la gestión social del conocimiento.

3.1. Problema central:

Déficit de Información sólida y robusta sobre la evaluación de los efectos en la salud del contaminante criterio PM2.5 en el Valle de Aburrá.

3.2. Descripción de la situación existente con respecto al problema:

El entorno urbano, donde reside la mayoría de la población mundial y donde se consume una importante proporción de la energía, es también el escenario donde los habitantes se encuentran más expuestos a la contaminación atmosférica. Existe consenso global que esta situación impone impactos negativos sobre la salud, el ecosistema y el clima, y que además empeora en la medida que las regiones urbanas crecen rápidamente. A pesar de esta circunstancia existe una falta sistemática de mediciones de la calidad del aire en muchas ciudades del mundo.

De manera específica el Valle de Aburrá, región conurbada de 10 municipios, donde convergen diferentes actividades empresariales y de servicios, se han incrementado durante los últimos años las concentraciones PM2.5. En el documento referente para la implementación de la política de calidad del aire en la región del Valle de Aburrá, se han identificado los factores determinantes en la generación de emisiones de contaminantes, el acelerado crecimiento de la población registrado en las últimas décadas, los patrones de ocupación territorial que han propiciado una alta densificación de las laderas con asentamientos humanos regulares e irregulares de todos los estratos, el acelerado crecimiento del parque vehicular de carros y motos, la creciente pérdida de la participación modal del transporte público, la baja renovación de vehículos automotores y rezago tecnológico con respecto a otros mercados emergentes, el transporte de carga con una alta proporción de vehículos antiguos altamente contaminantes y de baja eficiencia energética, y con importantes deficiencias logísticas y de operación, la base industrial intensiva en el uso de combustibles fósiles de alto contenido de carbono, el creciente consumo de combustibles fósiles, patrones culturales que propician emisiones excesivas y oportunidades de mejora en el cumplimiento y fiscalización de resoluciones y normas.

Así mismo además de los factores expuestos que han afectado la calidad del aire en la región metropolitana, se suman las condiciones geográficas y climáticas que afectan la dispersión de gases y partículas, la influencia de las variables meteorológicas, la ventilación y la formación de nubes a baja altura en las épocas de transición de los periodos secos a lluviosos, dificultando la dispersión en capas superiores de la atmósfera, ocasionando finalmente, una condición de inversión térmica de la atmósfera que limita la circulación del aire y ocasiona que los contaminantes se queden a baja altura más tiempo del normal, haciendo parte del aire directamente respirado por la población.

La dispersión de los contaminantes afectada por la condición de clima de montaña y su patrón de circulación evidencia el transporte de los contaminantes en dirección dominante norte sur y de manera generalizada se afectan los 10 municipios que conforman la zona. Para comprender mejor esta afectación que determina como población expuesta los habitantes de esta región, a continuación, se analiza en detalle la dispersión atmosférica.

De acuerdo con el Informe Anual de Calidad del Aire 2019 (AMVA,2019) , la velocidad y dirección superficial del viento en el Valle de Aburrá sigue el comportamiento general esperado en las cuencas hidrográficas, durante el día el viento se dirige aguas arriba por la cuenca, y en la noche cambia de dirección movilizándose aguas abajo, en este caso, durante el día el viento tiende a dirigirse desde el norte (Bello, Copacabana, etc.) hacia el sur (La Estrella, Caldas, etc.) y en la noche se mueve en dirección contraria, este comportamiento es bastante marcado en las estaciones al suroriente de Medellín MED-LAYE y BEL-USBV, donde el cambio de dirección es de 180 grados entre el día y la noche.

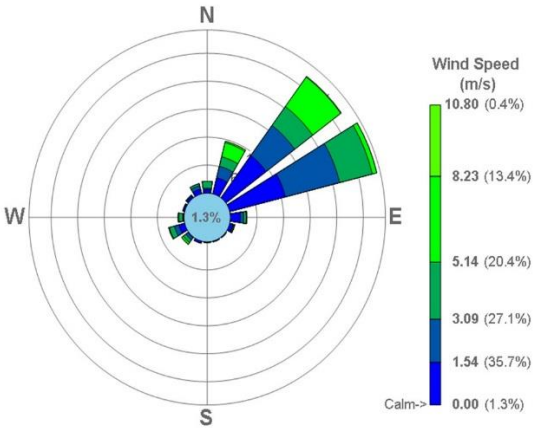
Adicionalmente, los vientos alisios que vienen desde el oriente (Rionegro) hacia el occidente pasan sobre el Valle de Aburrá e influyen en la dispersión de los contaminantes siempre y cuando tengan suficiente fuerza, debido a que estos vientos cambian a lo largo del año, existen algunos meses en que son débiles y no ayudan a la dispersión.

De igual manera para la generación de la información meteorológica se utilizó el modelo BRAMS (Brazilian Develpments on the Regional Atmospheric Modeling System), que es un sistema de modelización atmosférica desarrollado en Brasil como un proyecto conjunto del gobierno del Brasil, la Universidad de Sao Paulo y la compañía ATMET, un trabajo conjunto con el CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos).

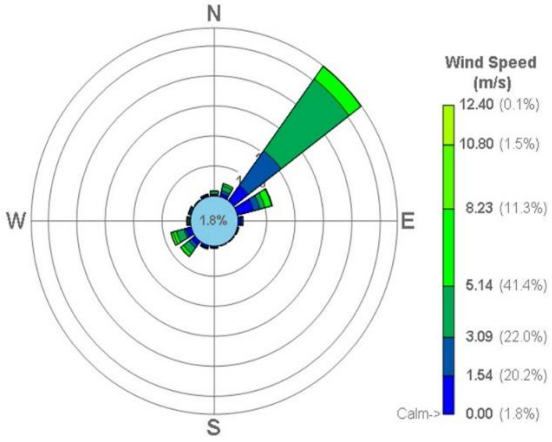
Tomando como ejemplo los resultados generados por BRAMS se procesaron por medio de AERMET para el mes de febrero de 2014 y se estimaron los parámetros de viento, construyendo la rosas de viento que se muestran en la Figura 1, Figura 2, y Figura 3 donde se observa que los vientos predominantes provienen del noreste en los diferentes zonas del Valle de Aburrá y en la medida que se desplazan hacia el centro y sur del Valle , estas condiciones de bajos vientos no son conducentes a una rápida dispersión de contaminantes, afectando la población residente en toda la región. Estos patrones de circulación son cambiantes durante el año entre los periodos de lluvia y secos y en cuta transición se crean condiciones para que la estabilidad atmosférica [16].

Los resultados del modelo BRAMS en las diferentes localizaciones del valle, muestran que el viento viene desde el Noreste la mayor parte del tiempo con velocidades que no pasan los 8 m/s aunque en la mayoría de los sitios analizados, el viento sopla con velocidad de 3 a 5 m/s. Hay porciones de tiempo que el viento va hacia el lado contrario, es decir desde el Suroeste, lo cual sucede en las noches llevando los contaminantes hacia el Noreste, de nuevo afectando la población.

Barbosa (BAR-HSVP)



Copacabana (COP-HSMA)



Bello (BEL-USBV)

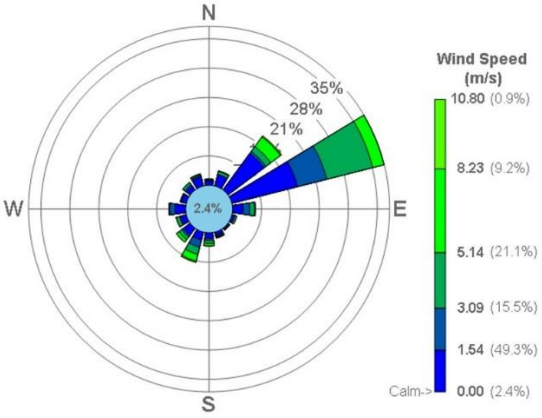


Figura 1. Rosa de vientos zona norte del Valle de Aburrá, febrero de 2014

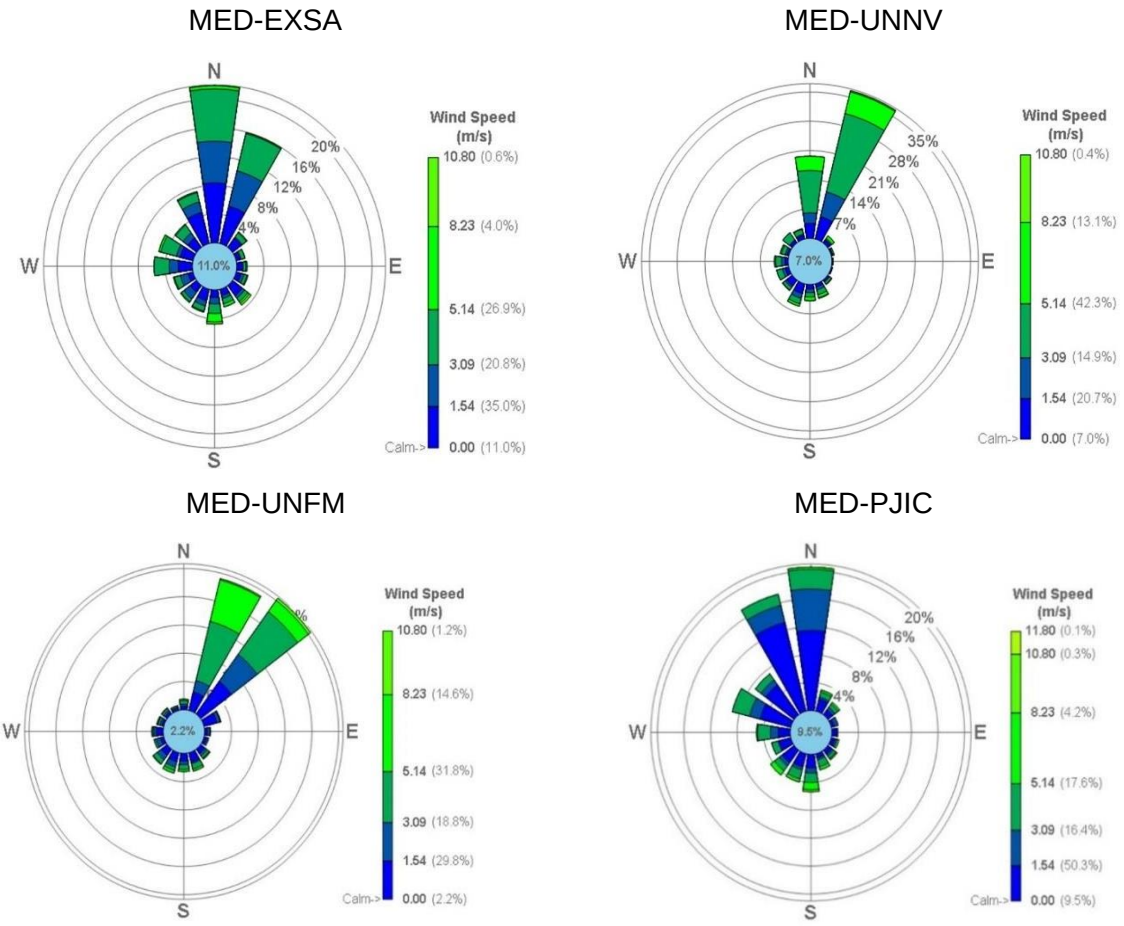
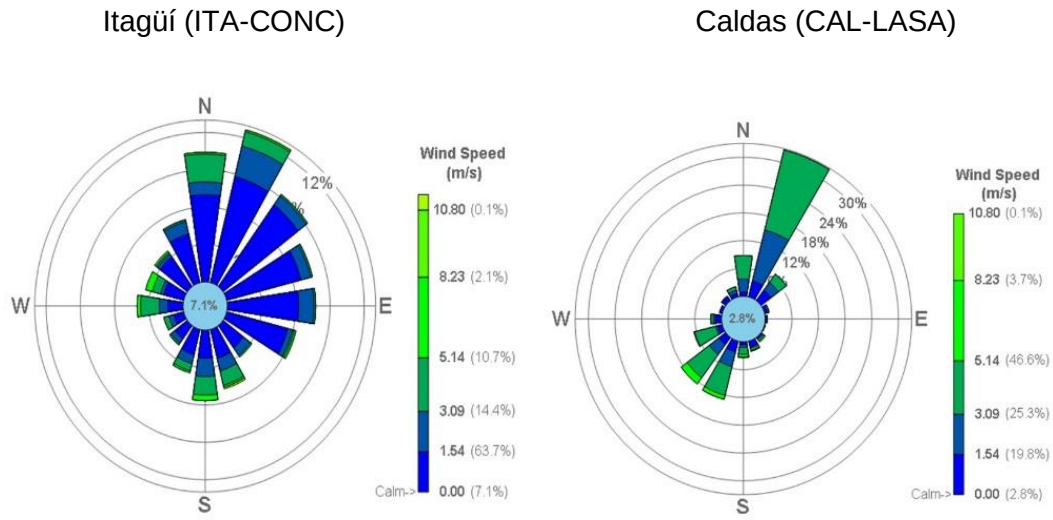


Figura 2. Rosa de vientos zona centro del Valle de Aburrá, febrero de 2014.



Caldas (CAL-PMER)

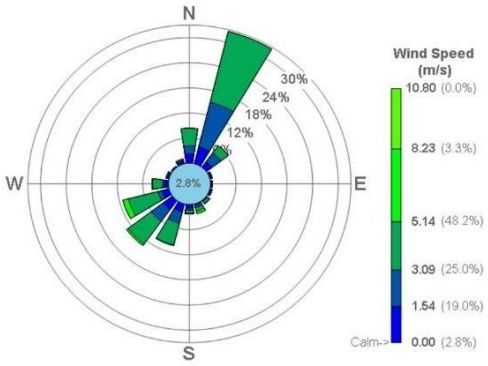


Figura 3. Rosa de vientos zona sur del Valle de Aburrá, febrero de 2014.

Hay otra variable muy importante que debe considerarse en el transporte de los contaminantes que determina el incremento de las concentraciones conllevando a estados de alerta y emergencia por mala calidad de aire, Esta variable es estabilidad atmosférica la altura de mezcla, conceptuada como afinidad de la atmósfera para diluir o dispersar los contaminantes que son liberados al aire. Según las condiciones de radiación solar, la velocidad del viento y si esta de día o de noche se pueden presentar diferentes condiciones de dispersión.

Es importante tener en cuenta un problema sobre la dispersión de los contaminantes es la presencia de una capa de inversión, que actúa como una barrera para la mezcla vertical. Durante una inversión, la altura de una chimenea en relación con la de una capa de inversión muchas veces puede influir en la concentración de los contaminantes en el nivel del suelo.

Las condiciones de estabilidad atmosférica en las simulaciones son generadas por el mismo modelo BRAMS, según las condiciones meteorológicas definidas de radiación solar, dirección y velocidad del viento, temperatura, nubosidad y las características superficiales de la zona de estudio. Diversos estudios en las diferentes zonas del Valle del Aburrá han estimado aproximadamente el 45% de horas con inestabilidad atmosférica, las cuales ocurren durante el día cuando la radiación solar activa el movimiento de las masas de aire, esta mayor inestabilidad implica un mayor movimiento vertical de la atmosfera.

La altura de mezcla, como capa límite a partir de la cual se dispersan los contaminantes, es similar en las diferentes zonas analizadas alcanzando los 1500 m sobre el suelo, comparando este con la altura de las montañas se podría decir que ocurre un estancamiento dentro del valle que es ocasionado también por la baja velocidad del viento. Adicional a esta se observa que cuando ocurren eventos de lluvia la altura de mezcla es más baja ocasionando altas concentraciones de material particulado, periodos de emergencia ambiental entre febrero y abril generalmente y con menor intensidad entre octubre y noviembre., en los cuales se presenta una disminución en la altura de la misma, la cual ocasiona un estancamiento en la atmosfera y por ende altas concentraciones. En la Figura 4, Figura 5 y Figura 6 es visible la capa en la cual se acumulan los contaminantes por debajo de 1500 m similar a la altura

promedio de la montañas que inhiben la dispersión de los contaminantes para todas las zonas al norte del Valle Copacabana, Entrada al centro Urbano bello al norte, Centro del Valle Medellín y hacia el sur Itagüí y Caldas.

Los históricos de la calidad del aire y los diferentes informes de los episodios por contaminación atmosférica [11], [17], evidencian las concentraciones de PM2.5 alcanzan Índices de calidad del aire que afectan la salud y como puede observarse en la Figura 7 la afectación es generalizada para todo el Valle de Aburrá para el 26 de marzo de 2020 como ejemplo representativo de episodios críticos según se registra en los informes técnicos del AMVA citados , siendo por lo tanto la justificación para que el programa en Salud y calidad del aire, defina como población afectada y población objetivo los habitantes de toda la región de acuerdo con el CENSO 2018 del DANE.

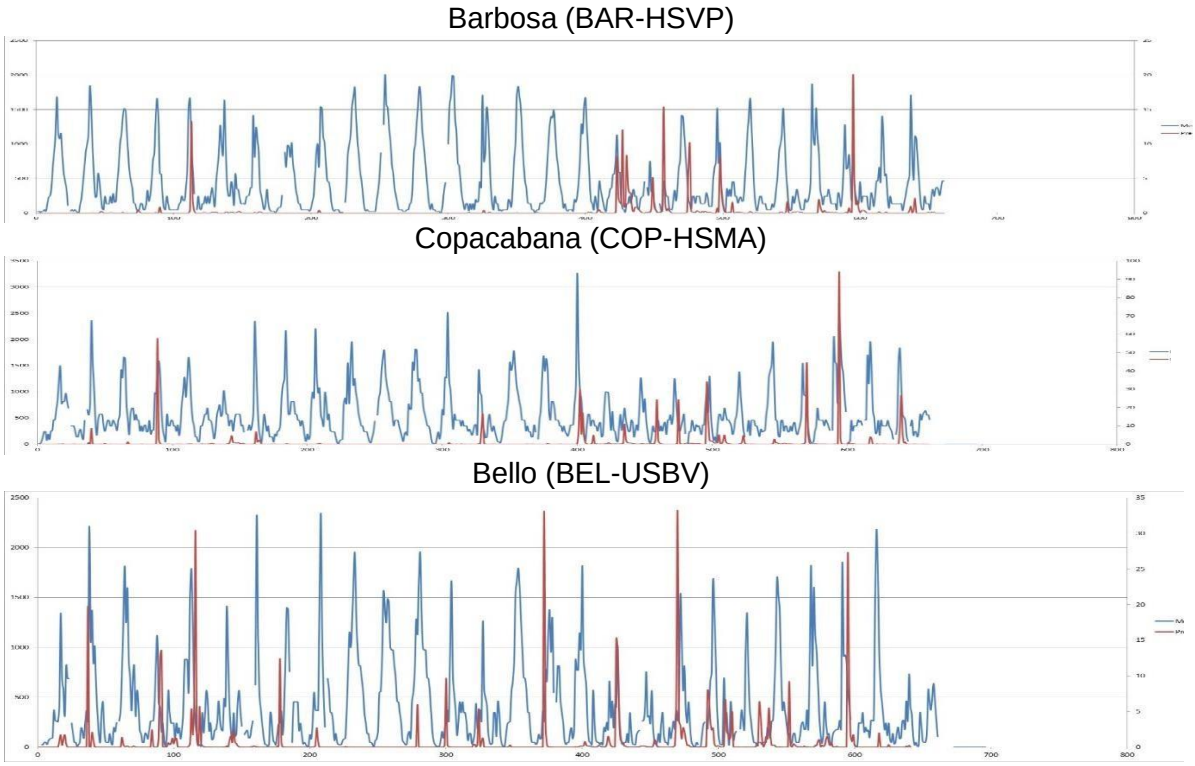
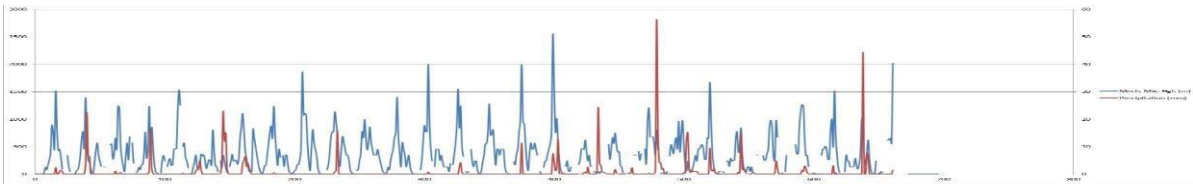
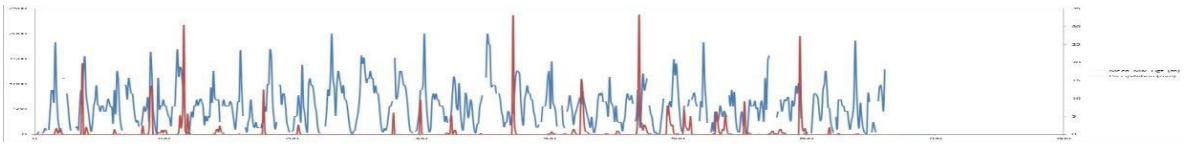


Figura 4. Altura de mezcla mecánica y precipitación en la zona norte del Valle de Aburrá, febrero de 2014.

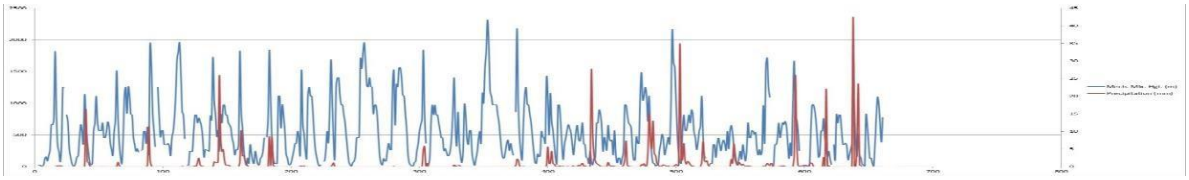
MED-EXSA



MED-UNNV



MED-UNFM



MED-PJIC

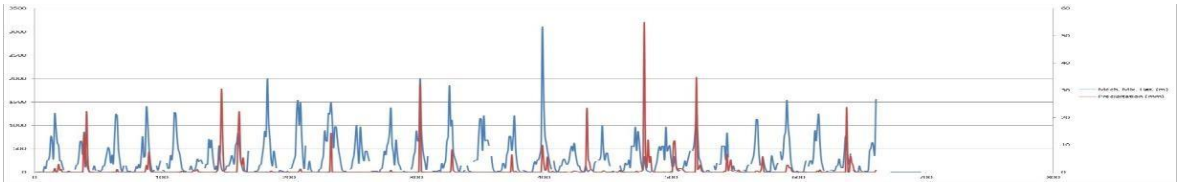
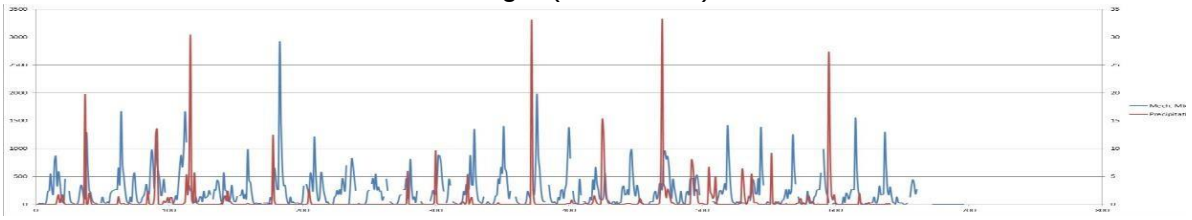
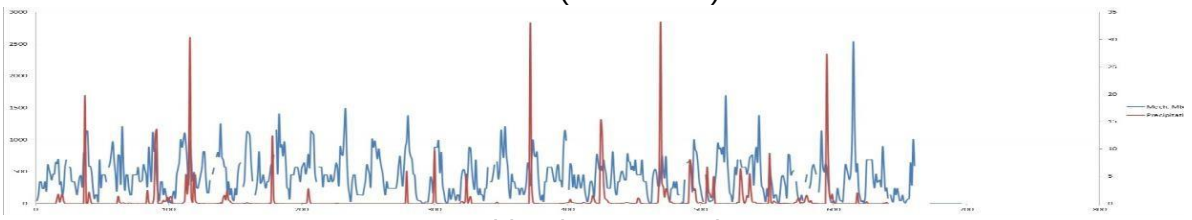


Figura 5. Altura de mezcla mecánica y precipitación en la zona centro del Valle de Aburrá, febrero de 2014.

Itagüí (ITA-CONC)



Caldas (CAL-LASA)



Caldas (CAL-PMER)

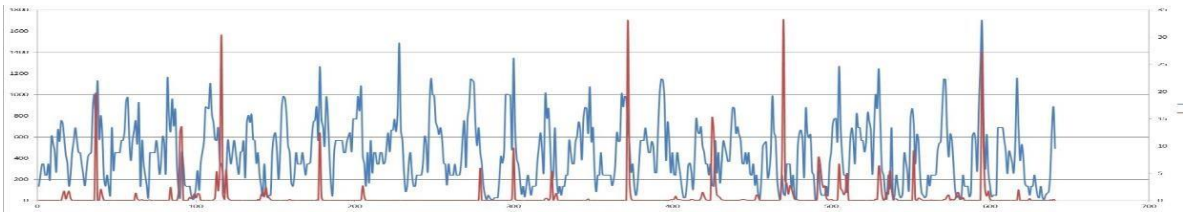


Figura 6. Altura de mezcla mecánica y precipitación en la zona sur del Valle de Aburrá, febrero de 2014.

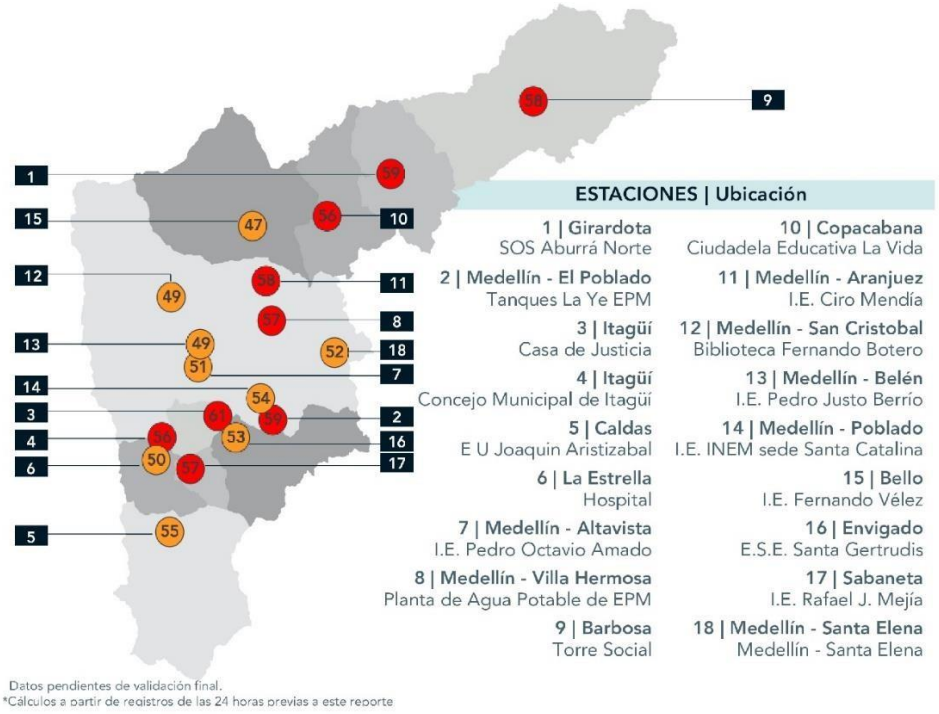


Figura 7. Episodio calidad aire Valle de Aburrá marzo 26 de 2020

La definición de la población afectada no solo considera las condiciones críticas de calidad del aire sino los efectos en la salud, existiendo una amplia evidencia sobre los efectos negativos de la contaminación atmosférica para la salud de la población, asociada a exposiciones de corta duración (horas o días) y exposiciones de larga duración (años) a nivel mundial.

Existe amplia evidencia sobre los efectos negativos de la contaminación atmosférica para la salud de la población, asociada a exposiciones de corta duración (horas o días) y exposiciones de larga duración (años). La más reciente producida por el proyecto Global Burden of Disease (GBD) del Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), estableció la contaminación del aire como el quinto factor de riesgo para la salud de la población en el mundo, y estimó que la exposición a PM2.5, contribuía con aproximadamente 4,9 millones de muertes (8,7% de todas las muertes a nivel mundial) y a la pérdida de 147 millones de años de vida saludables (5,9% de todos los Años de Vida Ajustados por Discapacidad- AVAD a nivel mundial) en 2017 [18].

Así mismo, OMS ha considerado la contaminación del aire como el principal factor de riesgo ambiental en las Américas, y el mayor reto para las políticas públicas de los países de medianos y bajos ingresos [19], debido a sus impactos en poblaciones susceptibles como los niños menores de 5 años, las gestantes y los adultos mayores, con altos costos económicos en la atención en salud y en el desarrollo social.

Entre los estudios internacionales sobre efectos de la exposición de largo plazo se destaca el estudio ESCAPE que evaluó la asociación entre PM y óxidos de nitrógeno (NO_x) con casos nuevos de asma en adultos, y sus resultados sugieren un efecto perjudicial de la contaminación del aire ambiental sobre la incidencia de asma en adultos [20]. También se destacan estudios globales realizados con información oficial de 194 países, incluido Colombia, el primero evalúo la incidencia de asma atribuible a NO2, y evidenció que en 2015 se presentaron 4 millones (IC 95%: 1,8 ; 5,2) de casos nuevos de asma atribuibles a NO2, siendo Latinoamérica la región del mundo con mayor impacto con 340 casos nuevos de asma por año por cada 100 mil niños (IC 95%: 150-440) atribuibles a este contaminante[21]. Por su parte un segundo estudio evaluó la asociación entre exposición a material particulado PM2.5 y Diabetes, revelando incremento del 15 % del riesgo de enfermar por diabetes asociado al aumento de 10 $\mu g/m^3$ en las concentraciones anuales de PM2.5 [22].

En Latinoamérica sólo el 27,1% de las ciudades con más de 100,000 habitantes cuentan con herramientas para el monitoreo de la calidad del aire, y el 65,6%, de estas miden material particulado fino (PM2.5). Muy pocas redes analizan compuestos elementales, y cuando lo hacen priorizan la medición de plomo. En Colombia la Red de monitoreo constituida por 159 estaciones, en 72 municipios, de las cuales 139 mide PM10 y 47 miden PM2.5, y de las cuales sólo el 41% y 38% respectivamente cumplen con los mínimos de calidad exigidos (8). El Estudio de Salud y Contaminación del Aire de Latinoamérica- ESCALA [23], llevado a cabo en 9 ciudades de la región entre 1997 y 2005, estimó que el aumento de 10$\mu g/m^3$ de PM10 se relacionaba con incrementos en los riesgos de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares de 0,39% y 1,04%, respectivamente. Así mismo calculó que debido a la contaminación del aire, cada año se morían 35.000 personas y se perdían 276.000 años de vida; la causa principal de este fenómeno ha sido el uso intensivo de combustibles fósiles en los sectores industriales y de transporte.

En 2019, el Instituto Nacional de Salud de Colombia estimó que el 8% de las 200 mil defunciones ocurridas anualmente en el país eran atribuibles a factores de riesgo ambiental como la mala calidad del aire, y calculó que 13,9% de las muertes por enfermedad isquémica del corazón, 17,6% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica podían explicarse por este fenómeno [6]. Por su parte, el Banco Mundial estimó que en Colombia 5000 muertes prematuras y 69 millones de AVAD anuales eran explicados por la contaminación del aire urbano, con un costo cercano a 5,7 trillones de pesos anuales [7]. Consiente con esta problemática el Gobierno nacional incluyó el componente hábitat saludable dentro de la dimensión ambiental de su Plan Decenal de Salud Pública, y priorizado el mejoramiento de la situación de contaminación del aire en las ciudades en los lineamientos de la Política Integral de Salud Ambiental (PISA) del país. En Colombia se ha realizado muy poca investigación al respecto principalmente en las ciudades capitales donde se ha recolectado evidencia sobre los impactos sobre la morbilidad y mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares asociados a la exposición a PM2.5, los impactos a nivel genético y de citotoxicidad y más recientemente el análisis de exposición a multi-contaminantes.

A nivel de la región del Valle de Aburrá, se ha podido establecer la asociación entre el promedio diario de PM10, PM2.5 y ozono y los casos diarios de morbilidad y mortalidad según eventos centinela, respiratorios y cardiovasculares en los 10 municipios del Valle de Aburrá. Se ha realizado un estudio de series de tiempo para el periodo 2008-2015 usando los Modelo Aditivo Generalizado de regresión de Poisson, que utilizó la información disponible en la red de monitoreo de calidad del aire de AMVA, los registros individuales de prestación de servicios de salud, los registros de Sistema Integrado de Información de la Protección Social y del Departamento Nacional de Estadísticas. Se establecieron asociaciones entre el efecto acumulado de 15 días del aumento de 10 $\mu g/m^3$ en el promedio diario de los contaminantes de estudio y el incremento en el riesgo de morbilidad por eventos centinela de tipo respiratorios y circulatorios.

Tabla 1. Riesgo enfermedades del sistema respiratorias agudas por incremento de 10 $\mu g/m^3$ en el promedio diario de PM10, PM2.5 y O3 (rezago 0-15)

Municipio	Población	PM_{10} % incremento del riesgo	$PM_{2.5}$ % incremento del riesgo	O_3 % incremento del riesgo
Medellín	< de 5 años	13	18,3	8,3
	Hombres > de 64 años	--	27,7	1,0
	Mujeres > de 64 años	0,4	12,6	1,6
Barbosa	< de 5 años	21,7	--	15,5
	Hombres > de 64 años	1,8	--	--
Bello	< de 5 años	33,5	--	--
Caldas	< de 5 años	23,1	29,6	7,2
Copacabana	< de 5 años	33,8	--	--
Envigado	< de 5 años	--	43,3	38,8
	Hombres > de 64 años	3,5	19,9	--
Girardota	< de 5 años	6,2	37,2	--
Itagüí	< de 5 años	22,5	14,4	12,3
	Hombres > de 64 años	--	2,0	1,6
La Estrella	< de 5 años	33,1	25,2	--
Sabaneta	< de 5 años	4	--	--
	Mujeres > de 64 años	3,9	--	--

Tabla 2. Magnitud del riesgo para enfermedad circulatoria, asociada a de 10 µg/m³ en el promedio diario de PM2.5 y O3 por grupos poblacionales, Medellín 2008-2015 (rezago 0-15)

Población	$PM_{2.5}$ % incremento del riesgo	O_3 % incremento del riesgo
Hombres de 65 o más años	29,7	8,3
Mujeres de 65 o más años	27,7	9,5

Así mismo se encontraron asociaciones significativas entre el efecto acumulado de 7 días en el aumento de 10 µg/m³ en el promedio diario de los contaminantes y la mortalidad por eventos centinela para la ciudad de Medellín.

Tabla 3. Magnitud del riesgo de muertes por eventos centinela asociado al incremento de 10 µg/m³ en el promedio diario de PM10, PM2.5 y O3, Medellín 2008-2016 (rezagos 0-7)

Contaminante	Edad	Respiratoria % incremento del riesgo	Circulatoria % incremento del riesgo	Todos los eventos % incremento del riesgo
PM_{10}	65 o más años	0,3	0,8	0,6
	Menores de 65	1,0	1,2	0,3
	Todas	2,1	--	0,5
$PM_{2.5}$	65 o más años	--	0,3	0,4
	Todas	--	--	0,2
O_3	65 o más años	--	0,8	0,3
	Menores de 65	--	0,9	--
	Todas	0,3	0,4	0,3

Al comparar los días de episodios atmosféricos por PM2.5 ocurridos en Medellín entre febrero y abril de 2015 con los días por fuera del episodio, se encontraron excesos de morbilidad y uso de servicios de urgencias en menores de 5 años debido a neumonía, infección respiratoria aguda y crisis asmáticas.

3.3. Magnitud del problema:

Para apoyar los procesos de política pública ambiental de la región del Valle de Aburrá, El Área Metropolitana del Valle de Aburrá- AMVA viene implementando el Plan Integral de

Gestión de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá (PIGECA), cuyas estrategias contemplan la gestión del conocimiento como eje central para la toma decisiones por los actores del territorio, teniendo como eje central del plan, el cuidado de la salud y la vida de la población. Muchas de las acciones emprendidas durante el último cuatrienio han sido recomendadas de proceso de investigación desarrollado bajos marcos de cooperación entre la autoridad ambiental y la academia local que ha dado como resultado la planificación de estrategias tales como; el programa de Pico y Placa, el funcionamiento del sistema de transporte masivo con gas natural, la desintegración de vehículos altamente contaminantes, el programa de control de emisiones vehiculares, la introducción del uso de vehículos de cero y bajas emisiones, el mejoramiento del combustible Diésel cumpliendo mejores estándares de emisión, el control a las normas de emisiones de fuentes fijas y móviles, la adopción de los planes de movilidad sostenible, la gestión de mecanismos más limpios para vehículos livianos y medianos, y el diseño de un Sistema de Vigilancia en Salud Ambiental con énfasis en calidad del aire para los municipios de la región.

Dichas medidas contribuyen en diferente proporción al mejoramiento de la calidad del aire y al cuidado de la salud, sin embargo, no se ha realizado un seguimiento en términos de los cambios que estas han generado para disminuir los niveles de contaminación y prevenir los episodios críticos que afectan la salud de la población, lo cual evidencia un déficit de conocimiento validado para la evaluación y seguimiento de las medidas planteadas en el PIGECA, que son determinantes para la prevención de dichas declaratorias de emergencia. Aunque la epidemiología ambiental a nivel mundial ha trazado como reto el hecho de establecer las relaciones entre los efectos en salud y las especies de Material Particulado según sus características químicas y biológicas, principalmente de sus componentes elementales tóxicos, sobre todo por la información que aporta a la trazabilidad de estos componentes en relación con impactos en la salud que generan un alto costo y carga para el sistema de salud.

En el Valle de Aburrá, se han realizado cinco (5) estudios de especiación química del PM2.5 e identificación de perfiles de fuentes, en los cuales las campañas realizadas desde el 2007, han generado a partir de aplicaciones de técnicas analíticas con errores máximo del 5% en Laboratorios Internacionales, dado que en el país aún no hay servicios acreditados en la materia. Estos estudios han sido desarrollados mediante la toma de muestras de PM2.5 en un número limitado de muestras analizadas que ha permitido solo tener una aproximación sobre los componentes químicos que realmente respiramos y sus efectos en la salud, con periodos de duración que no han permitido un estudio seriado en el tiempo ni información robusta para en los modelos receptores para determinar la variabilidad y el comportamiento asociado a las fuentes de emisión. Solo para la zona de tráfico del Poblado con el apoyo de ECOPETROL y el AMVA, se ha avanzado sobre el impacto del mejoramiento del combustible.

Con el apoyo de Naciones Unidas se adelanta una caracterización con una menor incertidumbre para conocer los componentes químicos del aire respirable en una zona habitada por la mayoría de la población.

Además es importante resaltar que en la recopilación del estado del arte de los estudios en la región sobre la estimación de aportes de fuentes de emisión, se han aplicado técnicas de modelos receptores y modelos de pronóstico de calidad del aire, los cuales han reportado aportes de fuentes locales sin avanzar en la estimación y validación de fuentes regionales por transporte asociado al movimiento global de las masas de los contaminantes, tanto a nivel

continental como transoceánico, situación que es común para la cuenca de América Latina y el Caribe.

Debe enfatizarse que resulta fundamental la ausencia de estudios de caracterización genómica, genotóxica y mutagénica del PM2.5, que impiden evaluar los riesgos y daños a nivel celular que ocasiona el PM2.5 y su composición química, aún con la base de información que hay en la región, se hace necesario realizar un estudio continuado de mayor duración y frecuencia de análisis de muestras, para consolidar información que pueda ser base de los estudios de cohorte en salud en especial en los periodos de la mayor contaminación denominados periodos de contingencia ambiental por calidad del aire.

En América Latina existe una incipiente investigación en la relación entre contaminación del aire y salud que ha impedido el fortalecimiento de los sistemas de salud ambiental de la región al no contar con información oportuna para la toma de acciones. En Colombia el panorama es similar. Un estudio reciente informó que en la última década sólo se publicaron alrededor de 20 artículos científicos que abordaron la relación de este factor de riesgo ambiental con la salud, 2 artículos por año entre los cuales se destacan como reportes de alta calidad: cinco series de tiempo que establecieron la asociación del incremento diario de PM2.5, PM10 y ozono) con el riesgo de morir por causas respiratorias y cardiovasculares y 3 estudios prospectivos con seguimientos de un año que determinaron un riesgo aumentado para síntomas y afecciones respiratorias agudas asociado al incremento de partículas totales, PM10 y PM2.5. Los estudios restantes fueron exploratorios o transversales y permitieron aproximaciones al fenómeno de salud asociado a la contaminación del aire aunque con un alto nivel de incertidumbre.

A nivel local desde 2016, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Facultad Nacional de Salud Pública han desarrollado la primeras tres (3) fases del proyecto de investigación: “Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburrá”; en las cuales se han podido explorar con un diseño ecológico de series de tiempo la relación entre los eventos agudos en salud y la exposición de corto plazo (diaria) de los contaminantes PM10, PM2.5 y O_3; el efecto de los episodios críticos de contaminación sobre la salud; y la exploración de la letalidad por eventos crónicos asociados a la exposición anual de los contaminantes. Este proyecto ha permitido avanzar en la generación de innovaciones en la gestión de los datos y herramientas para la integración de la información ambiental y de salud, y el diseño de un sistema piloto para la vigilancia en salud ambiental.

Sin embargo dado los diseños de los estudios y el hecho de depender de fuentes secundarias, no han permitido superara la incertidumbre de la mediciones, ni la oportunidad de la información. Por esta razón el mismo equipo de investigación de la FNSP que ha realizado en el último quinquenio las investigaciones de salud para el AMVA y los grupo que lo integran (Grupo de Investigación Salud y Ambiente, Grupo Demografía y Salud, Grupo Salud y sociedad, Grupo Sistemas de Información en Salud) decidieron en 2017 avanzar en diseños epidemiológicos que permitieran generar conocimiento con mayor oportunidad para la toma de decisiones, por tanto con la financiación de Colciencias iniciaron el proyecto: Exposición a contaminación del aire (PM2.5, PM10 y O_3) y eventos cardiovasculares y respiratorios en Medellín 2018-2020; un estudio de cohorte que a partir de mediciones de indicadores de salud en alrededor de 2000 habitantes de la ciudad permitirá establecer el impacto sobre la salud y guiar la toma de decisiones en el corto tiempo.

Adicionalmente, a pesar de los esfuerzos de los entes gubernamentales, la información

relacionada con salud y ambiente a nivel departamental se encuentra dispersa; ya que la región cuenta con grandes volúmenes de datos y carece de soluciones tecnológicas que permitan su integración e interoperación, que permitan el almacenamiento y análisis de la misma y asimismo incluyan protocolos y metodologías desarrolladas por las instituciones y sectores involucrados; sin embargo, para aportar a este reto es necesario fortalecer las capacidades técnicas y científicas de las Instituciones de Educación Superior de la región, a través de la generación de conocimiento permanente y la transformación de currículos universitarios, que permitan despertar el interés en la comunidad académica en temas de calidad del aire y salud, fortaleciendo a su vez los programas de investigación con recurso humano competente en el ámbito científico y académico, que aborden de manera integral la problemática de la contaminación atmosférica, dando continuidad a procesos de investigación adelantados por las instituciones y lograr la consolidación y ampliación de redes de cooperación científica, para el análisis oportuno del fenómeno epidemiológico asociado a la polución del aire. En síntesis, se puede evidenciar en la magnitud del problema, cuatro (4) estudios en calidad del aire en salud en la región a la fecha y el Programa en referencia, aportará como mínimo siete (7) nuevos estudios de generación de nuevo conocimiento articulados con los perfiles químicos ampliados en las fracciones orgánicas, inorgánicas, solubles, insolubles, genómico, mutagénico y citotóxico correlacionados con estudios de cohorte y series de tiempo en población expuesta.

3.4 Estudio de necesidades:

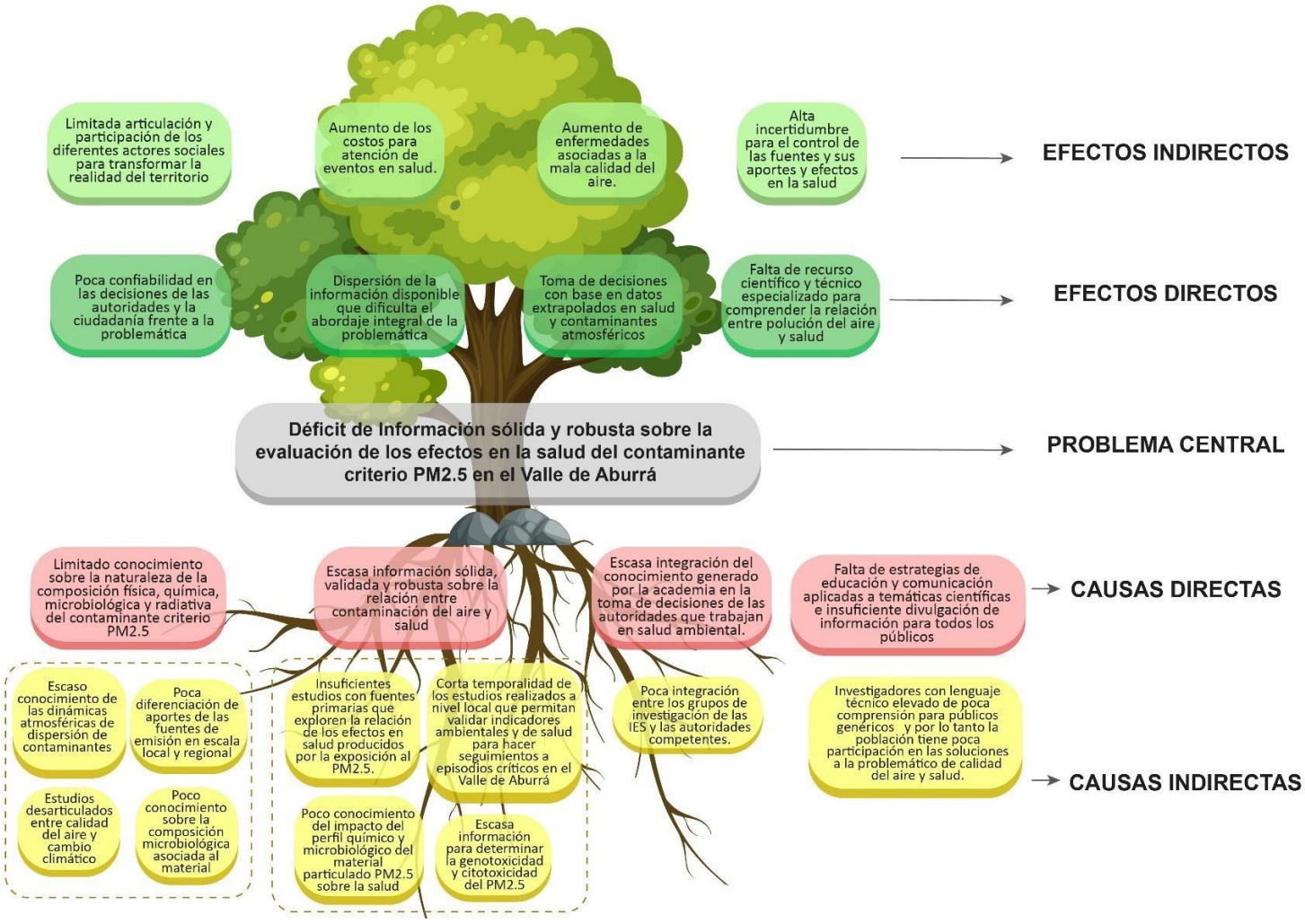
Bien o servicio
Estudios articulados de calidad de aire y salud pública

Medido a través de
Número

Descripción
Estudios en calidad del aire en caracterización química y biológica y su impacto en salud.

Año	Oferta	Demanda	Déficit
2017	1,00	20,00	-19,00
2018	2,00	20,00	-18,00
2019	3,00	20,00	-17,00
2020	4,00	20,00	-16,00
2021	4,00	23,00	-19,00
2022	4,00	25,00	-21,00
2023	4,00	30,00	-26,00
2024	4,00	32,00	-28,00
2025	4,00	35,00	-31,00
2026	4,00	38,00	-34,00
2027	4,00	40,00	-36,00

3.5 Árbol del problema:



4. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

4.1. Antecedentes:

La mala calidad del aire por el material particulado fino PM2.5 es la mayor amenaza ambiental para la salud pública, y el mayor reto para los países de medianos y bajos ingresos, con amplia evidencia sobre sus efectos negativos para la salud. Un conocimiento suficiente de la composición química de la contaminación atmosférica impactos en la salud es imperativo para la creación e implementación de políticas públicas para mejorar la calidad del aire, la salud y calidad de vida

En el contexto de América Latina y el Caribe es de considerar que aunque es una región ambientalmente privilegiada debido a su patrimonio natural, biodiversidad y posibilidad de provisión de servicios ambientales, se observa un estilo de desarrollo basado en una estructura productiva a partir de ventajas comparativas estáticas, derivadas de la abundancia y la explotación de los recursos naturales que generan presión sobre el medio ambiente con consecuencias múltiples, entre ellas la degradación de la calidad del aire, produciendo un impacto negativo en el desarrollo social y económico afectando la competitividad entre los países y que en temas de salud, este factor en países como Bolivia, Guatemala, Ecuador Perú y El Salvador estiman que las pérdidas económicas representan el 2% del producto interno bruto – PIB [24], [25] y en Colombia, el 1.5 del PIB [26].

Colombia no es ajena a esta situación y es así como en distintas ciudades de Colombia se presentan indicadores negativos de calidad del aire. Según lo plantea el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS, la contaminación atmosférica se ha constituido en uno de los principales problemas ambientales, y como consecuencia ha reflejado un incremento de los efectos sobre la salud humana conllevando a la fijación de normas e indicadores más restrictivos en procura de un mejor aire para los colombianos [27]. Esta temática, que involucra múltiples sectores, demanda del apoyo la comunidad científica para la generación de conocimiento y desarrollo de investigación especializada en el contexto propio nacional para la generación de soluciones y proyectos de alto impacto que orienten los lineamientos de control, identificación y cuantificación de aportes de fuentes e implementación de planes de descontaminación acordes con la situación ambiental de cada región del país.

De manera específica el Valle de Aburrá, una región colombiana conurbada de 10 municipios donde convergen diferentes centros industriales y de servicios, se caracterizada por un régimen montañoso climático de baja dispersión, especialmente en la transición de periodos secos a lluviosos. Durante los últimos años se vienen presentando factores desencadenantes en declaratorias de emergencias ambientales derivadas del aumento en la demanda energética de todos los sectores y sumado al crecimiento acelerado del parque automotor, cambios en los patrones de ocupación del territorio, crecimiento industrial entre otros factores. Adicionalmente, se presentan en la atmósfera local procesos y reacciones químicas de coagulación y condensación entre óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y otras moléculas reactivas formando las partículas secundarias que inciden en un mayor aumento del PM2.5. Como consecuencia de la dinámica del desarrollo, la contaminación atmosférica existente se constituye en uno de los principales problemas ambientales. Las concentraciones diarias de PM2.5 están con frecuencia fuera de los límites permisibles, representando un aumento en

el riesgo de efectos en la salud de tipo agudo. Además, estas concentraciones superan ampliamente las referencias de la OMS y exponen a la población tanto a efectos agudos como crónicos asociados a este contaminante criterio de alto riesgo. La evidencia científica internacional señala el vínculo entre la exposición a las partículas finas y su composición química (o en combinación con otros contaminantes) y un aumento de la mortalidad prematura y el agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares preexistentes. Los estudios de caracterización química realizados por el Grupo GHYGAM
[28] han evidenciado la mayor composición en materia carbonácea EC, OC del orden del 42%, fracciones en sales e iones solubles 21%, óxidos 21 % y ND 16%, siendo de alto riesgo la mayor presencia de black carbón medido como EC (21%) .

Esta problemática de calidad del aire a pesar del avance en los diagnósticos presentados, requiere aún de la producción de nuevo conocimiento sobre la dinámica de los aerosoles atmosféricos, origen y composición en investigación especializada, aportes de fuentes locales y regionales, para la generación de soluciones en pro del mejoramiento de la calidad del aire. Para atender parcialmente esta necesidad. El AMVA adoptó mediante Acuerdo Metropolitano N°16 de 2017, el Plan Integral de Gestión de la calidad el aire PIGECA 2017-2030, estableciendo como una de las estrategias para la disminución de la contaminación, el eje temático Generación y aprovechamiento del conocimiento Científico de la tecnología orientando acciones para el apoyo a proyectos de investigación e innovación que deberán ser ejecutadas en esta temática por grupos de trabajo inter y transdisciplinarios.

De acuerdo con la revisión de estudios previos sobre la estimación de los aportes de las diferentes fuentes de emisión a nivel mundial basados en la caracterización química del PM, como estrategias control y mitigación al cambio climático, se halla como generalidad la diferenciación tanto en los aportes como en su distribución, según la tipología de los sitios suburbano, urbanos, rurales o regionales, variabilidades espaciales de las áreas estudiadas, sitios específicos de tráfico, entornos industriales, y /o zonas de fondo y periodos estacionales y regímenes climáticos entre otros aspectos. En los diferentes modelos de estimación de perfiles químicos tanto de las muestras ambientales como de fuentes, ha sido determinante el volumen de datos para el balance químico ajustado al error máximo esperado en las contribuciones de los diferentes aportantes con la menor incertidumbre posible.

Aunque en Colombia y Medellín se ha avanzado en investigaciones sobre perfiles químicos de PM2.5 en campañas de medición en el Valle de Aburrá dese el 2007 realizados por el Grupo GHYGAM, las campañas de especiación química del PM2.5 e identificación de perfiles de fuentes realizadas, han generado información aproximada en la modelación de aportes de fuentes de emisión de acuerdo al tipo de combustible, calderas de carbón, fuel, canteras, otros combustibles, a partir de especiaciones típicas de los perfiles con errores de ajuste del 5%. Aun así, se haya logrado un estimativo de las fuentes de emisión en el área metropolitana del Valle de Aburrá en un rango aceptable por el balance másico, debe tenerse en cuenta que las campañas realizadas no han generado información sólida y robusta y solo han sido de duraciones cortas que no han cubierto periodos de transición de régimen secos a lluviosos en los cuales se presentan de manera continuada, concentraciones elevadas de PM2.5 que han exigido declaratorias de emergencia, limitando la toma de decisiones e implementación de estrategias de intervención y control en pro del mejoramiento de la calidad del aire.

Es importante resaltar que en la recopilación del estado del arte de los estudios en la región sobre la estimación de aportes de fuentes de emisión, se han aplicado técnicas de modelos receptores y modelos de pronóstico de calidad del aire, los cuales han reportado aportes de

fuentes locales sin avanzar en la estimación y validación de fuentes regionales por transporte asociado al movimiento global de las masas de los contaminantes, tanto a nivel continental como transoceánico, situación que es común para la cuenca de América Latina y el Caribe.

Teniendo como referente el estado de la calidad del aire, estudios de especiación y aportes de fuentes locales y regionales a la contaminación atmosférica en el contexto de la cuenca de América Latina y el Caribe, el Grupo líder en la región GHYGAM del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, dada su experiencia por más de 25 años en monitoreo y caracterización de aerosoles atmosféricos desarrollo avances importantes en el Proyecto macro RLA2016004 para 17 países desde Argentina hasta México, incluyendo los países del Caribe, sobre la composición física, química desde abril de 2019 durante un año continuo hasta abril 2020, para los países vinculados aunque aún es necesario un periodo de tiempo mayor, para una modelación más robusta que estimaría los aportes de fuentes reduciendo la incertidumbre asociada al volumen de datos y los estudios en salud.

Existe un acumulado de estudios que han permitido recolectar evidencia epidemiológica sobre el impacto de la contaminación del aire en la salud que reconoce, cada vez con menor incertidumbre, el carácter local del fenómeno, circunscrito a territorios específicos e influido por características de producción, movilidad, perfil energético, condiciones meteorológicas, topográficas, dinámicas poblaciones locales.

De suma importancia conocer y caracterizar debidamente la exposición al contaminante dado que genera implicaciones especificas en salud y potencialmente sobre las intervenciones de prevención y control en salud ambiental. El tipo y concentración de contaminante y sus características físico-químicas y microbiológicas; la temporalidad de la exposición (efectos a corto y largo plazo), la vía de entrada al cuerpo (respiratoria, dérmica o transnasal), son aspectos relevantes para establecer el componente de exposición al fenómeno epidemiológico asociado a la polución. Así mismo conocer el perfil de efectos nocivos para la salud, que incluye los órganos y sistemas más comprometidos por la polución (sistema respiratorio y cardiovascular), la asociación el tiempo de exposición (eventos de corta y larga duración), el espectro de impactos desde el nivel fisiológico (alteraciones en la función pulmonar y el ritmo cardiaco), el biológico (genotoxicidad y mutagenicidad asociada a la exposición a contaminantes críticos), hasta el clínico (eventos respiratorios agudos, eventos de alto costo para el sistema de salud como el infarto agudo de miocardio y los eventos cerebrovasculares, el cáncer pulmonar, EPOC y muerte prematura), así como las poblaciones expuestas y sus niveles de susceptibilidad a los contaminantes y sus componentes (personas con enfermedades crónicas, edades extremas, embarazadas y personas de condiciones socioeconómicas desfavorables o acceso limitado a la atención médica).

La evidencia más reciente producida por el proyecto Global Burden of Disease (GBD) perteneciente a The Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), estableció que la contaminación del aire se considera el quinto factor de riesgo para la salud de la población en el mundo, luego de la mala nutrición, la hipertensión arterial, el consumo de tabaco y los altos índices de glicemia; además, estimó que la contaminación del aire por material PM2.5, la quema de biomasa en hogares y el ozono troposférico, contribuyen con aproximadamente 4,9 millones de muertes (8,7 % de todas las muertes a nivel mundial) y a la pérdida de 147 millones de años de vida saludables (5,9 % de todos los Años de vida ajustados por discapacidad-AVAD a nivel mundial) en 2017. Así mismo, la OMS ha considerado la contaminación del aire como el principal factor de riesgo ambiental en las Américas, y el mayor reto para los países de medianos y bajos ingresos (Organización Mundial de la Salud,

2016), sobre todo debido a sus impactos en poblaciones altamente susceptibles como los niños menores de 5 años, las mujeres gestantes y los adultos mayores, con altos costos económicos en la atención en salud y en el desarrollo social [29].

Como parte importante del marco de antecedentes se presenta la experiencia del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Universidad de Antioquia en investigaciones sobre calidad del aire y salud. A continuación, se hace una descripción de estas experiencias y de los investigadores que han participado.

Por el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, el **Grupo de Higiene y Gestión Ambiental - GHYGAM**, es un Grupo de investigación categoría B según MinCiencias, perteneciente a la Facultad de Ingenierías del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. El Grupo GHYGAM tiene por objetivo desarrollar proyectos tendientes al diagnóstico, calificación, diseño y modelización de sistemas de prevención y control de la contaminación ambiental para contribuir al planteamiento de soluciones a los problemas del entorno. Entre sus líneas de investigación se encuentra el estudio del material particulado y la modelización de fuentes de emisión; en este sentido, el grupo cuenta con una amplia trayectoria en investigación aplicada y consultorías relacionadas con emisiones vehiculares, estimación de emisiones y aportes de las fuentes, y estudios específicos para la evaluación de la influencia de la calidad de los combustibles en la composición del material particulado respirable PM2.5.

Desde el año 2006, se han desarrollado investigaciones para la determinación de perfiles de muestras ambientales, específicamente en PM2.5, lo cual ha contribuido a la determinación del aporte de las fuentes de emisión a los niveles de contaminación del aire. Dentro de los proyectos más destacables en la problemática está, la ejecución en representación de Colombia del proyecto Regional en Suramérica y Centro América financiado parcialmente por Naciones Unidas ONU “Uso de Técnicas Analíticas Nucleares para el estudio de la emisión y la recepción de material particulado atmosférico por parte de los grandes centros urbanos de América Latina y el Caribe” con el objetivo de construir información sobre aerosoles en 15 ciudades en forma simultánea (para el mismo período de tiempo) cubriendo un área extensa del continente, siendo base para el ajuste de los modelos que integran las emisiones y el transporte de contaminantes, particularmente para los aerosoles primarios y secundarios. Gracias a esta trayectoria y reconocimiento en el sector, el Grupo GHYGAM pertenece a REDAIRE, conformado por un grupo de expertos en la temática vinculados a las Universidades y Autoridades Ambientales.

El grupo GHYGAM está liderado por la profesora Miriam Gómez Marín, ingeniera Química, especialista en Ingeniería Ambiental con 30 años de experiencia en docencia universitaria, extensión e investigación en diseño y dirección de proyectos de investigación en monitoreo, caracterización, modelación de fuentes, planes y programas de calidad del aire entre otros temas relacionados con contaminación atmosférica y quien ejercerá como investigadora principal. A continuación se detallan los co-investigadores asociados al proyecto:

- ✓ German Velásquez García: Comunicador Social, especialista en televisión. Máster en ficción para cine y televisión. Producción y realización. Director en estudios avanzados de comunicación. Con 10 años de experiencia en investigación en la temática de comunicación.

- ✓ Jorge Giraldo Plaza: Ingeniero de Sistemas con Maestría en Ingeniería de

Sistemas y Doctorado en Ingeniería. Más de 10 años de experiencia en el modelamiento de arquitecturas de software, ingeniería de software, tecnologías web, modelamiento metadatos, ontologías, procesos de negocio, sistemas sensibles al contexto y sistemas de razonamiento inteligente que usan técnicas de inteligencia artificial.

- ✓ Juan Camilo Parra: Ingeniero Civil. Doctor en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente con 16 años de experiencia en investigación en la temática de Gestión Eficiente de los Recursos Hídricos y Gestión del Riesgo en Recursos Hídricos.

- ✓ Juan Carlos Valdés: Ingeniero metalúrgico, Maestría en Ingeniería, Maestría en Geoinformática, PhD Ingeniería.

- ✓ Juan Mario Cardona: Ingeniero industrial Magister en Salud Ocupacional 15 años de experiencia en diseño de sistemas de Higiene Ocupacional y control ambiental.

- ✓ Luis Alfredo Aguilar Roldán: Ingeniero Químico Magister en Ingeniería Ambiental con 25 años de experiencia en docencia y cuatro (4) años de experiencia en investigación en modelación de fuentes y riesgos químicos.

- ✓ Rubén Darío Vásquez S: Ingeniero de control. Magíster en Ingeniería - Automatización Industrial con 7 años de experiencia y trayectoria en investigación Automatización, instrumentación, visión e inteligencia artificial, visión e inteligencia artificial para análisis de imágenes de diversas aplicaciones, utilizando técnicas de aprendizaje profundo (deep learning), para clasificación, identificación y en general análisis de imágenes terrestres y aéreas.

- ✓ Sandra Mateus S: Ingeniera de Sistemas. Magister en Ingeniería y PhD Ingeniería de Sistemas con 14 años de experiencia en investigación en Inteligencia Artificial, Entornos Virtuales, Reconstrucción 3D, Videojuegos y Modelación.

- ✓ William Giraldo Aristizabal: Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería Ambiental, PhD en Ingeniería con 18 años de experiencia en estudios de calidad de aire, medición de contaminantes, ruido ambiental y control de emisiones.

- ✓ Dora Luz Yepes Palacio: Ingeniera Sanitaria Magíster en Gestión Ambiental, estudiante de doctorado en Sostenibilidad Ambiental con 15 años de experiencia en docencia e investigación en el Politécnico Jaime Isaza Cadavid en el área ambiental, de gestión y planeación urbana en temáticas asociadas con manejo de residuos sólidos buenas prácticas ambientales, calidad del aire y educación ambiental.

- ✓ Ana Marcela Muñoz: Ingeniera Químico, Magíster en Salud Ocupacional con 10 años de experiencia en investigación en la temática riesgos químicos. Hizo parte del grupo de Investigación de Epidemiología de la Facultad Nacional de Salud Pública durante los años 2005 y 2006 liderado por el profesor Elkin Martínez, en proyecto de menor cuantía aprobado por Colciencias titulado: Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en adultos que laboran a diferentes niveles de exposición.

- ✓ Stiven Villada Gil: Ingeniero físico, candidato a doctor en Ingeniería Ciencia y Tecnología de Materiales con 10 años de experiencia en investigación en la temática de fluidos y materiales.

Por parte de la Universidad de Antioquia, desde el año 2015 se ha consolidado un equipo de investigación en la Facultad Nacional de Salud Pública conformado por el **Grupo de Investigación Salud y Ambiente – GISA** , Grupo de Investigación Demografía y Salud, Grupo de Investigación Salud y Sociedad a través de la línea de Economía y Salud; y el grupo de investigación en Epidemiología. Este ha adelantado investigaciones en el Valle de Aburrá que exploran la relación epidemiológica entre la contaminación atmosférica y los efectos en la salud de las poblaciones de los diferentes municipios a corto y largo plazo a través del desarrollo de indicadores trazadores que han permitido adelantar procesos de vigilancia. En esta misma línea en la actualidad se está finalizando la construcción de un sistema de vigilancia en salud ambiental que dentro del primer ejercicio planteado espera atender los efectos en salud asociados a la calidad del aire en el territorio metropolitano. También, el equipo de investigación ha adelantado la determinación de la carga atribuible de la enfermedad por contaminación del aire urbano y sus costos económicos para la ciudad de Medellín, y liderado el proceso de evaluación de exposición a contaminación del aire (PM2.5 PM10 y O3) y eventos cardiovasculares y respiratorios en Medellín. Adicionalmente, el equipo durante todo este proceso a procurando fomentar la vocación científica y la comprensión del fenómeno de contaminación de aire y salud ha involucrado durante diferentes momentos de los procesos de gestión social del conocimiento dentro y fuera de la academia. Los co-investigadores asociados se listan a continuación:

- ✓ Juan Gabriel Piñeros Jiménez: Médico y Cirujano, Doctor en Salud Pública con 8 años de experiencia.
- ✓ Hugo Grisales Romero: Matemático puro, especialista en estadística, Magister y Doctor en Epidemiologia con más de 25 años de experiencia.
- ✓ Emmanuel Nieto: Economista, Magíster en Epidemiologia con 18 años de experiencia.
- ✓ Nora Adriana Montealegre: Médica y Cirujana, Especialista en Epidemiología, en Medicina de Laboratorio y Gerencia de IPS, Doctora en Salud Pública con 4 años de experiencia en la temática.
- ✓ Sandra Ríos: Microbióloga y Analista, Doctorado en Salud Pública con experiencia de 1 año.
- ✓ Mónica Lucia Jaramillo: Administradora en Salud con Énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental, Magister en Ciencias Ambientales con experiencia de 4 años.
- ✓ Carlos Arturo Sandoval Casilimas: Psicólogo con maestría en Desarrollo educativo y social, Doctorado en Educación con experiencia de más de 25 años.
- ✓ Eliana Martínez Herrera: Odontóloga, Magister y Doctora en Epidemiología, con experiencia de 15 años.

Profesionales externos multidisciplinario de investigadores externos con reconocida trayectoria en distintos campos del saber que pueden aportar en el fortalecimiento del proyecto y la formación en calidad del aire y salud.

- ✓ Luz Janeth Orozco: Bióloga, Magister en Ciencias Básicas Biomédicas con 18 años de experiencia.
- ✓ Yesid Cuesta Artroz: Biólogo, Magister en Biología, Doctorado en Bioinformática con 4 años de experiencia.
- ✓ Lizeth Yesenia Correa Rangel: Enfermera profesional, Magister en Salud Pública.

Profesionales externos multidisciplinario de investigadores externos con reconocida trayectoria en distintos campos del saber que aportarán en el fortalecimiento del proyecto y la formación en calidad del aire y salud. La participación de estos investigadores será Ad honorem durante la vigencia del proyecto. Se anexa certificado de participación.

- ✓ Laura Andrea Rodríguez Villamizar: Médica y Cirujana, Magister en Epidemiologia, Doctorado en Public Health Sciences - Epidemiology con 15 años de experiencia.
- ✓ Laura Dawidowski: Física, Doctorado en Física nuclear
- ✓ Fernán Alonso Villa: Ingeniero de Sistemas e Informática, Magister y Doctorado en Ingeniería de Sistemas con 5 años de experiencia.

4.2. Justificación

La comprensión profunda del fenómeno de calidad del aire y sus impactos sobre la salud son base fundamental para las políticas públicas nacionales y regionales que permiten el cuidado de la vida en las zonas urbanas.

El desarrollo de este proyecto es de gran interés y relevancia ya que se ajusta a los objetivos, lineamientos y medidas para la prevención de los efectos de la contaminación del aire en la salud, planteados por la Organización de Naciones Unidas (ONU), quien ha puesto como meta para el año 2030 “reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire” [11]. Adicionalmente, los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS plantean la necesidad de garantizar una vida saludable, la promoción del bienestar de la toda población (ODS 3) y la seguridad y sostenibilidad de las ciudades y asentamientos humanos (ODS 11).

Así mismo, permite contribuir a una de las cinco prioridades mundiales planteada por OMS entre 2019 y 2030: la lucha contra el cambio climático y la contaminación del aire [30], para lo cual se insta a los estados a reforzar la respuesta a los efectos de la contaminación del aire y facilitar la investigación, especialmente la creación y utilización de bases de datos sobre morbilidad y mortalidad, la evaluación del impacto sanitario y los costos para la sociedad

relacionados con la atención; apoyando así el establecimiento de prioridades y estrategias de investigación, que contribuyan con el sector académico para subsanar las deficiencias de conocimientos y aportando al fortalecimiento de las instituciones nacionales de investigación y la cooperación internacional en materia de investigación para tratar de encontrar y adoptar soluciones sostenibles [31]. El aire limpio es un requisito básico de salud y bienestar humano, pero su estado de deterioro sigue representando una amenaza para la salud en el mundo.

Los distintos lineamientos de política pública del país, tanto ambientales como de salud (CONPES 3943 de 2018- medidas para el control de emisiones, CONPES 3550 de 2008- Política Integral en Salud Ambiental, Resolución 2254 de 2017- proyección de regulación de emisiones) han puesto de manifiesto planteamientos que muestran la relevancia del proyecto, al considerar que existe un bajo desarrollo de investigaciones en la temática de calidad del aire y salud por parte de las universidades, además de un inapreciable interés en investigaciones sobre métodos de prevención, reducción y control de la contaminación del aire, el cual se reconoce como uno de los asuntos pendientes para un ejercicio intersectorial basado en el conocimiento. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en 2015, reveló que el 43 % de las IES manifestó no contar con líneas de investigación ni promover proyectos en calidad del aire [20]. Este elemento le imprime importancia al desarrollo de un proyecto enfocado en fortalecer las capacidades institucionales, intersectoriales y regionales que a partir de la investigación y el desarrollo se construyan estrategias para prevenir problemas de contaminación del aire y sus efectos sobre la población.

La articulación de diferentes IES de carácter público a través de sus grupos de investigación permita dar cumplimento al objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, que reconoce la necesidad de generar un “fortalecimiento de las Instituciones de Educación Superior (IES) públicas” y con los objetivos del Pacto Transversal por la Sostenibilidad, entre los cuales se encuentra el “Fortalecer las instituciones ambientales, la investigación y la gestión pública, al tiempo que se propicia el diálogo y la educación ambiental en los territorios”, toda vez que la base del conocimiento que se generará en este proyecto, será una herramienta clave para la toma de decisiones por parte de las entidades locales y regionales.

Entre los avances en el conocimiento que se espera generar, se parte del hecho que las investigaciones sobre calidad del aire y salud que se han realizado en el país, se han descrito patrones temporales de los contaminantes criterio y sus efectos principalmente de corto plazo, es la primera que vez busca analizar la composición físico- química y microbiológica (genómico) del PM2.5 y estimar su efecto sobre la mortalidad y morbilidad respiratoria y cardiovascular, y sus potencial efecto genotóxico y mutagénico. Para ellos se explorarán alternativas metodológicas y analíticas que permitan enriquecer con nuevos enfoques el estudio de la relación entre estos dos fenómenos de alta complejidad, y que permitirán avances tecnológicos en la integración de conocimiento y de información, a la vez que permitirán el desarrollo de herramientas para el diseño de lineamientos de política pública.

En el escenario local, el proyecto fortalecerá el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire (PIGECA) de AMVA que ha hecho importantes esfuerzos en el desarrollo de medidas y herramientas como el compuesto por ejes transversales, para reducir las emisiones contaminantes y mejorar la calidad del aire en los municipios de su jurisdicción, salvaguardando así la salud de la población y protegiendo el ambiente. Para hacer frente a la problemática de contaminación atmosférica, dicho plan contempla en su eje 1 la generación, aprovechamiento y fortalecimiento del conocimiento científico y la tecnología.

Adicionalmente el proyecto muestra coherencia con el Plan y Acuerdo Estratégico Departamental (PAED) en Ciencia, Tecnología e Innovación para el Departamento de Antioquia, articulándose con los focos prioritarios para la región en materia de educación, medio ambiente, biodiversidad y salud (Focos 2, 3 y 4). Está acorde con el "Pacto regional del Eje Cafetero y Antioquia contenido en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022", cuyo objetivo es garantizar desarrollo regional con legalidad y sostenibilidad; considerando los beneficios ambientales, sociales y económicos derivados de la gestión del nuevo conocimiento que será aportado. Así mismo, le apunta a la Apuesta de país 1 "Producción científica ambiciosa con enfoque, gerencia y disciplina", vinculado al objetivo de implementar proyectos de investigación y desarrollo experimental, orientados a la generación de conocimientos y capacidades que contribuyan a la sostenibilidad del territorio y al mejoramiento de la calidad de vida y se conecta además, con la Apuesta transversal de Fortalecimiento Institucional para la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI), dada la coherencia que presenta con el objetivo de integrar diversos actores del sistema, contribuyendo a la consolidación de una red eficaz de competitividad y CTeI.

Los resultados de este proyecto serán un referente nacional e internacional de información sólida y robusta sobre la meteorología, la especiación química, física, microbiológica y morfológica del PM2.5, integrada a información de salud primaria y secundaria en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá; como soporte y fundamentación científica para la toma de decisiones, seguimiento y evaluación de las estrategias implementadas, con el objetivo de garantizar y proteger el ambiente sano que merece la población y así mismo velando a través de diferentes escenarios por la gestión social del conocimiento como estrategia insignia para la transformación de realidades. Adicionalmente, permitirá la participación e integración de grupos de investigación que dominan diferentes temáticas, garantizando la interdisciplinariedad del conocimiento que se genere; el fortalecimiento y aumento de capacidades de dos instituciones públicas de educación superior del territorio y de este modo, reafirma el compromiso por acrecentar el grado de desarrollo de investigaciones en la temática de calidad del aire por parte de las universidades y demostrar al país el mayor interés en la generación de nuevo conocimiento sobre métodos de prevención, reducción y control de la contaminación del aire y su vigilancia sobre los efectos en salud y el ambiente. Todos los elementos aquí presentados imprimen valor a la propuesta y convencen de la importancia y relevancia del desarrollo de esta.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. Marco Política Pública:

La necesidad de incrementar los esfuerzos para el fortalecimiento de un sistema territorial es un objetivo estratégico si el país busca posicionarse como un país más innovador en América Latina. En este sentido, se han materializado políticas públicas orientadas a la formación y al desarrollo de actividades de innovación, desarrollo tecnológico e investigación.

El documento CONPES 3180 de 2002 [32] POLITICA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA, establece que el fortalecimiento del SNCyT no es un problema exclusivamente formal o legal. También implica que sus integrantes desarrollen la capacidad de operar y de articularse. Y este es un proceso en el cual se ha avanzado significativamente, pero que para que continúe consolidándose requiere de información confiable y actualizada, y de una mayor integración de todos los sectores y de las entidades y políticas que de una u otra manera contribuyen al desarrollo científico y tecnológico: el sector académico, productivo, gobiernos locales y desde luego, el gobierno central. En este sentido, resulta importante definir estrategias de cooperación internacional y regional en el marco del SNCYT. Así mismo, es importante resaltar la articulación que debe darse entre los diferentes sistemas sectoriales en torno a la ciencia y la tecnología, de tal forma que la acción coordinada se concrete a través de grupos de instituciones, tanto en los planos temáticos como territoriales. Tal es el caso del Sistema Nacional Ambiental, el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, el Sistema Nacional de Cultura, entre otros.

Posteriormente, en 2006, el documento Visión Colombia 2019 de Ciencia y Tecnología [33] establece como principio fundamental consolidar la infraestructura y los sistemas de información para la CT+I; La carencia de información relevante para la toma de decisiones contribuye a mantener las condiciones que explican el débil funcionamiento del actual SNCyT, al tiempo que impide a sus actores disponer de elementos de juicio más adecuados para el diseño de estrategias efectivas de respuesta en el corto, mediano y largo plazo. Se requiere, por consiguiente, desarrollar y consolidar sistemas de información e indicadores de CyT, como herramientas para que los recursos del Gobierno Nacional, las entidades territoriales y las organizaciones empresariales y sociales se empleen de manera coordinada y efectiva. No tiene sentido exponer el SNCyT al fraccionamiento de esfuerzos ni a la duplicación de tareas con el consiguiente desperdicio de recursos.

El Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 [34] “Todos por un nuevo país” planteó la necesidad del país de continuar con el esfuerzo de apoyar de manera significativa a jóvenes y profesionales que buscan acceder a estudios de doctorado y maestría en las universidades del exterior y en Colombia. Adicionalmente, con el fin de acelerar el acceso a una sociedad y economía del conocimiento, el apoyo a becas doctorales y de maestría será acorde con las demandas del país y el desarrollo de los programas nacionales estratégicos.
Así mismo, en el documento CONPES 3866 de 2016 [35], Política de Desarrollo Productivo se destaca la importancia de que generar un entorno institucional que promueva la coordinación entre actores y garantice la sostenibilidad de la PDP en el largo plazos del aparato productivo del país. En este sentido, la estrategia planteada en dicho documento, busca en ese sentido, el artículo 186° de la Ley 1753 de 201573 determinó la integración del

Sistema de Competitividad e Innovación y el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación en un único Sistema, el SNCCTI.

Esta estrategia busca garantizar que la educación superior, y la educación y formación profesional sean pertinentes para el sector productivo, mediante una mejor coordinación entre los agentes que participan en el mercado laboral (estudiantes, recién egresados, aspirantes, IES, instituciones de educación para el trabajo y el desarrollo humano, SENA, sector privado, sector público, entre otros) y una divulgación de información más precisa sobre dicho mercado a sus agentes.

1. Por otra parte, el Plan Decenal de Educación – PDE – 2016-2026 [36],establece como uno de sus lineamientos estratégicos “fomentar la investigación que lleve a la generación de conocimiento en todos los niveles de la educación”, para lo cual el lineamiento estratégico es Garantizar financiación adecuada para programas de investigación.

2. A su vez, el proyecto contribuye con el Programa 3902 - Formación de capital humano de alto nivel para la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación del DNP, al conseguir aportar al objetivo general de este con el incremento de las capacidades del talento humano en investigación de calidad e impacto en los territorios, por medio de la promoción del acceso a programas de formación de alto nivel de calidad de la población, tales como la formación de (#) profesionales a nivel de maestría y (#) doctorado en áreas afines a la salud ambiental e ingenierías que le permitan a la región y el país transformaciones sociales a través de la generación de nuevo conocimiento y profesionales de alta calidad con procesos de impacto social

3. Finalmente, las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022 *PACTO POR COLOMBIA PACTO POR LA EQUIDAD* considera que para consolidar los sistemas de innovación, y lograr el impacto de la mayor inversión en CTeI, Colombia deberá producir más investigación científica de calidad e impacto, y en su línea FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA REGIONAL DE CIENCIA TECNOLOGÍA E INNOVACIÓ, este tipo de proyectos tienen como objetivo fortalecer el Sistema Regional de Ciencia, Tecnología e Innovación para mejorar su desempeño, eficiencia y resultados en CTeI. Este sistema puede ser definido como la red de actores e instituciones de los sectores público y privado cuyas actividades e interacciones generan, importan, modifican y difunden nuevos conocimientos y tecnologías dentro y fuera de la región

En armonía a los propósitos del proyecto:

- **Conferencia de Estocolmo del año 1972:** Realizada por la Organización de las Naciones Unidas. Fue la primera gran conferencia organizada en cuestiones medioambientales y marco el punto de inicio en el desarrollo de la política ambiental internacional [37].

- **Actualización de las Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud- OMS- relativas al material particulado, el ozono el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre de 2005:** En dicho documento se recomienda los valores de

concentración de contaminantes criterio como orientación para que los gobiernos fijen metas encaminadas a la protección de la salud de sus poblaciones a través de la adopción de políticas nacionales encaminadas a la reducción de los contaminantes que generen riesgo y se ejecute una correcta gestión en salud ambiental. Propone unos valores de máximos permisibles, los cuales son la meta, pero se reconoce que estos niveles guía deben ser alcanzados de manera gradual, por lo cual se proponen niveles intermedios [38].

- **Rio+20 del año 2012:** En participación de los líderes mundiales, participantes del sector privado y las ONG, el cual establecieron diversas maneras de contribuir a la reducción de la pobreza, fomentar la equidad social y garantizar la protección del medio ambiente [39].

- **UNEA 1 Resolución 7 en Calidad del Aire del 2014:** Fortalecimiento del rol del programa de las Naciones Unidad para el Medio Ambiente en promover la calidad del aire [40].

- **Acuerdo de Paris del año 2015:** Establece las medidas para la reducción de los gases de efecto invernadero, a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del calentamiento global [41].

- **Objetivos de Desarrollo Sostenible del año 2015:** en estos se establecen las acciones que deben implementar los países a través de programas conjuntos multidimensionales e integrados. Estos, en su objetivo 11- Ciudades y comunidades sostenibles- proponen lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. De esta manera, se manifiestan en las metas 3 y 6 de este objetivo, la necesidad de implementar la participación ciudadana como mecanismo de gestión y la reducción de impactos ambientales con especial énfasis en calidad del aire [42].

- **Política Nacional de Educación Ambiental –SINA de 2002:** Se establece como instrumento la política pública de cumplimiento obligatorio que orienta las actividades públicas y privadas en el marco del proceso estratégico de desarrollo del país. Esta política considera que la investigación, debe ser un componente fundamental de la Educación Ambiental, ya que ella permite la reflexión permanente y necesaria para la interpretación de realidades y abre posibilidades para el diálogo interdisciplinario, que desde la complejidad de los sistemas ambientales se requiere, con el fin de hacer significativos los conocimientos y de implicarlos en la cualificación de las interacciones, que establecen los diversos grupos socioculturales con los contextos en los cuales desarrollan su vida, desde los que construyen su visión de mundo y que les sirven de base para sus proyecciones, tanto individuales como colectivas [43].

  Atendiendo a lo anterior la Educación Ambiental, entonces, debe ser el vehículo que favorezca la socialización y recontextualización de los resultados de la investigación científica, tecnológica y social y que, a su vez, genere nuevas demandas en conocimientos y saberes a los responsables directos de las tareas investigativas básicas.

- **CONPES 3344 en 2005:** el cual estipula los lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire en las ciudades y zonas

industriales de Colombia. Posteriormente se convierte en la Política de Prevención y control de la contaminación de la calidad del aire [44].

- **CONPES 3550 del año 2008:** Se establecen los lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental, con énfasis en los componentes de calidad de aire, agua y seguridad química. En este, se presenta la salud como un resultado no exclusivo de las acciones realizadas por el sector salud, sino que surge como consecuencia de los compromisos asumidos por los individuos, las comunidades y los gobiernos en políticas y programas que favorecen su protección, así como el fomento de la participación social [45].

- **Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire-PPCCA del año 2010:** Adoptada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se busca *"impulsar la gestión de la calidad del aire en el corto, mediano y largo plazo, con el fin de alcanzar los niveles de calidad de aire adecuado para proteger la salud y bienestar humano, en el marco del desarrollo sostenible"* [46].

- **Plan Decenal de Salud Pública del año 2012-2021:** Realizado en el año 2011 y específicamente en su Dimensión de Salud Ambiental se establece la promoción de la calidad de vida y salud de la población, materializando el derecho a un ambiente sano. Además, establece que la Calidad del Aire es una de las prioridades en salud publica ya que afecta a grupos poblaciones específicos. Así, a través de sus dos componentes - i) hábitat saludable y ii) situaciones en salud relacionadas con condiciones ambientales- las directrices y estrategias generales para intervenir todo lo relacionado con salud ambiental [47].

  Específicamente establece la *"Promoción de la calidad del aire en el interior y exterior de las edificaciones urbanas y rurales. Fortalecer espacios de coordinación, participación y capacitación que involucren a los diferentes actores relacionados con la prevención y control de la contaminación del aire, e implementación de alternativas orientadas a la vigilancia epidemiológica, la renovación del parque automotor, la calidad de combustibles, la producción más limpia y el consumo sostenible, buenas prácticas, mejores tecnologías disponibles, responsabilidad social empresarial, ordenamiento territorial y gestión de proyectos compartidos".*

- **Estrategia Nacional de Apropiación Social del Conocimiento, 2017:** plantea el interés de crear una cultura basada en la generación, la apropiación, el uso y la divulgación del conocimiento, la investigación científica, la tecnología, la innovación y el aprendizaje permanente. Dónde, la información generada mediante las diferentes investigaciones pase del discurso a la práctica. Convirtiendo la comunicación y educación de la comunidad en una de las líneas de acción; ya que la apropiación del conocimiento no debe ser una recepción pasiva. A partir de esta propuesta, se involucra siempre un ejercicio interpretativo y participativo, donde, la ciudadanía, a través de un proceso organizado posibilita el intercambio de opiniones, visiones e informaciones entre los diferentes grupos sociales, propiciando los diálogos de saberes. Lo que permite, el debate y la deliberación para una toma de decisiones informada sobre los asuntos que competen e involucran a la comunidad en general [48].

- **CONPES 3943 de 2018:** el cual dicta los lineamientos actualizados para el mejoramiento de la calidad del aire en Colombia. Este documento presenta una

nueva coordinación intersectorial nacional y establece los compromisos que los diferentes involucrados gubernamentales deben asumir. Proponiendo objetivos y metas medibles, inclusión de nuevas estrategias enfocadas a la prevención, reducción y control de las emisiones contaminantes desde un enfoque técnico. Entre las cuales se encuentran: la renovación y modernización del parque automotor, reducción de azufre en los combustibles, mejores técnicas y prácticas en la industria, optimización en la gestión de la información, desarrollo de investigación, ordenamiento del territorio y gestión del riesgo por contaminación atmosférica [49].

5.2. Marco Normativo:

La normatividad frente al Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SNCTeI) ha tenido siempre como parte de sus pilares fundamentales la regulación y el fomento de la formación de alto nivel. Con base en lo anterior, se han establecido mecanismos para el fortalecimiento del sistema territorial en ciencia y tecnología.

- La Ley 29 de 1990 [50], a través de la cual se dictaron disposiciones para el fomento de la investigación científica y tecnológica, fue la primera base normativa en el país para las actividades de CTeI, entre ellas la formación de capital humano. Esta Ley otorgó facultades extraordinarias al Estado para crear las condiciones habilitantes para la generación de conocimiento y tecnología a nivel nacional.

- En cumplimiento de lo establecido en la Ley, se expidieron los Decretos 393 y 591 de 1991 a través de los cuales se regulan las modalidades de contratación en ciencia, tecnología e innovación, así como los mecanismos de asociación para el desarrollo de actividades de CTeI.

- El Decreto 393 de 1991 establece entre los propósitos de asociación el “Formar y capacitar recursos humanos para el avance y la gestión de la ciencia y la tecnología” (Artículo 2, numeral D). Por su lado, el Decreto 591 de 1991, establece como actividad científica y tecnológica la “Investigación científica y desarrollo tecnológico, desarrollo de nuevos productos y procesos, creación y apoyo a centros científicos y tecnológicos y conformación de redes de investigación e información” (Artículo 2, numeral 1). De este modo, se ampararon los esfuerzos encaminados a fomentar y fortalecer la formación de recurso humano de alto nivel.

- Posteriormente, la Ley 1286 de 2009 derogó parcialmente la Ley 29 de 1990, transformó a COLCIENCIAS en Departamento Administrativo y fortaleció el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. El numeral 5 del artículo 6 de dicha Ley, establece como uno de los objetivos generales de COLCIENCIAS el de “propiciar el fortalecimiento de la capacidad científica, tecnológica, de innovación, de competitividad y de emprendimiento, y la formación de investigadores en Colombia”. En concordancia con lo anterior, el numeral 8 del artículo 7 de la misma, establece dentro de sus funciones la de “promover la formación del recurso humano para desarrollar las labores de ciencia, tecnología e innovación, en especial en maestrías y doctorados en aquellos sectores estratégicos para la transformación y el desarrollo social, medio ambiental y económico del país, en complemento con el ordenamiento constitucional vigente”.

- Por otra parte, el Acto Legislativo 005 de 2011, “Por el cual se constituye el Sistema

General de Regalías, se modifican los artículos 360 y 361 de la Constitución Política y se dictan otras disposiciones sobre el Régimen de Regalías y Compensaciones" creó el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTeI) y asignó para este propósito el 10% de los recursos del Sistema General de Regalías (SGR).

- En los términos del artículo 29 de la Ley 1530 de 2012 [51], el FCTeI busca incrementar la capacidad científica, tecnológica, de innovación y de competitividad de las regiones, mediante proyectos que contribuyan a la producción, uso, integración y gestión del conocimiento en el aparato productivo y en la sociedad en general, propósito que le ha permitido a los departamentos invertir recursos en proyectos de formación de alto nivel.

- Finalmente, la Ley 1942 de 2018 por la cual se decreta el presupuesto del sistema general de regalías para el bienio del 1° de enero de 2019 al 31 de diciembre de 2020, en su artículo 45 estableció que con el objeto de fomentar el programa de investigación con calidad e impacto se podrán financiar proyectos de inversión con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación hasta por doscientos cincuenta mil millones de pesos ($250.000.000.000.oo), cuyo objeto corresponda al otorgamiento de "Becas de Excelencia Doctoral del Bicentenario".

A continuación, se presentan además las normas que impulsan el proceso de investigación y de acción en salud ambiental con énfasis en calidad del aire.

- **Constitución Política de Colombia de 1991:** En sus artículos 79 y 80, se establece el derecho colectivo a un ambiente sano y el deber que tiene el Estado en proteger la diversidad e integridad del ambiente, planificar el manejo y el aprovechamiento de los recursos.

- **Decreto-Ley 2811 de 1974:** Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Renovables y Protección del Medio Ambiente y donde se establece que la contaminación del aire es un factor que deteriora el ambiente.

- **Ley 9 de 1979:** Por la cual se reglamenta la protección del medio ambiente y se establecen las normas, responsabilidades y prohibiciones con respecto a las emisiones atmosféricas. Además se establece que en coherencia al principio de rigor subsidiario son las Corporaciones Ambientales Regionales (CAR) encargadas de establecer las normas y medidas para regular el uso, aprovechamiento o afectación de los recursos renovables, son las encargadas de elaborar e implementar los planes de contingencia para hacer frente a eventuales episodios de contaminación y contar con la participación de las autoridades ambiental, autoridades de tránsito, transporte, salud y el sector empresarial.

- **Ley 99 de 1993:** A través de esta norma se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones.

- **Decreto 979 de 2006:** Del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial el cual establece que las autoridades ambientales son las encargadas de declarar los niveles de Prevención, Alerta y Emergencia ante la ocurrencia de incrementación de los niveles de concentración de contaminación atmosférica.

- **Ley 1523 del 2012:** Define la gestión del riesgo en desastres en Colombia como un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulación, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo.

- **Resolución 2254 del 2017:** El Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible establece los rangos de concentración y los tiempos de exposición bajo los cuales se deben declarar por parte de las autoridades ambientales.

- **Resolución 2381 del 2015, del Área Metropolitana del Valle de Aburrá:** En su artículo 29 se establece la implementación de un Protocolo para El Plan Operacional de Episodios Críticos con el cual se definen los mecanismos de coordinación interinstitucional e intersectorial requeridos para la gestión de episodios de contingencia ambiental.

- **Acuerdo Metropolitano 16 del 2017 :** Se adopta el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá 2017-2030 -PIGECA-, este como un plan estratégico para la disminución a corto, mediano y largo plazo de la contaminación atmosférica.

- **Acuerdo Metropolitano 04 de 2018:** Se adopta el Protocolo del Plan Operacional para Enfrentar Episodios de Contaminación Atmosférica en la Jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

- **Acuerdo Metropolitano 17 de 2019:** Por medio del cual se crea el Sistema de Vigilancia de Salud Ambiental, componente aire y salud del Valle de Aburrá. En este se aprueba y adopta el Sistema de Vigilancia de Salud Ambiental, componente aire y salud del Valle de Aburrá, el cual tiene como objetivo establecer los procesos de recolección, análisis, interpretación y divulgación de los eventos en salud asociados con la contaminación del aire, que permitan generar información oportuna, válida y confiable para orientar medidas de promoción, prevención, vigilancia y control de la salud, así como la optimización en el seguimiento y evaluación de las acciones realizadas en el ámbito ambiental.

5.3. Marco normativo de instituciones:

El **POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID** es una Institución Universitaria de carácter público, adscrita al Gobierno Departamental de Antioquia y fundada en marzo de 1964. Ofrece Educación Superior en los niveles técnico, tecnológico y profesional mediante una oferta de programas académicos de pregrado y posgrado en distintas áreas de la Ingeniería, la Administración, las Ciencias Agrarias, la Comunicación Audiovisual, el Deporte y la Recreación. Su oferta académica incluye cursos de Educación Continua y Educación No Formal. El Politécnico Colombiano ofrece también servicios para el sector empresarial y para la comunidad a través de programas y grupos especiales de asesoría e investigación. A lo largo de sus más de 50 años de historia, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid se ha destacado por ser el más importante Centro de Educación Tecnológica del País y de tener grupos de investigación adscritos a la Institución donde se desarrolla investigación aplicada y consultorías.

La política institucional sobre Ciencia-Tecnología-Innovación, se establece mediante el

Acuerdo Consejo Directivo 06 del 09 de mayo de 2017. En el Acuerdo se establece que dicho Sistema será entendido como aquel que propende por la articulación de procesos de investigación, (búsqueda de nuevo conocimiento), de desarrollo tecnológico e innovación, de apropiación social del conocimiento y de formación integral de recurso humano. El Sistema permite vincular la comunidad académica del PCJIC al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, normalizar el proceso investigativo institucional, facilitando la integración de los grupos de investigación, la unificación de criterios y la proyección de resultados a nivel interno y externo, y de manera particular incentivar los procesos de formación investigativa en el marco de la estructura curricular de los, programas de pregrado y posgrado de la Institución.

Las políticas de apoyo a la investigación y estrategias que aseguren la implementación de la política de Investigación se fundamentan en las siguientes normas, que soportan el desarrollo de proyectos de investigación que desarrollan los diferentes Grupos de Investigación:

- **Estatuto Docente, Art. 77 y 86.** La Institución estimula de manera especial la actividad investigativa y genera las condiciones adecuadas, para que los docentes puedan desarrollar una tarea frutífera. Adicionalmente, el Consejo Directivo podrá reducir transitoriamente la docencia directa a un docente para efectuar investigaciones y asesorías aprobadas oficialmente por la autoridad competente

- **Acuerdo Directivo 12 del 06 de septiembre de 2016, Consultorios Tecnológicos,** "Por el cual se crean los Consultorios Tecnológicos y se definen los mecanismos de operación", Art. 10. Se plantea que los participantes en los proyectos desarrollados en los **Consultorios Tecnológicos** podrán recibir inventivos, estímulos o bonificaciones por sus contribuciones, siempre y cuando, por estas mismas no hubiesen recibido otro reconocimiento por parte de la Institución. Se aclara además que los participantes podrán trabajar en varios proyectos.

- **Acuerdo Consejo Directivo 03 del 23 de febrero de 2004** "Por el cual se crea y reglamenta el Concurso de Investigación Estudiantil de Pregrado en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid".

- **Resolución Rectoral 0611 del 13 de diciembre de 2006** "Por la cual se reglamentan los Semilleros de Investigación".

- **Resolución Rectoral 0906 del 06 de noviembre de 2015** "Por el cual se conforma el Comité de Ética Poli Investiga - CEPI".

- **Resolución Rectoral 0224 del 16 de mayo de 2007** "Por la cual se crea y reglamenta el Programa de Auxiliares de Investigación y la Estrategia para la Sostenibilidad de los Grupos de Investigación".

- **Acuerdo Consejo Directivo 06 del 09 de mayo de 2017** "Por el cual se definen las Políticas generales del Sistema de Ciencia Tecnología e Innovación del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid".

- **Acuerdo Consejo Directivo 06 del 09 de mayo de 2017** "Por el cual se reglamenta el Sistema de Ciencia y Tecnología del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid".

La **UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA** en calidad de aliada en este proceso de investigación, se reconoce como una Institución de educación superior creada mediante la Ley 71 de 1878 del extinguido Estado Soberano de Antioquia, y cuya Personería Jurídica deriva de la Ley 153 de 1887; según el artículo 1 del Estatuto General, es una institución estatal del orden departamental; mediante el Decreto 1297 del 30 de mayo de 1964 del Gobierno Nacional obtuvo reconocimiento como Universidad, código ICFES 1201, Registro de Alta Calidad, Acreditación Institucional del Ministerio de Educación Nacional, Resolución 16516 del 14 de diciembre de 2012, NIT 890.980.040-8.

Está organizada como un Ente Universitario Autónomo con régimen especial, vinculada al Ministerio de Educación Nacional en lo atinente a las políticas y la planeación del sector educativo y al Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología; goza de personería jurídica, autonomías académica, administrativa, financiera y presupuestal, y gobierno, rentas y patrimonio propios e independientes; se rige por la Constitución Política, la Ley 30 de 1992, las demás disposiciones que le sean aplicables de acuerdo con su régimen especial y las normas internas dictadas en ejercicio de su autonomía.

La Universidad tiene su domicilio en la calle 67 No. 53 - 108, ciudad de Medellín, Departamento de Antioquia, República de Colombia. Con arreglo a la Ley y al Estatuto General, puede establecer seccionales y dependencias en cualquier lugar del territorio nacional, y crear o formar parte de corporaciones, fundaciones y otras instituciones públicas o de economía mixta.

La Universidad de Antioquia tiene por objeto la búsqueda, desarrollo y divulgación del conocimiento en los campos de las humanidades, la ciencia, las artes, la filosofía, la técnica y la tecnología, mediante las actividades de investigación, de docencia y de extensión, realizadas en los programas de Educación Superior de pregrado y de posgrado con metodologías presencial, semipresencial, abierta y a distancia, puestas al servicio de una concepción integral de hombre.

Desde el Acuerdo Superior 204 del 6 de noviembre de 2001 y el Acuerdo Superior 386 del 22 de febrero de 2011 se establecen los lineamientos generales para "La actividad de investigación en la Universidad de Antioquia, la cual, estará regida por los principios expuestos en el Capítulo II del Título Primero del Estatuto General, principios que constituyen las normas rectoras para la aplicación de todas las disposiciones de la Universidad (Estatuto General, Artículo 26). De ellos, se destacan especialmente: la libertad de investigación (Artículo 4), la responsabilidad social (Artículo 6), la autonomía (Artículo 7), la universalidad (Artículo 8), la libertad de cátedra y de aprendizaje (Artículo 9), la excelencia académica como criterio rector de la vida universitaria (Artículo 12), la interdisciplinariedad (Artículo 13), la investigación como fuente y fundamento de la docencia, (Artículo 14), la cooperación interinstitucional (Artículo 15), la autoevaluación (Artículo 16), la participación (Artículo 18), la planeación y evaluación (Artículo 22), y la descentralización (Artículo 23)."

Según el Acuerdo superior 204 de 2001, modificado por el Acuerdo Superior 386 del 2011, el Grupo de Investigación científica y tecnológica será la unidad básica de generación de conocimiento científico y de desarrollo tecnológico. Estará compuesto por un equipo de investigadores de una o varias disciplinas o instituciones, comprometidos con un tema de investigación. Sus ejecutorias provendrán de la acción intencional del grupo reflejada en un plan o agenda de trabajo, organizada en proyectos y actividades orientadas a conseguir resultados de conocimiento de demostrada calidad y pertinencia. Puede hacer parte de un grupo de investigación, los profesores, estudiantes, investigadores externos, investigadores

asociados y personal técnico y de apoyo a las labores de investigación.

La Vicerrectoría de Investigación, como líder del Sistema de Investigación de la Universidad de Antioquia y la responsable de la ejecución de las estrategias de fomento de la investigación definidas por el Comité para el Desarrollo de la Investigación, CODI, es la dependencia de la Universidad encargada de otorgar reconocimiento o aval institucional a los grupos de investigación, siempre y cuando cumplan con los requisitos mínimos y la política sobre grupos que establezca el CODI.

La Universidad de Antioquia cuenta con 273 grupos de investigación, clasificados y reconocidos por MinCiencias en la convocatoria 833 de 2019. Entre los que se encuentra el Grupo de Investigación de Salud y Ambiente (clasificación A), el cual funciona como una unidad de profesionales, profesores, estudiantes, auxiliares y egresados que se dedican a investigar conjuntamente problemáticas específicas en un área del saber y avanzar en el conocimiento de los procesos físicos, bióticos, ambientales y sociales que interactúen con los ecosistemas, la salud y la cultura integralmente. Con la investigación que se desarrolla, se busca aportar información que apoye científica y tecnológicamente la formulación, aplicación de nuevos modelos de desarrollo y políticas públicas que permitan a las personas gozar de un ambiente sano, y al país el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, la preservación del patrimonio ecológico y la salud de las poblaciones, en busca de una mejor calidad de vida.

5.4. Estado del Arte:

Calidad del aire

Los datos de calidad del aire del Valle de Aburrá indican que las zonas urbanas presentan altas concentraciones de PM2.5 y niveles de radiación solar y la emisión de gases precursores generan las condiciones propias para la formación de ozono troposférico, el cual excede el valor de la norma nacional. El inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá 2018 indica un aporte mayoritario de las fuentes móviles de gases y partículas. Las fuentes fijas contribuyen a las emisiones de material particulado y óxidos de azufre, gases precursores de la formación de material particulado en la atmósfera. Las fuentes móviles emiten el 58% de PM10 y el 78% de PM2.5, además aportan el 94% de los NO_x y el 62% de las emisiones de COV, mientras que las fuentes fijas son las responsables del 77% de las emisiones de SO_x [52].

La calidad del aire en Medellín en cuanto al PM2.5, no es buena y debe estar generando consecuencias indeseables en la salud de sus habitantes [53]. Un análisis ecológico realizado en Medellín ha mostrado cómo desde hace 27 años se presenta un aumento de la mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas y cáncer de pulmón; se ha estimado que un aumento de la mortalidad del 80% se asocia a un gradiente de 30 $\mu g/m^3$ de PM10 [54], también se calculó que por cada incremento de 1 $\mu g/m^3$ de PST por año, se aumenta la tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en 0,26 muertes por cada 100.000 habitantes [54]. Estos análisis preliminares solo han permitido correlacionar la mala calidad del aire con este grupo de patologías, sin haber establecido la fracción de riesgo atribuible a la contaminación.

En el Valle de Aburrá, las campañas de especiación química del PM 2.5 e identificación de perfiles de fuentes realizadas [52], [55] han generado información aproximada en la modelación de aportes de fuentes de emisión de acuerdo con el tipo de combustible, calderas

de carbón, fuel, canteras, otros combustibles, a partir de especiaciones típicas de los perfiles con errores de ajuste del 5%. Aun así, se haya logrado un estimativo de las fuentes de emisión en el área metropolitana del Valle de Aburrá en un rango aceptable por el balance másico, debe tenerse en cuenta que las campañas realizadas han sido de duraciones cortas que no han cubierto periodos de transición de régimen secos a lluviosos en los cuales se presentan de manera continuada, concentraciones elevadas de PM2.5 que han exigido declaratorias de emergencia, limitando la toma de decisiones e implementación de estrategias de intervención y control en pro del mejoramiento de la calidad del aire. Es importante resaltar que estudios en la región sobre la estimación de aportes de fuentes de emisión, se han aplicado técnicas de modelos receptores y modelos de pronóstico de calidad del aire, estimando aportes de fuentes locales sin avanzar en la estimación y validación de fuentes regionales por transporte asociado al movimiento global de las masas de los contaminantes, tanto a nivel continental como transoceánico, situación que es común para la cuenca de América Latina y el Caribe. En el año 2004 [56] Begum, Biswas & Hopke realizaron estudios sobre PM en el área urbana y semi-urbana de Bangladesh. En el 2005 fue empleado para la identificación de las fuentes de PM en la ciudad de Washington, DC [57].Existe un estudio del año 2007 sobre los aportes de VOCs en la atmosfera de Los Angeles [58]. En España el modelo PMF ha sido empleado para analizar datos recolectados en la zona rural de Madrid permitiendo la identificación de factores asociados a la quema de combustibles fósiles producida por el tráfico, las ceras presentes en las plantas, la emisión primaria de material orgánico, crustal y el aerosol atmosférico secundario [59]. En Colombia existe el estudio del año 2012 realizado por Vargas, Rojas, Pachon & Russell [60] sobre la caracterización de fuentes de aportes de PM10 para la ciudad de Bogotá.

Salud

De acuerdo al estudio de la Carga Mundial de la Enfermedad, las lesiones y Factores de Riesgo de 2017 de la contaminación del aire explican 4,9 millones de muertes y 147 millones de AVAD. Esto representa actualmente uno de los mayores riesgos sanitarios, comparable a los riesgos relacionados con el tabaco, y superado únicamente por los riesgos sanitarios relacionados con la hipertensión y la nutrición [18]. En 2012, OMS afirmó que el 72% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica se debieron a la cardiopatía isquémica y a los accidentes cerebrovasculares, mientras que el 14% de las muertes se debieron a enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) o infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores y el 14% a cáncer de pulmón [61]. Esta relación ha sido explorada a través de diferentes estudios epidemiológicos de cohorte y ecológicos de series de tiempo. Entre los principales se destaca el proyecto ESCAPE [20] y el proyecto de Harvard de las seis ciudades de Estados Unidos [62], en América Latina el proyecto ESCALA [23], en Asia el proyecto PAPA [63], en Europa el proyecto APHEA [55] y el proyecto EMECAM [56], en Estados Unidos, Canadá y Europa el proyecto APHENA [64]. En este último se incorporó el proyecto APHEA realizado en 1995.

Algunos estudios sobre la composición química de las partículas han logrado identificar las mezclas que causan efectos adversos en la salud, tales como el cáncer; por ejemplo, la exposición al humo de tabaco y al asbesto [65] o al radón [66] aumenta de manera multiplicativa el riesgo de cáncer de pulmón. En Estados Unidos, una investigación realizada por Zhou Y. [67] y colaboradores muestra que, aunque hay muchos tóxicos cancerígenos en el aire (formaldehído, tetracloruro de carbono, acetaldehído y benceno), solo unos pocos afectan la salud pública de manera significativa, el formaldehído y el benceno juntos aportan casi el 60 % del total de los impactos en la salud relacionados con el cáncer. Otras evidencias obtenidas, indican que hay subconjuntos de poblaciones expuestas a altas concentraciones

de VOC donde el riesgo estimado de cáncer a lo largo de la vida por la exposición al benceno excedió 10-4 para el 10% de los adultos, y la exposición al cloroformo excedió el mismo nivel de riesgo para el 16% de los adultos [68].

Para América Latina se calcula que cada año mueren alrededor de 35.000 personas por la contaminación del aire intraurbano y 276.000 años de vida se pierden por la misma causa [23]. La causa principal de contaminación del aire urbano en América Latina y el Caribe es el uso intensivo de combustibles fósiles en los sectores industriales y transporte; en general, la calidad de los combustibles ha mejorado poco a poco en la región de las Américas, donde la gasolina sin plomo y el diésel con bajos niveles de azufre se utilizan cada vez más [69].

Para Colombia, la contaminación atmosférica ha sido uno de los factores de mayor preocupación en los últimos años, por los impactos generados tanto en la salud como en el medio ambiente. La problemática atmosférica actual es la que genera los mayores costos sociales y ambientales después de los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales [70]. En el 2005, el Banco Mundial realizó su primer análisis sobre las problemáticas medioambientales que debían ser priorizadas, para que al intervenirlas se contribuyera con la disminución de la pobreza. Este estudio concluyó que la contaminación del aire urbano e intradomiciliario eran los problemas que más costos generaban para el país [71].

En el Valle de Aburrá, se han adelantado diferentes estudios que exploran la relación entre contaminación del aire y salud, recientemente [15], concluyeron que entre los años 2008-2017 se presentaron 810.007 casos de eventos crónicos, predominantes en los adultos y adultos mayores, donde las enfermedades del sistema respiratorio predominaron en todos los municipios que constituyen el Valle de Aburrá. Durante el mismo periodo de estudio se presentaron 184.519 defunciones de las cuales el 13,2 % correspondieron a eventos centinela de tipo crónico, y el 91,7 % de estas, se debieron a enfermedades del sistema respiratorio y los tumores malignos de los órganos respiratorios e intratorácicos en los municipios de Medellín, Bello, Itagüí y Envigado, las cuales contribuyeron con el 90,6 % de las defunciones.

Modelos Receptores

Los modelos receptores han sido desarrollados y utilizados desde los años 70 del siglo pasado mediante el apoyo de instituciones gubernamentales e investigadores en diferentes áreas del conocimiento. En el año 2004 Begum, Biswas & Hopke [56] realizaron estudios sobre PM en el área urbana y semi-urbana de Bangladesh. En el 2005 fue empleado para la identificación de las fuentes de PM en la ciudad de Washington, DC [57]. En España el modelo PMF ha sido empleado para analizar datos de la zona rural de Madrid identificando factores asociados al tráfico vehicular, las ceras presentes en las plantas, material orgánico primario, crustal y el aerosol atmosférico secundario [59]. En Colombia en 2012 Vargas, Rojas, Pachon & Russell evaluaron aportes de PM10 en Bogotá [60]. En el Valle de Aburrá se ha desarrollado e implementado el MCF2.0 [72]–[74].

Genómica

Los microorganismos son abundantes en la atmósfera, en un rango que puede estar entre 104 – 105 células m-3 en ambientes montañosos [75] a 106 – 107 m-3 en tormentas de arena en el desierto [76]. En términos generales la atmósfera es ampliamente reconocida como un microbioma altamente diverso y ha sido objeto de estudio con el fin de conocer la diversidad

de microorganismos y su impacto en salud humana en ambientes con problemas de contaminación [77]–[84]. Algunos estudios han asociado los microorganismos presentes en la atmósfera a diferentes enfermedades humanas, por ejemplo, hongos identificados como causantes de problemas respiratorios [85], síndrome de ganglios linfáticos, enfermedad de Kawasaki [86] al igual que endotoxinas de bacterias del aire han estado también asociadas a problemas de salud [87].

Evaluación de la información satelital disponible vinculada a aerosoles y compuestos gaseosos

Los datos satelitales de contaminantes atmosféricos son empleados para estimar las emisiones, rastrear las plumas contaminantes, respaldar las actividades de predicción de la calidad del aire, proporcionar pruebas de las declaraciones de "acontecimientos excepcionales", supervisar las tendencias regionales a largo plazo y evaluar el modelo de calidad del aire [88]. La aplicación de la teledetección para evaluar la calidad del aire en las ciudades ha sido abordada mediante diferentes instrumentos satelitales de monitoreo, donde el empleo de sensores como MODIS o TM/ETM+/OLI/TIRS a bordo de la serie LANDSAT, han permitido el hallazgo de material particulado (aerosoles atmosféricos) en tamaños perjudiciales para la salud humana.

En la tesis doctoral “Monitorización de emisiones de CO_2 en análogos naturales de almacenamientos geológicos a través de la vegetación mediante técnicas de teledetección multiespectral” se realizó un análisis multitemporal de una serie de imágenes satelitales QuickBird y WorldView-2 para detectar en las imágenes los diferentes focos de emisión de CO_2 de los volcanes dentro de la región de interés, obteniendo resultados positivos, ubicando nuevos puntos de emisión.

Indicadores ambientales

Las revisiones realizadas evidencian un déficit de estudios de evaluación y seguimiento de medidas de mejoramiento de la calidad del aire implementadas que son prioritarias para la prevención de episodios críticos, a través de conocimiento validado. Algunos de estos son: La Universidad Baja California en México [89] plantea la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Mexicali, primero, a partir del análisis de contaminantes O_3, CO, SO_2, NO_2 y PM10 y su relación con la estructura urbana, y segundo, evaluando las estrategias instrumentadas para el abatimiento de la contaminación. El enfoque fue determinar la viabilidad de expansión y crecimiento urbano, mas no de prevención de episodios de contaminación.

En una tesis de grado [90] se implementan, evalúan y validan los modelos de Dinámica Computacional de Fluidos (CFD) Winmiskam (comercial) y Envimet para simular la dispersión de las emisiones de PM generadas por vehículos automotores, modelación en micro-escala, de dos vías representativas de Bogotá para realizar una campaña de medición usando dos modelos CFD. seleccionando el modelo con mejor desempeño para evaluar diferentes estrategias de control.

Para el caso del AMVA, el PIGECA contempla indicadores de Calidad del Aire como reducción del número de contingencias, número de sanciones por incumplimientos, porcentaje de vehículos que cumplen estándares de emisión, empresas con Planes Empresariales de Movilidad Sostenible (MES), reparto modal de viajes, reducción de

emisiones industriales, entre otros.

6. ANÁLISIS DE PARTICIPANTES

N°	Entidad	Tipo de contribución (Beneficiario, cooperante, oponente, perjudicado)	Intereses o Expectativas	Condiciones, Contribución o Gestión de participación
1	Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	Cooperante	Gestión integral del proyecto y generación de conocimiento científico y validado	El Politécnico Colombiana Jaime Isaza Cadavid será la institución encargada del diseño, desarrollo, gestión y aporte de recursos del proyecto. Así mismo, a la contribución en talento humano, equipos y plataformas educativas e investigativas. El Politécnico trabajara en calidad de institución líder, ejecutora y administradora y vigilará las disposiciones éticas derivadas en los estudios de cohorte. Se beneficiara al tener la posibilidad de formar talento humano en calidad del aire y fortalecimiento de programas académicos y procedimientos de laboratorios. Lidera la generación de equipos de investigación, fortalecimiento de redes de conocimiento a nivel local e internacional y generará nuevas herramientas y focos de análisis de la problemática de la calidad de aire y salud en la región Realizará las actividades de administración y supervisión del proyecto.
2	Universidad de Antioquia	Cooperante	Gestión integral del proyecto y generación de conocimiento científico y validado	La Universidad de Antioquia será la institución co-ejecutora del proyecto y estará encargada del diseño, desarrollo, gestión y aporte de recursos del proyecto. Contribuye en talento humano, equipos y plataformas educativas e investigativas en el componente de salud, estructuración de nuevas herramientas analíticas e informática a través del fortalecimiento de equipos de investigación. Liderará la generación de equipos de investigación, fortalecimiento de redes de conocimiento a nivel local e internacional y generará nuevas herramientas y focos de análisis de la problemática de la calidad de aire y salud en la región
3	Departamento de Antioquia	Cooperante	Departamento de Antioquia como ente gubernamental dispondrá de información científica y validable base para la toma de decisiones en la prevención y salud de la población.	Financiar el proyecto con recursos del fondo CTeI del Sistema General de Regalías
4	Departamento de Caldas	Cooperante	Departamento de Caldas como ente gubernamental dispondrá de información científica y validable base para la toma de decisiones en la prevención y salud de la población.	Financiar el proyecto con recursos del fondo CTeI del Sistema General de Regalías
5	Departamento de Risaralda	Cooperante	Departamento de Risaralda como ente gubernamental dispondrá de información científica y validable base para la toma de decisiones en la prevención y salud de la población.	Financiar el proyecto con recursos del fondo CTeI del Sistema General de Regalías
6	Departamento de Quindío	Cooperante	Departamento de Quindio como ente gubernamental dispondrá de información científica y validable base para la toma de decisiones en la prevención y salud de la población.	Financiar el proyecto con recursos del fondo CTeI del Sistema General de Regalías
7	Municipio de Envigado	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de Envigado podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.
8	Municipio de Itagüí	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de Itagüí podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.
9	Municipio de Sabaneta	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de Sabaneta podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.
10	Municipio de La Estrella	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de La Estrella podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.
11	Municipio de Caldas	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de Caldas podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.
12	Municipio de Medellín	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de Medellín podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.

N°	Entidad	Tipo de contribución (Beneficiario, cooperante, oponente, perjudicado)	Intereses o Expectativas	Condiciones, Contribución o Gestión de participación
13	Municipio de Bello	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de Bello podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.
14	Municipio de Copacabana	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de Copacabana podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.
15	Municipio de Girardota	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de Girardota podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.
16	Municipio de Barbosa	Beneficiario	Estudios científicos sobre los efectos en la salud relacionado con el PM2.5 y su composición química como base para la gestión de territorio y el control de las fuentes de emisión.	El Municipio de Barbosa podrá ejecutar en sus planes de desarrollo planes de mejoramiento de la calidad del aire, dando confianza a la comunidad en sus tomas de decisiones y aumentando la participación ciudadana en las acciones requeridas.
17	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	Beneficiario	Integración al PIGECA de los indicadores de mejoramiento de los indicadores de la calidad del aire, basado en los aportes de fuentes de emisión y la evaluación de los efectos en salud pública.	El Área Metropolitana del Valle de Aburrá a través del PIGECA dispondrá de información científica, validada y articulada en un metamodelo de información sobre los efectos en la salud y la caracterización del PM2.5 como indicadores de la eficacia y seguimiento de las medidas implementadas para garantizar la salud y el bienestar de la comunidad.
18	Ministerio De Transporte - Gestión General del Valle de Aburrá	Beneficiario	El Ministerio de Transporte requiere información validada para sobre los contaminantes generados en los diferentes medios de transporte y parámetros de caracterización.	El Ministerio de Transporte es el ente rector antes las secretarias de de Movilidad, transporte o equivalentes a nivel departamental y en específico para las secretarias de movilidad de los municipios que conforman el Valle de Aburrá y por lo tanto es de alta importancia el seguimiento a las emisiones generadas a partir de un modelo integrado de datos que evalúa su comportamiento, características e impacto en salud.
19	Ministerio De Salud Y Protección Social - Gestión General	Beneficiario	El Ministerio de Salud requiere información validada para los programas de vigilancia epidemiológica y salud ambiental como parte de la garantía del derecho constitucional a la buena salud.	El Ministerio de Salud es el ente rector antes las Secretarias de Salud departamental y en específico para las secretarias de salud de los municipios que conforman el Valle de Aburrá y por lo tanto es de alta relevancia el seguimiento del impacto de la calidad del aire sobre la salud basado en un modelo de información integrado con fuentes contaminantes y parámetros de exposición que finalmente genere información robusta para el seguimiento e implementación de los programas de vigilancia de riesgos ambientales en salud pública
20	Ministerio De Minas Y Energía - Gestión General	Beneficiario	El Ministerio de Minas y Energía organismo regulador de energías alternativas requiere de información confiable sobre el impacto del uso de combustibles liquido sobre la calidad del aire.	Adscrito al Ministerio de Minas, se halla el Servicio Geológico Colombiano - SGC, entidad que cuenta con el equipamiento de alto nivel tecnológico y único en el país para la aplicación de la energía de nuclear en el análisis químico de material particulado a nivel atómico, generando información importante para el aporte de fuentes e impacto en salud.
21	Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales- IDEAM	Beneficiario	El IDEAM como ente encargado de acreditar laboratorios ambientales requiere de datos experimentales para los lineamientos de caracterización química del PM2.5	Es una necesidad contar con laboratorios ambientales acreditados en el país en los parámetros de caracterización química de material particulado para la generación de nuevo conocimiento científico, validable y comparable para la evaluación de los contaminantes y sus efectos en la salud.
22	Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible	Beneficiario	Disponibilidad de información científica y validable base para la toma de decisiones en la prevención y salud de la población en su relación con la calidad del aire.	La emanación y/o actualización de normativas referentes a la calidad del aire soportados en la valoración de fuentes locales y características del PM2.5 típico de cada región del país.
23	Ecopetrol	Beneficiario	Ecopetrol como empresa responsable del suministro de los combustibles en Colombia tiene como compromiso mejorar su calidad en pro de la reducción de los efectos en la salud	La evaluación del impacto del mejoramiento del combustible en la calidad del aire se constituye en un indicador verificable en términos de la reducción de los compuestos químicos generados por las fuentes móviles y la integración a un metamodelo de datos que permitirá la gestión de la información como aporte a la implementación de la política ambiental de Ecopetrol.

La dirección del proyecto será la encargada de garantizar la articulación y cooperación interinstitucional a partir de lo siguiente:

MODELO DE OPERACIÓN FORMAL A NIVEL LEGAL: El contrato correspondiente a la ejecución del proyecto será firmado y legalizado por la entidad ejecutora como representante de la alianza. Una vez firmado y legalizado, la entidad ejecutora deberá aportar copla del contrato de ejecución a la entidad co-ejecutora.

Para la realización de la alianza se suscribirá un CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN entre El Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Universidad de Antioquia. En dicho convenio se regulará el marco general de operación, relacionamiento, de propiedad intelectual y de gestión de bienes, entre los diferentes actores.

La entidad responsable de asumir la dirección general del proyecto, y por lo tanto desempeñar el rol de ejecutor, es El Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, representada por Libardo Álvarez Lopera Rector identificado con cédula de ciudadanía 70.120.809. Esta entidad será la encargada de asumir la interlocución técnico-científica y administrativa del proyecto ante MINCIENCIAS.

La entidad que ejecutará actividades del proyecto bajo el rol de co-ejecutor es la Universidad de Antioquia, representada por el Vicerrector de Investigación Sergio Cristancho Marulanda con cédula de ciudadanía 79.671.907 expedida en Medellín.

El proyecto contará con un plan operativo el cual describirá las responsabilidades sobre la ejecución de las actividades técnico-científicas y su relación con el cumplimiento de los objetivos del proyecto y resultados esperados en el proyecto “PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD EN EL VALLE DE ABURRÁ”

MODELO DE OPERACIÓN FORMAL A NIVEL ADMINISTRATIVO: Para el desarrollo del proyecto se ha definido una estructura administrativa y operativa

DIRECCIÓN DEL PROYECTO: El proyecto contará con una dirección la cual será la encargada de realizar las actividades académico-administrativas necesarias para la debida ejecución del proyecto, garantizando la articulación y cooperación interinstitucional entre las entidades participantes; y unificando la documentación generada por el proyecto, el comité técnico, la supervisión y/o interventoría con el fin de consolidar los informes requeridos por autoridades internas o externas.

COMITÉ TÉCNICO CIENTÍFICO. Para la ejecución del presente proyecto se define la constitución de un comité técnico científico, integrado por parte del PCJIC, por los profesores Miriam Gómez Marín, Directora del grupo GHYGAM; Juan Carlos Valdés Director del grupo ISAII; profesora, Sandra Patricia Mateus Santiago Directora del grupo GRINSOFT; Rubén Darío Vásquez Salazar integrante del Grupo ICARO; German Velásquez García Director grupo GIC; por parte de la Universidad de Antioquia los profesores Juan Gabriel Piñeros Jiménez Director del Grupo Salud y Ambiente; Hugo Grisales Romero Director del Grupo Demografía y Salud; Emmanuel Nieto López, Director de la línea de Economía de la Salud del Grupo Salud y Sociedad. Las funciones principales será la coordinación de las entidades para el logro de las actividades de carácter técnico y científico, y la asesoría a las autoridades de las entidades en lo relativo a la ejecución del proyecto. A continuación, se detallan las

actividades a desarrollar por el Comité Técnico Científico:

- Coordinar la ejecución técnica-científica del proyecto, según los tiempos, recursos y responsabilidades indicadas en el Plan Operativo del Proyecto.
- Revisar y aprobar las modificaciones técnico-científicas que se puedan presentar durante la ejecución del proyecto. Estas modificaciones deberán verse reflejadas en los informes de avance, y constar en actas de reunión.
- Asesorar las modificaciones financieras y administrativas que se requieran en la ejecución del proyecto, para aprobación de las instancias competentes.
- Dar visto bueno a los informes de avance y de terminación del proyecto presentados por la dirección.
- Informar al director del proyecto aquellas situaciones que pongan en riesgo la ejecución según lo programado.
- Llevar las actas de cada sesión que se adelante y remitirlas a la dirección del proyecto para su custodia.
- Generar su reglamento interno (frecuencia de reunión, quórum decisorio y deliberativo).

MODELO DE OPERACIÓN FORMAL A NIVEL FINANCIERO: se define una INSTANCIA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL, el seguimiento técnico, administrativo, financiero, contable y jurídico del convenio será realizado por el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y sus funciones se desprenderán de la normatividad vigente en el momento de la ejecución

MODELO DE OPERACIÓN FORMAL A NIVEL DE PROPIEDAD INTELECTUAL: se define el MECANISMO DE GESTIÓN DE ADQUISICIONES Y TRANSFERENCIAS DE BIENES Y SERVICIOS ENTRE LA ENTIDAD EJECUTORA Y LAS ENTIDADES DE LA ALIANZA, el trámite para la contratación de personal y la adquisición de bienes y servicios será bajo la normatividad vigente para esta materia y que rige al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, ejecutor del proyecto, así como la normatividad del Sistema General de Regalías. El director del proyecto será el encargado de adelantar la ejecución de los recursos de la alianza ante el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, según lo establecido en el convenio y el proyecto. Los bienes adquiridos en el marco de la alianza, quedarán en bajo custodia del ejecutor hasta tanto se liquide el convenio, momento en el cual los miembros de la alianza definirán la propiedad final de los mismos, tal como se registra en presupuesto.

De igual manera lo referente a **LA PROPIEDAD INTELECTUAL** se regirá por lo definido en el ITEM 5 del Modelo de Gobernanza Anexo “La propiedad industrial y derechos de autor y conexos que se generen del desarrollo del presente Convenio estarán sujetos a las leyes de propiedad intelectual de la República de Colombia, normas supranacionales y toda la normatividad que le sea aplicable, así como la que en tal sentido hayan adoptado o adopten internamente EL POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID Y LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, se comprometen a no divulgar, sin acuerdo anticipado, los desarrollos y las informaciones científicas, tecnológicas, técnicas e industriales recibidas de la otra parte, ni a utilizarlas con otros fines, que no sean de la aplicación específica acordada entre ambas partes.”

7. POBLACIÓN AFECTADA

Para definir la población afectada se han tenido en cuenta que el Valle de Aburrá tiene una problemática de calidad del aire no ajena al contexto nacional e internacional teniendo en cuenta que es una región conurbada de 10 municipios donde convergen diferentes actividades empresariales y de servicios, las cuales han incrementado durante los últimos años, las concentraciones PM2.5 y ozono principalmente, tal como de manera clara fue planteado en el Plan Integral de Gestión de la Calidad del aire para El Área Metropolitana del Valle de Aburrá [91]. Dados los regímenes de vientos y meteorología que transporta los contaminantes a lo largo del valle, la población afectada es de 4.055.296 habitantes de acuerdo a consulta en página oficial del DANE [92].

8. POBLACIÓN OBJETIVO

La población sobre la cual directamente hará intervención el proyecto y en la cual se focalizarán focalizará los esfuerzos y recursos disponibles, es la misma población afectada definida como la población habitante del área metropolitana del Valle de Aburrá en 4.055.296 habitantes de acuerdo a consulta en página oficial del DANE [92].

9. CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS DE LA POBLACIÓN OBJETIVO

Clasificación	Detalle	Número de personas	Fuente de información
Etaria (Edad)	0 a 14 años	726.782	DANE
Etaria (Edad)	15 a 19 años	293.864	DANE
Etaria (Edad)	20 a 59 años	2.409.970	DANE
Etaria (Edad)	Mayor de 60 años	624.680	DANE
Género	Masculino	1.920.444	DANE
Género	Femenino	2.134.852	DANE

10. OBJETIVOS DEL PROYECTO

10.1. Objetivo general

Generar información sólida y robusta sobre la evaluación de los efectos en la salud del contaminante criterio PM2.5.

10.2. Objetivos específicos

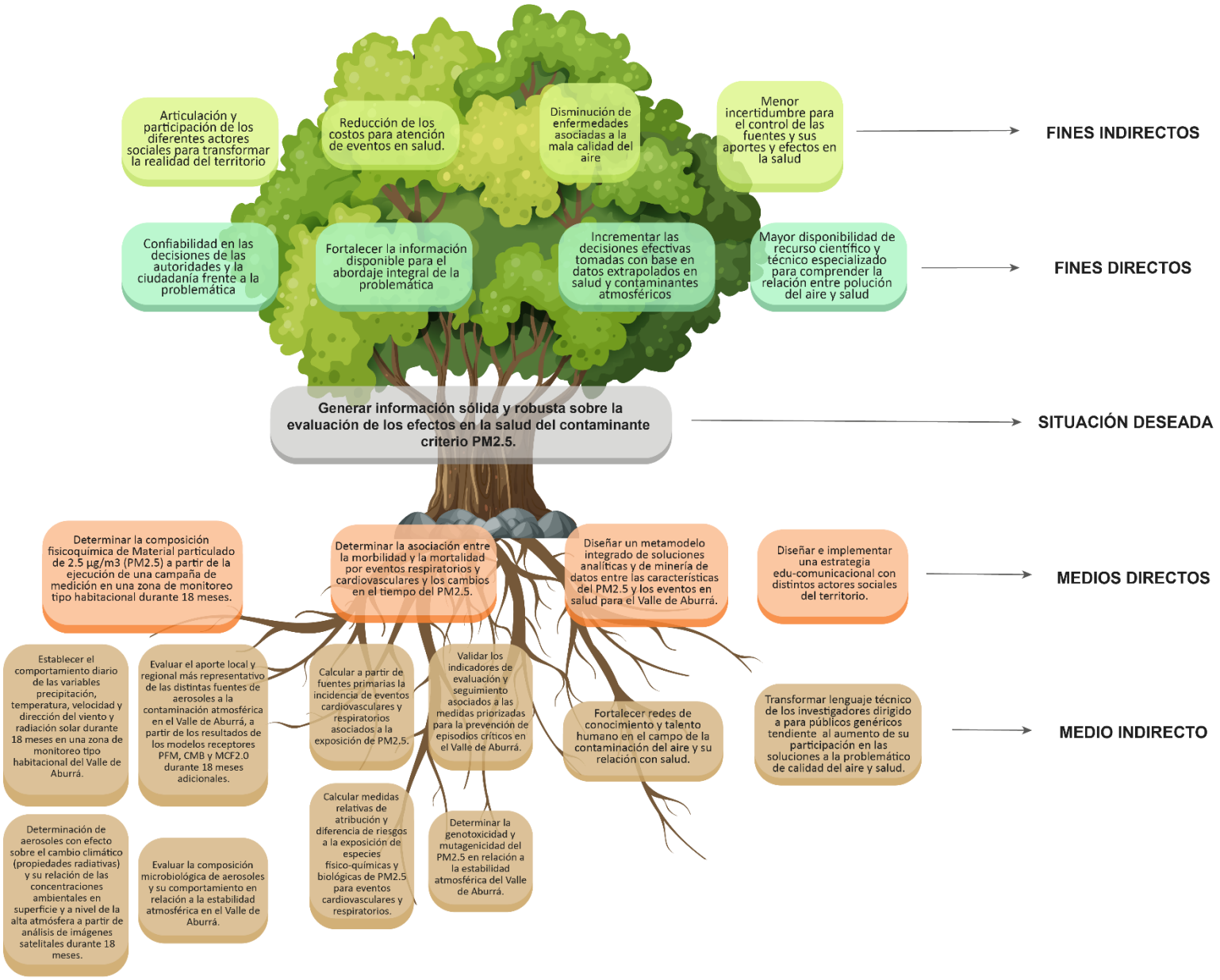
10.2.1. Determinar la composición fisicoquímica de Material particulado de 2.5 µg/m3 (PM2.5) a partir de la ejecución de una campaña de medición en una zona de monitoreo tipo habitacional durante 18 meses.

10.2.2. Determinar la asociación entre la morbilidad y la mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares y los cambios en el tiempo del PM2.5.

10.2.3. Diseñar un metamodelo integrado de soluciones analíticas y de minería de datos entre las características del PM2.5 y los eventos en salud para el Valle de Aburrá.

10.2.4. Diseñar e implementar una estrategia edu-comunicacional con distintos actores sociales del territorio.

10.3. Árbol de objetivos:



10.4. Indicador de impacto o resultado:

Numero de estudios integrados de generación de nuevo conocimiento desarrollados en la temática calidad del aire y salud con metodologías de baja incertidumbre.

11. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

En el análisis de la alternativa de solución se desarrollaron tres alternativas, se fundamentan en la amenaza ambiental para la salud pública, y el mayor reto que para los países de medianos y bajos ingresos, representan los efectos negativos para la salud asociados a la mala calidad del aire, en especial el PM2.5 y su composición física química y biológica.

Descripción de alternativas:

Alternativa 1: Diseño y evaluación simultanea de un programa de gestión del conocimiento en contaminación atmosférica y sus efectos en la salud a partir de la caracterización físico-química y biológica experimental del PM2.5 y estudios de cohorte de población.

La alternativa se estructura sobre la evaluación de las relaciones entre la salud y las características químicas y biológicas de PM2.5, principalmente sus componentes elementales tóxicos con impactos de alta carga para el sistema de salud, evaluada en tiempo real, en paralelo y en experimentación simultánea con el estudio epidemiológico de cohortes generando información sólida y robusta para la alimentación en un metamodelo de datos, base de los soportes de información para la toma de decisiones, exigiendo un trabajo interdisciplinario tendiente al fortalecimiento de capacidades institucionales en los cooperantes y beneficiarios del programa de calidad del aire y salud.

Alternativa 2: Diseño y evaluación experimental de un programa de gestión del conocimiento en contaminación atmosférica y sus efectos en la salud a partir de la caracterización físico-química y biológica del PM2.5 y estudios teóricos de población expuesta.

La propuesta del Diseño y evaluación experimental de un programa de gestión del conocimiento en contaminación atmosférica y sus efectos en la salud, se basa como la anterior, en una fase experimental para obtener la caracterización físico-química y biológica del PM2.5, para la obtención de la especiación química, física y microbiológica, los aportes de fuentes de emisión locales y regionales y su diferenciación en periodos de estabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá. Está información representará las emisiones de las fuentes locales que serán objeto de control y que permitirá la modelación por técnicas receptores para la estimación de los aportes de las fuentes emisores. En este componente es exactamente igual a la alternativa seleccionada

En cuanto a la evaluación del impacto en la salud para la posterior alimentación del Metamodelo, no se realizaría estudios de cohorte en paralelo y simultaneo con la caracterización del PM2.5 y modelación de aportes, sino que esta fase se realizaría a partir de información teórica secundaria arrojada por evaluación de población foránea dado que en Colombia no hay estudios de este corte en salud ambiental.

Alternativa 3: Diseño y evaluación de un programa de gestión del conocimiento en contaminación atmosférica a partir de estudios de cohorte experimentales de población expuesta y estudios teóricos de caracterización físico-química y biológica del PM2.5.

Esta alternativa considera el mismo alcance diseño y evaluación de un programa de gestión del conocimiento en contaminación atmosférica a partir de estudios de cohorte experimentales de población expuesta en el Valle de Aburrá, aunque para la caracterización físico-química y biológica del PM2.5 se tomarían datos de bases de datos internacionales de otras localidades como la Speciate de la EPA referenciada previamente, bases de datos europeas y reportes de revistas científicas de categoría A1 y A2.

La fase para la evaluación de los efectos en salud en relación de la especiación química y biológica del PM2.5. de manera igual a la alternativa seleccionada, se haría evaluación por efectos respiratorios y cardiovasculares asociados a datos exógenos de PM2.5 involucrando estrategias de análisis epidemiológico con fuentes secundarias (RiPs y RUAF) y primarias, indagando auto-reporte de síntomas, la consulta a servicios de salud y pruebas de función pulmonar.

En cuanto a la caracterización química no habría fase experimental exigiendo que los datos sobre la especiación química sean de tipo secundario obtenidos de revisiones en bases de datos y revistas especializadas y referente al PM2.5 de otras localidades y estudios.

Evaluación de alternativas:

Para la selección de la alternativa óptima que dé solución a la deficiente y desarticulada información sobre la evaluación de los efectos en la salud causada por el PM2.5 y su caracterización, se construyó una matriz de factores ponderados en escala de 1 a 5 definiendo un peso porcentual para cinco (5) factores definidos para la optimización de la alternativa seleccionada. Los factores escogidos fueron

Factor 1: Validación de caracterización química
Factor 2 Validación de caracterización biológica
Factor 3 Estudio de cohorte experimental
Factor 4: Validación Índice Ambiental
Factor 5: Validación de información local para toma de decisiones -Metamodelo

MATRIZ DE FACTORES PONDERADOS

Factores	Peso	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Calificación	Puntuación	Calificación	Puntuación	Calificación	Puntuación
Factor 1: Validación de caracterización química	25%	4,5	1,13	4,5	1,13	3,0	0,75
Factor 2 Validación de caracterización biológica	20%	4,5	0,90	4,5	0,90	3,0	0,60
Factor 3 Estudio de cohorte experimental	25%	4,5	1,13	3,0	0,75	4,5	1,13
Factor 4: Validación Indice Ambiental	15%	4,5	0,68	3,0	0,45	3,0	0,45
Factor 5: Validación de información local para toma de decisipnes-Metamodelo	15%	4,5	0,68	3,0	0,45	3,0	0,45
Suma Ponderada	**100%**		**4,50**		**3,68**		**3,38**

La alternativa 1: **Diseño y evaluación simultanea de un programa de gestión del conocimiento en contaminación atmosférica y sus efectos en la salud a partir de la caracterización físico-química y biológica experimental del PM2.5 y estudios de cohorte de población**, al hacer la evaluación se basó en la evaluación de los efectos en la salud del contaminante criterio PM2.5, considerando su especiación química, física y microbiológica, los aportes de fuentes de emisión locales y regionales y su diferenciación en periodos de estabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá, mediante un ejercicio interdisciplinario centrado en el territorio, que permita la gestión social del conocimiento, incluyendo la base experimental de datos de población y exposición locales, características de fuentes, especiación química medida en tiempo real y en simultaneo con los estudios de cohorte. Se eliminan errores por extrapolación de datos, características de población de otros países y regiones, caracterización química de bases de datos externas y/o teóricas que al alimentar el Meta modelo, arrojará criterios propios y locales para la toma de decisiones en la prevención y control de episodios críticos relacionados con de un índice ambiental construido con los componentes de PM2.5 por efectos respiratorios y cardiovasculares identificados mediante un análisis de componentes principales PRINQUAL vía método de máxima varianza, que involucra estrategias de análisis epidemiológico con fuentes secundarias (RiPs y RUAF) y primarias, con un análisis de seris de tiempo con Modelos Aditivos Generalizados, y el seguimiento por 18 meses 546 menores de 15 años y 546 mayores de 40 años asintomáticos seleccionados con un muestreo trietapico a quienes se indagará auto-reporte de síntomas, la consulta a servicios de salud y pruebas de función pulmonar.

La alternativa 2, **Diseño y evaluación experimental de un programa de gestión del conocimiento en contaminación atmosférica y sus efectos en la salud a partir de la caracterización físico-química y biológica del PM2.5 y estudios teóricos de población expuesta**, aunque se realice la caracterización de PM2.5 local bajo los parámetros descritos, la evaluación de la exposición y análisis de efectos, no corresponde a la población local y sus características biológicas que determinan su afectación. El Metamodelo sería igualmente diseñado e implementado pero los criterios arrojados para la toma de decisiones en la prevención y control de episodios críticos, no corresponderían al índice ambiental por efectos respiratorios y cardiovasculares del PM2.5

que aunque sea propio y local el perfil del PM2.5, no involucra estrategias de análisis epidemiológico con fuentes primarias ni análisis de seris de tiempo con Modelos Aditivos Generalizados con seguimiento por 18 meses y las demás variables del diseño experimental.

La alternativa 3, **Diseño y evaluación de un programa de gestión del conocimiento en contaminación atmosférica a partir de estudios de cohorte experimentales de población expuesta y estudios teóricos de caracterización físico-química y biológica del PM2.5**, dado que aunque se realice el estudio de cohorte para evaluación de los efectos del PM2.5, la caracterización no representa la partícula local ni sus fuentes como factor de exposición El Metamodelo sería igualmente diseñado e implementado pero los criterios arrojados para la toma de decisiones en la prevención y control de episodios críticos no corresponderían al índice ambiental cuyos efectos respiratorios y cardiovasculares no corresponden al perfil químico y bilógico del PM2.5 respirado por la población local expuesta y evaluada.

Como puede observarse la alternativa seleccionada fue la **Alternativa 1 con un puntaje de 4.5** superior a las Alternativa 2 y Alternativa 3

12. CADENA DE VALOR

NOTA 1: Las actividades descritas en la cadena de valor se reducen en cuanto a las actividades presentadas ante el SIGP debido a las limitaciones que se presentan en el Catálogo de la MGA para el sector Ciencia, Tecnología e Innovación. Además, este cambio da respuesta a la evaluación final de las mismas donde se detectaron que varias se encontraban a nivel tarea.

NOTA 2. El objetivo específico 4 es modificado de la propuesta Colciencias Regalías 8 para centrar el enfoque de la transferencia de los resultados en la gestión del conocimiento y estrategias de educación y comunicación que permitan su divulgación a todos los públicos del territorio.

NOTA 3: Para el objetivo específico 4, la cantidad de productos se modificó en 2 dado que en la propuesta Colciencias Regalías 8, se clasificó por error, la divulgación de los resultados de la investigación a los habitantes del Valle de Aburrá como producto obra artística.

Objetivos específicos	Producto MGA	Indicador MGA	Actividades del proyecto	Productos del proyecto	Cantidad
Determinar la composición fisicoquímica de Material particulado de 2.5 µg/m3 (PM2.5) a partir de la ejecución de una campaña de medición en una zona de monitoreo tipo habitacional durante 18 meses.	Documentos de investigación	Libros y/o capítulos de libros resultados de investigación	**Actividad 1:** Generación de información de monitoreo y satelital.	Libro Publicado	**1**
			Actividad 2: Levantamiento de información, análisis y diseño de resultados.		
			Actividad 3: Diseño y ejecución de talleres con grupos sociales y poblacionales vulnerables.		
			Actividad 4: Socialización de resultados sobre la calidad del aire y efectos en la salud		
			Actividad 5: Seguimiento administrativo.		
			Actividad 6: Apoyo a la supervisión.		

Objetivos específicos	Producto MGA	Indicador MGA	Actividades del proyecto	Productos del proyecto	Cantidad
Determinar la asociación entre la morbilidad y la mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares y los cambios en el tiempo del PM2.5.	Artículos de investigación	Artículos publicados en revistas indexadas nacionales e internacionales	**Actividad 1:** Validación de un índice ambiental y exposición a PM2.5	Artículos Publicados	**10**
			Actividad 2: Análisis de eventos centinelas asociados a la contaminación		
			Actividad 3: Estructuración de la cohorte para la evaluación de los impactos en salud		
			Actividad 4: Seguimiento clínico a la cohorte		
			Actividad 5: Gestión de la información en salud y evaluación de las medidas		
			Actividad 6: Seguimiento administrativo.		
			Actividad 7: Apoyo a la supervisión.		

Objetivos específicos	Producto MGA	Indicador MGA	Actividades del proyecto	Productos del proyecto	Cantidad
Diseñar un metamodelo integrado de soluciones analíticas y de minería de datos entre las características del PM2.5 y los eventos en salud para el Valle de Aburrá.	Servicio de apoyo para entrenamiento especializado para científicos investigadores	Cursos sobre métodos y técnicas de investigación especializados y avanzados	**Actividad 1:** Diseño e Implementación de una bodega de datos PM2.5 y efectos en salud	Metamodelo para el desarrollo de un plan de gestión integrado de soluciones analíticas	4
			Actividad 2: Levantamiento de información experimental de eventos de contaminación		
			Actividad 3: Diseño y construcción de estructura física del meta-modelo		
			Actividad 4: Gestión de la información en salud y prevención de la contaminación atmosférica.		
			Actividad 5: Diseño y desarrollo de algoritmos (estructura lógica).		
			Actividad 6: Actualización de plataforma web.		
			Actividad 7: Gestión y realización del Curso de Entrenamiento Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública.		
			Actividad 8: Realización de tres (3) cursos en calidad del aire y salud pública.		
			Actividad 9: Depuración, preparación, análisis y diseño de bases de datos ambientales.		
			Actividad 10: Seguimiento administrativo.		
			Actividad 11: Apoyo a la supervisión.		

Objetivos específicos	Producto MGA	Indicador MGA	Actividades del proyecto	Productos del proyecto	Cantidad
Diseñar e implementar una estrategia edu-comunicacional con distintos actores sociales del territorio.	Productos de investigación en artes, arquitectura y diseño	Obras y/o productos de investigación, creación en artes, arquitectura y diseño que cumplen con los requerimientos mínimos de calidad exigidos por Colciencias	**Actividad 1:** Co-construcción de productos artísticos y multimedia.	Obras y productos en artes	**2**
			Actividad 2: Gestión, intercambio y transferencia del conocimiento		
			Actividad 3: Seguimiento administrativo.		
			Actividad 4: Apoyo a la supervisión.		

13. METODOLOGÍA

NOTA: Las actividades descritas en la metodología se reducen en cuanto a las actividades presentadas ante el SIGP debido a las limitaciones que se presentan en el Catálogo de la MGA para el sector Ciencia, Tecnología e Innovación. Además, este cambio da respuesta a la evaluación final de las mismas donde se detectaron que varias se encontraban a nivel tarea.

La metodología del Proyecto se presenta para cada objetivo y sus actividades. Cada actividad se amplía por subactividades o tareas en algunos casos dada la variedad temática y multidisciplinaridad del estudio.

13.1 **Metodología *objetivo 1:*** *Determinar la composición fisicoquímica de Material particulado de 2.5 µg/m3 (PM2.5) a partir de la ejecución de una campaña de medición en una zona de monitoreo tipo habitacional durante 18 meses.*

13.1.1 **Actividad 1**: *Generación de información de monitoreo y satelital.*

- *Subactividad 1***: Monitoreo PM2.5:** La metodología para la toma de las muestreas PM2.5 en diferentes equipos y medios filtrantes se basan en la Norma NTC 17025:2005. Se realizará toma de muestras en periodos de 24 horas con equipos de filtración de tamaño selectivo de alto y bajo volumen aplicando procedimientos confirmados por el Laboratorio GHYGAM según normas vigentes y de acuerdo con los requerimientos técnicos y de custodia de las diversas técnicas analíticas químico.

El PM2.5 en el aire se separa inercialmente en boquillas y ciclones de los equipos a velocidades de flujos controlados y los ítems de ensayo se recuperan en el menor tiempo posible bajo custodia en cadena de frio. Los sistemas alto y bajo volumen manuales para PM2.5 poseen impactadores y controladores de caudal y transporte de aire. El flujo de aire de entrada se controla mediante un regulador de caudal másico y sistemas de control automatizado.

La toma de muestras PM2.5, se usarán tres (3) equipos de bajo en filtros de teflón y cuarzo de 47 mm de diámetro y dos (2) equipo de alto volumen que recolectan el material particulado en filtros de cuarzo de 8*10 pulgadas. Los sistemas de bajo volumen (Low-Vol) posen un impactador y separador partículas a una rata de flujo de 16.67-16.7 LPM y diseñado para operación en cualquier entorno superando todas las especificaciones y rendimientos establecidos por la US EPA para la recogida de partículas de aire ambiente. El caudal volumétrico es controlado a través de un medidor de caudal másico PID que mitiga los efectos producidos por los cambios ambientales medidos por los sensores de temperatura y presión.

Para el funcionamiento de los equipos, se requiere de suministro de energía en las instalaciones de campo, es decir, áreas de medición externas y demás sitios donde se ubicaran los equipos de medición de calidad del aire. Estos equipos contienen componentes electrónicos como los microcontroladores que funcionan con un voltaje mínimo de 110 volts / 60 Hz y accesorios como los motores que funcionan con una intensidad de corriente eléctrica

de 8 AMP la cual debe ser provista para su operación y funcionamiento adecuado. Estos suministros de energía eléctrica deben ser constantes durante el estudio, permitiendo la toma de los contaminantes objetos de investigación. La contribución de este contrato al proyecto es la captura de los contaminantes que serán estudiados y serán la base para el análisis de sus efectos y estructura del Programa de calidad del aire y salud.

Los equipos de alto volumen (Hi-Vol) de PM2.5 son instrumentos de referencia federal diseñado para la recolección de partículas en el ambiente con diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 µm a diferentes tasas de flujo comprendidas entre 1,019 y 1,699 m^3/min que pasan a través de un inlet compuesto por 40 tubos de separación. Su sistema de muestreo está fundamentado en la entrada de material particulado con tamaño selectivo, de forma que solo se depositen fracciones de PM2.5 en el filtro de impactación dispuesto para tal fin. Actualmente, existen en el mercado diversas referencias de muestreadores de aire de alto volumen que se diferencian por el mecanismo de control másico o volumétrico que regulan el flujo de entrada de aire.

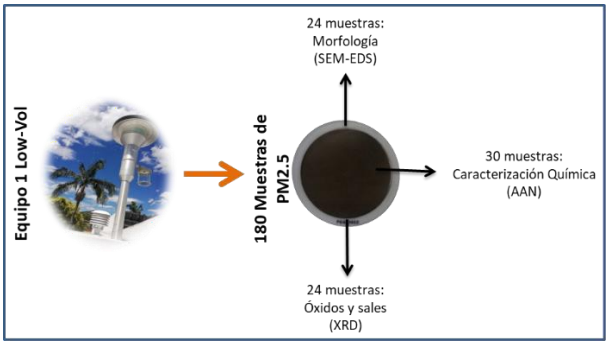
El sitio de monitoreo se encuentra ubicado en una zona urbana de características poblacionales en el Instituto Salesiano Pedro Justo Berrio, punto donde se encuentra ubicada la estación de calidad del aire MED-BEME (Latitud: 6.243, Longitud: -75.61201) operada por el proyecto SIATA (Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá) del AMVA, Comuna 16 (Belén), barrio Las Mercedes. El punto de toma de muestra se encuentra en una terraza con altura de 3 metros sin acceso directo, vigilancia continua e influencia directa de una ladrillera a 620 m [28].

La estación MED-BEME dentro de la Red de Calidad de Aire del Valle de Aburrá se cataloga como urbana de fondo por su baja influencia de fuentes vehiculares alrededor de la cual se configuran corredores comerciales y de servicios que se convierten en referentes urbanos por su oferta localizada. El Paseo Comercial La Mota, la carrera 70 sobre el costado del Aeropuerto Enrique Olaya Herrera y la carrera 76 entre la calle 80 y el Parque Biblioteca de Belén presentan una alta actividad comercial en tipología residencial que ha transformado el uso del suelo propuesto en los diferentes Planes de Ordenamiento Territorial. La carrera 76 entre el Parque Biblioteca y la calle 30 tiene uso construido en tipología comercial. La carrera 30 entre calles 70 y 80 concentra comercio especializado para la construcción y las áreas industriales sobre corredores viales se concentran en la calle 30 entre el río y la carrera 70 y sobre la carrera 65 entre 80 y la calle 30. La zona de monitoreo tiene como requisito un asentamiento poblacional con la menor influencia de fuentes directas de contaminación del aire.).

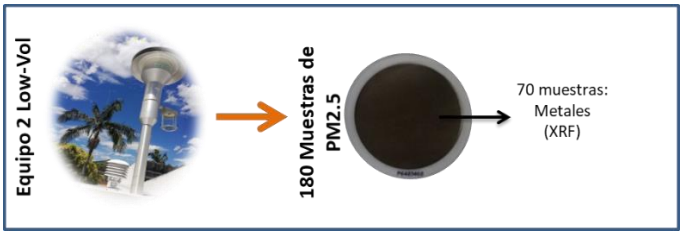
Se realizará campaña de 18 meses de monitoreo en diferentes filtros para un total de 180 muestras integradas tomadas cada 3 días. En total se operaran tres (3) equipos de bajo volumen Low Vol y dos (2) muestreadores de alto volumen Hi-Vol para un total de 319 muestras PM2.5.

A continuación, se relaciona la distribución de toma de muestras en cada uno de los equipos.
muestras PM2.5

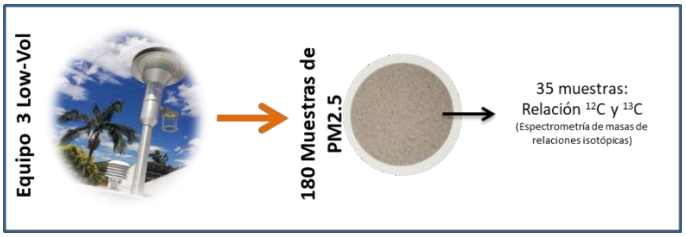
- Equipo 1 Low-Vol: 24 muestras para caracterización morfológica y 30 muestras para análisis de activación neutrónica y 24 muestras para análisis de óxidos y metales.



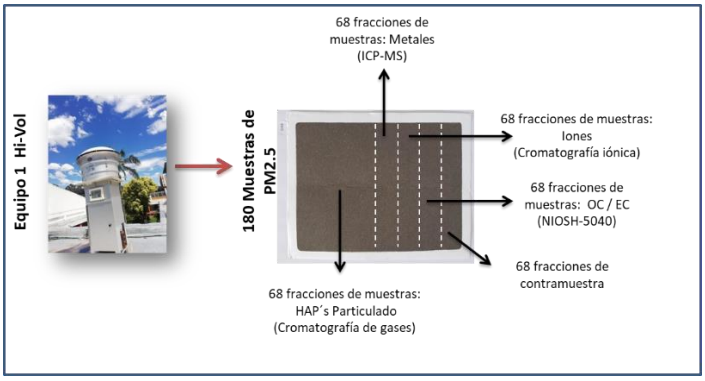
- Equipo Low-Vol 2: 70 muestras para análisis de metales.



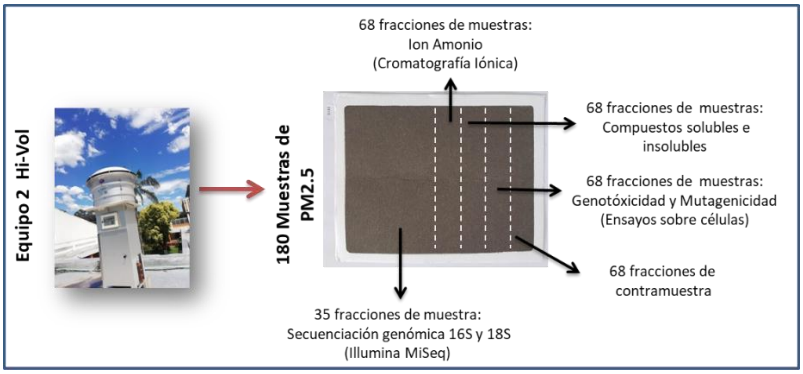
- Equipo Low-Vol 3: 35 muestras y serán enviadas para análisis isotrópico relación 12C/13C.



- Equipo Hi-Vol1: 68 muestras fraccionadas para el Laboratorio de Análisis químicos que se realizaran en fracciones del filtro de cuarzo de 8x10 pulgadas: 105 fracciones para análisis de metales, 68 fracciones análisis de iones, 68 fracciones análisis OC/EC y 68 fracciones análisis de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

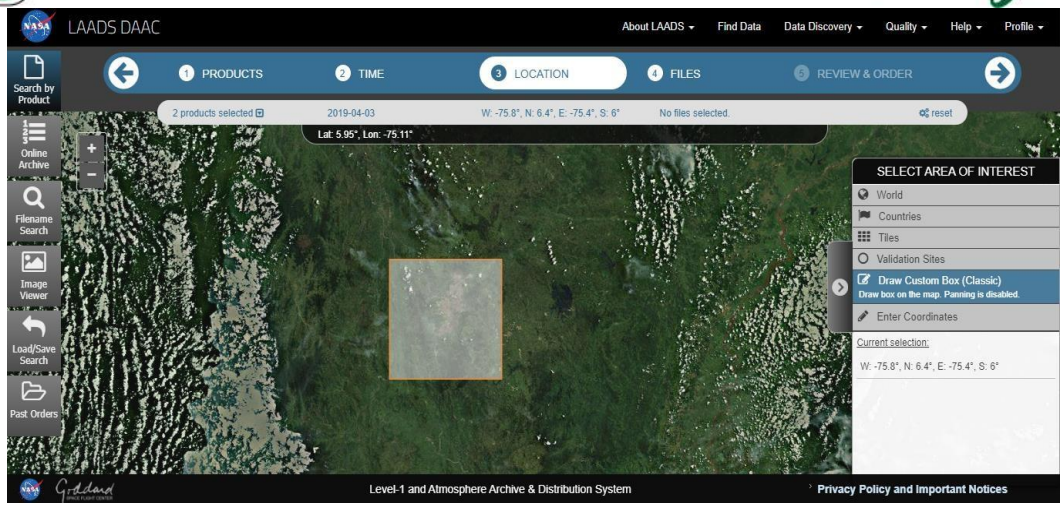


- Equipo Hi-Vol12 : 68 muestras fraccionadas: 68 fracciones para análisis de ion amonio y 68 fracciones análisis de compuestos solubles e insolubles en el Laboratorio de Análisis Ambiental de la UdeA, 60 fracciones para ensayos citotóxicos y mutagénicos y 60 fracciones para extracción de ADN genómico.



Subactividad 2 **: Monitoreo PM2.5 Satelital:** La Metodología usando técnicas satelitales de sensor remoto para la Colecta y evaluación de la información satelital disponible vinculada a aerosoles PM2.5 y compuestos gaseosos, se fundamenta en la búsqueda de las imágenes de las que se quiera obtener información de la página de la NASA: https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/, siguiendo algunos procedimientos como ejemplo que a continuación se describen para la descarga de imágenes MODIS e imágenes clasificadas por AOD.

Se elige la opción Find Data que abre el portal de búsqueda de imágenes satelitales, se debe seleccionar el sensor del que se quiere obtener la información, el sensor (MODIS-Aqua) es el responsable de la toma de información de los aerosoles y AOD, parámetro (Aerosol) e imágenes de 10 km y de 3 km. Posterior a esto se elige la fecha o el rango de fechas en las que se obtuvieron las imágenes que se pretende descargar. Se continua con la selección del área de interés en la que se va a trabajar como se muestra en la ilustración, se puede hacer por medio de un recuadro u otras opciones.



Después de seleccionar el área de interés, se procede a verificar el resultado de la búsqueda, en la descarga se incluyen todas las bandas por medio de las cuales se pueden realizar diferentes análisis tanto visuales como procesamiento digital de las mismas. La clasificación por AOD no se realiza a toda la imagen en general sino a zonas específicas de acuerdo con lo que el sensor detecte.

Para la identificación de eventos de intrusión de aerosoles por análisis visual de imágenes satelitales, se debe ingresar al portal de la página: https://worldview.earthdata.nasa.gov en la parte baja se puede modificar la fecha de acuerdo a el día en que se tomó la imagen que se está buscando, en la columna izquierda se encuentran las diferentes capas que se pueden encender y apagar para visualizarlas sobre la imagen esto de acuerdo con el interés del visualizador, para el proyecto se elegirán las capas que permitan visualizar focos de contaminación, puntos calientes y valores de AOD.

Cuando se selecciona la opción de adicionar capas se abre una ventana, en esta ventana hay dos opciones: peligros-desastres y disciplinas de la ciencia, en la opción de peligros y desastres aparece calidad del aire, con varios ítems, cada capa es tomada de diferentes sensores, se debe analizar bien cuales opciones se deben encender con el fin de no saturar el mapa, para el proyecto las capas que se encendieron son: Índice de aerosol, profundidad óptica de aerosol, polvo, incendios y anomalías térmicas y materia particulada.

También se debe encender la capa de reflectancia corregida color verdadero, con el objetivo de corregir visualmente las zonas donde no hay imagen (traslapo).

➢ *Subactividad 3* **Caracterización Química:** Los análisis químicos, requieren custodia, determinación de masa y concentración de PM2.5 captado, actividades que hará el Laboratorio GHYGAM. Se determinarán los componentes elementales materia carbonácea y la composición iónica. Se aplicarán diferentes técnicas teniendo en cuenta la sensibilidad, límites de detección y cuantificación para alcanzar la mayor reproducibilidad de la masa PM2.5 y el respectivo balance de masa.

Análisis de metales: El método (ICP-MS) se basa en la generación de iones (plasma acoplado inductivamente) y un método para separarlos y detectarlos (espectrómetro de masas) (USEPA, 1999). El material de la muestra en disolución es introducido por nebulización neumática dentro de un plasma producido por radiofrecuencia donde los procesos de

transferencia de energía provocan desolvatación, atomización e ionización. Los iones transmitidos a través del cuádruplo son detectados por un detector de multiplicador de electrones, o por un detector Faraday, y la información resultante es procesada por un sistema de manejo de datos. Esta técnica se aplicará para 68 muestras tomadas en filtro de cuarzo de 8x10 pulgadas.

Análisis de aniones y cationes por cromatografía iónica: La concentración de iones (NO2-, SO42-, PO43-, NH4+ (SM 4110B), Na+, Mg2+, Ca2+, F-, Cl-, NO3-, C2O42-, Br - y K+) en PM2.5, se determina por Cromatografía Iónica (APHA, AWWA, & WEF, 2012c). La concentración mínima detectable dependerá de cada ion y está en función del volumen de aire colectado y del tiempo de muestreo. Para el análisis se inyecta una muestra de la extracción del material particulado en agua, en una corriente de eluente de carbonato-bicarbonato para aniones y ácido metasulfónico para cationes y se hace pasar a través de una serie de intercambiadores iónicos en donde los iones de interés se separan según sus afinidades relativas. Se identifican sobre la base del tiempo de retención, comparado con disoluciones patrón de cada ion. Esta técnica se aplicará para 68 muestras tomadas en filtro de cuarzo de 8x10 pulgadas

Análisis de carbono orgánico y elemental discriminado en diferentes fracciones, materia carbonácea) por el método NIOSH 5040: El OC y EC se determinarán aplicando condiciones del protocolo NIOSH, 1999. La técnica aplica extracción con solventes seguida por combustión, rampas continuas de temperatura, dos temperaturas en atmósferas oxidantes y/o no oxidantes por Tramitancia Termo/óptica (TOT). Los métodos térmicos, calientan una porción de la muestra de manera continua o paso a paso bajo diferentes atmósferas, con la detección de carbono volatilizado o carbono oxidado que sale de la muestra. Con una estandarización consistente, estos métodos, proveen medidas equivalentes de Carbono Total (TC, la suma de OC y EC) y definen la división entre OC y EC basado en combinaciones de temperaturas de combustión, tiempo de residencia a cada temperatura, la composición de la atmósfera que rodea la muestra, y la luz reflejada o transmitida a través del filtro. Esta técnica se aplicará para 68 muestras tomadas en filtro de cuarzo de 8x10 pulgadas

Análisis de hidrocarburos aromáticos políciclicos (HAPs) por Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas: Los HAPs en PM2.5, se determinarán usando el Compendium Method TO-13A (USEPA, 1999), que incluye análisis cualitativo y cuantitativo. La CG es altamente sensitiva y selectiva para el análisis de compuestos aromáticos policíclicos, además tiene alta estabilidad para analizar muestras complejas. El método incluye el análisis cualitativo y cuantitativo de los diferentes HAPS, entre los cuales se resalta el benzoantraceno, benzopireno, dibenzoantraceno, fluoreno, naftaleno, pireno, fenantreno, etc. que involucren en su estructura química tres anillos o más. Los límites de detección para el método GC/MS se encuentran entre 1 ng y 10 pg, de acuerdo con las condiciones analíticas usadas. Esta técnica se aplicará para 68 muestras tomadas en filtro de cuarzo de 8x10 pulgadas

Análisis elemental por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva polarizada EDXRF 3D: Este análisis multielemental, se basa en la energía de los orbitales electrónicos de cada elemento. La ionización de los elementos o la remoción de uno de sus electrones internos con una fuente de rayos X, hace que un electrón de un nivel cercano ocupe su lugar, generando un fotón fluorescente (Norma EPA IO 3.3). Esta técnica de análisis elemental, permite la determinación de compuestos como Aluminio y Silicio, que son difíciles de determinar por otras técnicas de caracterización, además de ser compuestos importantes en la identificación de fuentes de emisión de material particulado. Esta técnica se aplicará para

70 muestras tomadas en filtro de teflón de 47mm

Análisis morfológico y micro elemental por SEM-EDS: Esta técnica se aplicará para la determinación de C, O, Si, Al, Na, S, K, Fe, Ni y otros elementos, utilizando un Microscopio de Barrido de Electrones, que da una vista magnificada, enfocando un rayo de electrones sobre la muestra. Las imágenes de retrodispersión de electrones (BEI) proporcionan información acerca de la composición de la muestra, mediante la creación de una imagen que asigna tonalidades de oscuros a blancos, proporcionales a los pesos atómicos. El sistema de EDS es utilizado en combinación con el SEM, para obtener la composición elemental de las muestras y los tamaños de partícula, que dan una idea de la fuente de donde proviene el material particulado. Esta técnica se aplicará para 24 muestras tomadas en filtro de teflón de 47mm

Análisis de óxidos por Difracción de Rayos X (DRX): Esta técnica es rápida para identificar fase cristalina. Las sustancias actúan como rejillas de difracción tridimensional para longitudes de onda de rayos X, similares a la separación de planos en una red cristalina. Los rayos X se generan por un tubo de rayos catódicos. La conversión de los picos de difracción a espacios D permite la identificación del mineral, al compararlos con patrones de referencia. Los resultados obtenidos son importantes en la identificación de óxidos y sales, importantes en la identificación de fuentes de emisión. Esta técnica se aplicará para 24 muestras tomadas en filtro de cuarzo de 8x10 pulgadas

Análisis de solubles (sólidos disueltos totales) por Gravimetría: Este análisis (SM 2540C del Standard Methods), se hace tomando un volumen conocido y homogéneo de muestra que pasa a través de un filtro de fibra de vidrio y el filtrado, se evapora a 180ºC, a peso constante, para eliminar el agua ocluida. Los sólidos disueltos de la muestra seca se determinan por gravimetría y es importante en la identificación de materiales solubles que permiten inferior fuentes de emisión del material particulado. Esta técnica se aplicará para 68 muestras tomadas en filtro de cuarzo de 8x10 pulgadas

Análisis por Técnica Activación Neutrónica AAN. Esta técnica de análisis es multielemental y puede medir hasta 40 elementos en simultáneo, con este análisis se pretende determinar Ag, Sb, Cd, Co, Zn, As, Hg, Pb, Cr y Fe en el PM2.5 (método relativo). El análisis se basa en transformaciones nucleares cuando los neutrones interactúan con la materia, generando productos radiactivos y emisores gamma y se usa especialmente para determinar elementos minoritarios, trazas y ultratrazas, los cuales son difíciles de detectar por otras técnicas de análisis y son clave en la determinación de fuentes de contaminación, debido a que detecta elementos trazadores de las mismas, los cuales generalmente se presentan en trazas y ultratrazas. Esta técnica se aplicará para 30 muestras tomadas en filtro de teflón de 47mm

Análisis por Técnica Nuclear para radioisótopos $\delta^{13}C$ y ^{14}C. Análisis por Técnica Nuclear para radioisótopos δ13C y 14C. En la espectrometría de Masas de Relaciones Isotópicas (IRMS) el análisis isotópico es realizado en forma de moléculas gaseosas del tipo CO2, N2, CO, SO2 y H2 las cuales son introducidas en un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas mediante un flujo de Helio (He) como gas portador. Para llevar las moléculas que contienen los isótopos estables a estas especies, es necesario un proceso analítico previo en donde las muestras reaccionan a altas temperaturas y en presencia de catalizadores, con el fin de transformar la materia a analizar en las especies de referencia. Los isótopos son un importante instrumento utilizado para ampliar el análisis espacial y temporal de los procesos climáticos y la comprensión de los cambios climáticos que tuvieron lugar en el pasado encierra la clave para predecir los cambios futuros. Tanto los isótopos radiactivos como los

estables han servido de importante recurso para el estudio de parámetros relacionados con el clima, entre ellos la temperatura del aire de la superficie, la humedad relativa de la atmósfera y la cantidad de precipitación. Esta técnica se aplicará para 40 muestras tomadas en filtro de teflón de 47mm.

La distribución de las muestras para análisis químico, morfológico y biológico en los 18 meses de monitoreo se presenta a continuación:

CONVOCATORIA SGR - PROYECCIÓN ANÁLISIS QUÍMICO Y BIOLÓGICO

EQUIPO	Tipo de análisis	Técnica de análisis	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Mes 19	Mes 20	Mes 21	Mes 22	Mes 23	Mes 24	Mes 25	TOTAL POR ANÁLISIS
				Periodo episodios ambientales					Periodo inestabilidad atmosférica			Periodo episodio ambientales				Periodo episodios ambientales			Periodo inestabilidad atmosférica		
EQUIPO 1 LOW-VOL	Químico	Análisis Activación neutrónica		10					5			5				10					30
	Morfología	SEM -EDS		8					3			3				10					24
	Óxidos y Sales	XRD		8					3			3				10					24
EQUIPO 2 LOW-VOL	Metales	XRF		20					10			10				30					70
EQUIPO 3 LOW-VOL	^{12}C y ^{13}C	Espectrometría de masas de relaciones isotópicas		10					5			5				15					35
EQUIPO 1 HI-VOL	Metales (fracción muestra)	ICP-MS		20					9			9				30					68
	Iones (fracción muestra)	Cromatografía Iónica		20					9			9				30					68
	HAPs Particulado (fracción muestra)	Cromatografía gases acoplada a espectometría masas		20					9			9				30					68
	OC-EC (fracción muestra)	NIOSH-5040		20					9			9				30					68
EQUIPO 2 HI-VOL	Ión Amonio (fracción muestra)	Cromatografía Iónica		20					9			9				30					68
	Solubles e insolubles (fracción muestra)	Gravimetría		20					9			9				30					68
	Secuenciación Genómica 16S y 18S (fracción muestra)	Illumina		10					5			5				15					35
	Genotóxico y Mutagénico (fracción muestra)	Ensayos en células		2					1			1				2					6

El análisis de las muestras de PM2.5 en los diferentes espectros químicos y biológicos deberán realizarse en diferentes laboratorios especializados a nivel nacional e internacional de acuerdo a cada una de las metodologías planteadas anteriormente. La caracterización química de las muestras PM2.5 debe ser realizada en laboratorios acreditados para garantizar la confiabilidad y validación de los resultados. Debido a que en el país no se cuenta con laboratorios acreditados en las técnicas analíticas requeridas, las muestras deben ser enviadas a laboratorios en el exterior en Buenos Aires Argentina, San Juan Puerto Rico, Nevada EEUU y San José de Costa Rica, de acuerdo a la técnica o técnicas analíticas especializadas realizadas en cada uno de ellos. En el caso de las relaciones isotópicas, el único laboratorio en Colombia que realiza técnicas analíticas nucleares y además se encuentra acreditado en la técnica requerida es el Laboratorio del Servicio Geológico Colombiano, ubicado en la ciudad de Bogotá, donde deben enviarse las muestras para dicho análisis. Se anexan certificados de acreditación de los laboratorios acreditados y ubicados en las ciudades mencionadas.

13.1.2. **Actividad 2:** *Levantamiento de información, análisis y diseño de resultados.*

La Metodología para determinar la mutagenicidad y genotoxicidad del PM2.5 se presenta a continuación:

- **Extracción orgánica e inorgánica de MP2,5**: A los filtros con PM2,5 se les hace extracción orgánica e la inorgánica ambos asistidos con microondas (microwave-assisted extraction USEPA Method 3546; Palacio et al 2016) o por ultrasonicación, los extractos obtenidos se llevarán a sequedad con flujo de nitrógeno y se resuspenderán en dimetilsulfóxido para los ensayos biológicos. De otra parte, la partícula total se resuspenderá en medio acuosos para ser evaluada en los ensayos biológicos.

- **Mutagencidad de PM2,5 con el test de Ames (*Salmonella*microsoma):** La actividad mutagénica de las tres fracciones de PM2,5 (partícula completa, fracción orgánica e inorgánica), se evaluarán por medio del test de Ames usando cepas de *Salmonella typhimurium* auxótrofas para histidina (no crecen en ausencia de histidina. Se han desarrollado diferentes linajes bacterianos que poseen diferente grado de sensibilidad según el tipo de mutágenos a los que sean expuestas. Además, el efecto mutagénico se evaluará en presencia y ausencia de enzimas de metabolización de xenobióticos (oxigenasas P450 (CYP) contenidas en la fracción microsomal (S-9) de hígado de rata macho (Moltox, Molecular Toxicology, Inc) a una concentración del 5%. Los linajes celulares elegidos se usarán solo después de verificar la presencia de marcas específicas para cada una de las cepas, según las recomendaciones descritas por el proveedor.

Se implementará el método de Kado. Brevemente, se incuban las bacterias con la muestra problema con o sin la mezcla S9 por 90 minutos, luego se adiciona el top agar y después de homogenizar toda la mezcla, se servirá sobre cajas de petri que contienen medio mínimo. Después 72 horas de incubación a 37ºC, las colonias de mutantes se cuentan, los resultados se comparan con el control negativo o el blanco. Se usarán las cepas de *Salmonella typhimurium* TA98 sensible a compuestos aromáticos en general y YG1041 con alta sensibilidad a nitroaromáticos y aminas heterocíclicas. Se analizarán 6 concentraciones de cada pool de filtros de MP2,5 en dos experimentos independientes cada uno con cuatro 4 réplicas técnicas analizando en paralelos controles negativos y positivos para cada condición y cepa usada.

Se comparan los tratamientos de cada concentración probada con el respectivo control negativo y las muestras que presenten efecto concentración respuesta y Anova significativa ($p<0,05$), son indicativo de que hay compuestos capaces de inducir mutaciones en el ADN. Se realiza análisis de regresión lineal para calcular la concentración mínima efectiva (MEC2) que indica la concentración que duplica las revertantes del control negativo y se expresa en µg/µL o m^3 MP2.5. Entre más bajo el valor de MEC2, más mutagénica es la muestra probada.

13.1.3 **Actividad 3:** *Diseño y ejecución de talleres con grupos sociales y poblacionales vulnerables.*

La metodología aplicada es Magistral y participativa, alternando entre los componente técnicos insumos teóricos y prácticos para facilitar la comprensión y el trabajo en grupos, y dinámicas en especial para poblacionales vulnerables.

Es de resaltar la elaboración de una metodología participativa, en modalidad de Taller de la siguiente manera:

- A cada asistente se le entrega una hoja en la cual representará mediante un dibujo o

esquema, el concepto de lo que simboliza para él la movilidad, como una idea personal que contribuya a generar soluciones a la problemática de la calidad del aire. Esto lo ilustra cada persona en su hoja con algún esquema o dibujo sencillo y con unas palabras descriptivas o nombres.

- Luego las personas se reúnen en grupos de tres o cuatro integrantes, para socializar las propuestas. Cada participante comenta su idea ilustrada y los demás miembros del grupo, le escuchan, interpretan y apropian el mensaje del compañero mediante una frase y un dibujo propio que plasme lo percibido. Este ejercicio se repite para cada participante. De esta manera finalmente todos los integrantes tiene la oportunidad de comentan sus ideas y propuestas de solución a las dificultades de la movilidad en la región.

Como metodología para llegar a un consenso de las ideas aportadas por toda la población objeto de la capacitación, todos los ejercicios se exponen en un área libre, para que todos los asistentes asimilen la idea colectiva del tema tratado y se dé lugar a un dialogo colectivo.

La metodología de la participación creativa, es decir, aquella en la cual los participantes aportan sus ideas de manera creativa y las comparten con otras personas, luego de recibir una introducción básica a un tema, es efectiva y puede generar cambios en el comportamiento y en la cultura de las personas, en comparación con el método tradicional de dar una charla magistral. Hay que señalar que se ha trabajado con grupos que presentan cierta complejidad por sus tamaños y por su diversidad educativa y cultural. Con esta metodología se logra una nivelación de las personas y un sentido de participación que es novedoso para ellas. Se estimulan mecanismos de escucha activa, esenciales para las buenas comunicaciones y se generan posibilidades de autoestima y de creatividad.

Los tres (3) Talleres de socialización programados tendrán acompañamiento logístico, refrigerios y el personal de apoyo y comunicadores estarán presentes para mantener la mayor dinámica y actividad participativa de los asistentes garantizando que los avances y resultados del programa Salud y Calidad del aire, sean asimilados por los asistentes y se aporte a gestión social del conocimiento

13.1.4 **Actividad 4:** *Socialización de resultados sobre la calidad del aire y efectos en la salud*

La metodología para socialización y circulación del conocimiento incorporado en los resultados entre actores y comunidad académica en diferentes eventos especializados a nivel nacional e internacional, partirá del diseño de una estrategia de transferencia de resultados es magistral y participativa, alternando con nuevas tecnologías y los nuevos modelos de presentación que permitan evolucionar los contenidos y las divulgaciones científicas entorno a los resultados de investigación, creando conceptos de presentaciones simples enfocadas en la interactividad del usuario con el expositor, exponiendo modelos de atención enfocados en el neuromarketing donde las personas o usuarios necesitan procesar imágenes sencillas pero llenas de mensajes, junto a la locución de quien expone.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de divulgar la información científica de una manera simple de discernir, con mensaje directos, presentaciones y ayudas visuales de ideas concisas, datos concretos, gráficos e imágenes interactivas, de fácil recordación y compresión del usuario. A continuación, se presenta una información básica:
Presentaciones en múltiples formatos como:

- ✓ Widescreen HD (formato 16:9): 1920×1080 (alta res.)
- ✓ Widescreen HD (formato 16:9): 1280×720 (baja res.)
- ✓ Squarescreen (formato 4:3): 1024×768 (alta res.)
- ✓ Squarescreen (formato 4:3): 800×600 (baja res.)

La metodología que se propone está fundamentada en estrategias de participación colectiva, teniendo en cuenta la estructura de los contenidos que se convierten en elementos de conectividad y acceso de información relacionada con la Calidad del aire y el mejoramiento de combustibles.

A partir de las estrategias diseñadas se llevará la circulación del conocimiento especializado en eventos científicos sobre la temática calidad del aire y salud a nivel nacional e internacional abordando los últimos adelantos técnicos y científicos en las problemáticas relacionadas con la caracterización de contaminantes y los efectos en la salud de la población.

En este marco de este objetivo se planeó para el 2022 la asistencia de dos (2) investigadores del proyecto al evento internacional "Trigésima Cuarta Conferencia de la Sociedad Internacional de Epidemiología Ambiental en Atenas, Grecia, incluyendo en el presupuesto los gastos de viaje, alojamiento y alimentación con una contrapartida de la UdeA del 36% de. Esta participación es fundamental dado que es el evento académico de mayor importancia de epidemiología ambiental y del estudio de calidad del aire y salud a nivel mundial. En éste se reunirán científicos y profesionales de la academia, gobiernos, industria y organizaciones no gubernamentales dedicadas a la protección de la salud y el medio ambiente, y será un espacio para conocer y reconocer los actores que trabajan de forma activa en el tema y nutrirnos de su experiencia. Además, se realizará la sesión del capítulo Latinoamericano de la Sociedad Internacional de Epidemiologia Ambiental, en el que se harán intercambios con actores académicos regionales de la mayor importancia que permitirá reforzar la producción de estudios sobre el tema en nuestra región. Esta sesión es organizada por la Organización Panamericana de la Salud, actor fundamental para el impulso y consolidación de la salud ambiental en la región y el fortalecimiento de capacidades de investigación en las instituciones de educación superior de la región. Este espacio es muy adecuado para estrechar lazos con esta y otras instituciones.

Otro evento internacional planeado para la divulgación de los resultados International Conference on Air Quality - Science and Application http://www.airqualityconference.org, el cual se realiza en Europa en diferentes ciudades. El evento es un espacio de Encuentro de los principales científicos del mundo con el objetivo de analizar los principales avances en la evaluación y control de la calidad del aire y los mayores retos para reducir los efectos en la salud de las personas altamente afectada por el cáncer de pulmón, isquemias pulmonares y enfermedades asociadas. De acuerdo con los resultados del proyecto al 2022, se ha programado la asistencia la asistencia de un (1) investigadores a la International Conference on Air Quality - Science and Application 2022 proyectada como sede en Centro de Investigación en Física Atmosférica y Climática (CACP) Universidad de Hertfordshire College Lane, Hatfield, AL10 9AB, Reino Unido, aunque debe tenerse en cuenta que por las condiciones de la pandemia del COVID 19, podría sufrir cambios, lo cual está por fuera de control de los investigadores que escribimos el presente proyecto.. Los costos estimados se aplicarían para cubrir los gastos de viaje, alojamiento y alimentación para la ciudad donde se realice en caso de modificación para el investigador asistente.

A nivel nacional los resultados sobre análisis ambiental, meteorológicos, satelitales análisis

de salud y microbiología derivados del proyecto serán presentados en el 2022 en el Congreso Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública – CASAP 2022 planeado para la ciudad de Bogotá. Dos (2) investigadores serán ponentes en este evento garantizando su asistencia con los costos de viajes, transporte y alimentación.

En la ciudad de Bucaramanga se realiza analmente el Encuentro de Investigadores en la temática Salud, Cambio Climático, y Calidad del aire y temáticas asociadas en la Universidad industrial de Santander UIS y dada su importancia se ha programado la participación de dos (2) investigadores de las temáticas caracterización química del PM2.5 y epidemiología ambiental para presentar los avances del programa Calidad del aire y Salud a la comunidad de investigadores asistentes.

Para calcular el valor de los viáticos del personal en el Proyecto financiado por el SGR se tomó como base el acto administrativo de viáticos del PCJIC 201906000012. Para los viáticos de contrapartida de la Universidad de Antioquia se tomó como base el Acuerdo Superior 401 del 29 de mayo del 2012.

13.1.5 **Actividad 5:** *Seguimiento administrativo.*

En el marco del seguimiento administrativo y financiero se incluyen actividades de coordinación, planificación, organización y ejecución siendo el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid en su rol de ejecutor, el responsable de dicho seguimiento.

El proyecto contará con un plan operativo el cual describirá las responsabilidades sobre la ejecución de las actividades técnico-científicas y su relación con el cumplimiento de los objetivos del proyecto y resultados esperados en el proyecto “PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD EN EL VALLE DE ABURRÁ de acuerdo con el Modelo de gobernanza firmado por la universidad de Antioquia y el Politécnico Colombiano Jaime Isaza como ejecutor. Para realizar seguimiento se harán reuniones permanentes con los coordinadores y responsables de la actividad y se vigilará el cumplimiento del cronograma propuesto, incluyendo los ingresos de dinero y las ejecuciones financieras correspondientes.

Para la ejecución financiera, se seguirán los procesos administrativos establecidos por la entidad ejecutora y los pagos correspondientes a los proveedores y contratistas, se realizará luego de verificar el cumplimiento de las entregas de productos y actividades correspondientes al período de pago. En caso de que los productos y las actividades no se ajusten a las expectativas predefinidas para el período en cuestión, se realizan las correcciones y modificaciones necesarias y se toman decisiones y acciones pertinentes para mejorar continuamente el desarrollo de los procesos.

El Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid a su vez, establecerá un control y contacto programado con la Universidad de Antioquia para el cumplimiento de los compromisos asumidos en el modelo de gobernanza.

La información derivada del estudio será diseñada de acuerdo con las normas técnicas establecidas por el Sistema Integrado de Gestión del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, con el fin de lograr el aseguramiento y control de calidad de los datos requeridos

en los diferentes estadios del proyecto.

Esta metodología regirá para cada una de las actividades correspondientes a los cuatro (4) objetivos que conllevarán cumplimiento del objetivo general y proyección de los impactos a los beneficiarios del Programa en Salud y calidad del aire

13.1.6 Actividad 6: *Apoyo a la supervisión*

El apoyo a la supervisión se regirá por el artículo 83 de la ley 1474 de 2011 para el apoyo al seguimiento técnico, administrativo, financiero, contable, y jurídico del cumplimiento de los objetivos del proyecto, la cual será realizada por la entidad ejecutora con el propósito de ayudar al cumplimiento de plazo, calidad, ejecución de recursos y control de riesgos de los contratos requeridos.

Se tendrá especial atención a la verificación del cumplimiento de las actividades correspondientes al período de pago de los servicios recibidos, de acuerdo con los estudios previos según entregas de productos oportunos y de la calidad requerida. Los planes de mejoramiento, acciones correctivas y preventivas del Sistema de Gestión de calidad, serán las herramientas de intervención y mejora de los productos y las actividades no se ajusten a las expectativas predefinidas para el período en cuestión. De ser necesario se tomarán las decisiones y acciones pertinentes para mejorar continuamente el desarrollo de los procesos y cumplimiento los términos de los contratos con el debido acompañamiento de las unidades administrativas y de control de la Entidad Ejecutora.

La aprobación de los informes de avance y finales estarán bajo la responsabilidad del director del proyecto quién a su vez, se acompañará del profesional de apoyo a la supervisión para la verificación del cumplimiento técnico, administrativo, financiero, contable, y jurídico del cumplimiento de los objetivos del proyecto a la fecha de corte establecida.

El profesional de apoyo a la supervisión estará de manera permanente a cargo del control de los indicadores de productos, siempre bajo los lineamientos y control de la dirección del proyecto.

13.2 Metodología Objetivo 2: *Determinar la asociación entre la morbilidad y la mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares y los cambios en el tiempo del PM2.5.*

13.2.1 Actividad 1: *Validación de un índice ambiental y exposición a PM2.5.*

Se construirá y validará un índice ambiental, que combine en una sola medida las variables que conforman los dominios referidos (composición química de PM2.5 caracterizado cada 3 días). Para las variables cualitativas se utilizará el procedimiento de cuantificación óptima, que asigna valores numéricos a las categorías de modo que maximiza la relación entre las observaciones y el modelo de análisis usado, en este caso el análisis de componentes principales, respetando el carácter de medición de los datos. Una vez unificada la métrica de las variables se procede a encontrar el peso que cada uno de los objetos de valor tiene sobre el estándar total. Así se obtendrán dominios conformados por variables cuyos puntajes se estandarizarán de tal modo que los indicadores tomen valores entre 0 y 100. A partir de los resultados de la cuantificación de las variables, se utilizará un análisis de componentes principales PRINQUAL vía método de máxima varianza total sobre la primera componente principal. Para la validación del índice se valorará la conveniencia de elegir el modelo que

proporcionó la serie base como definitivo, vía criterio de Akaike.

13.2.2 **Actividad 2:** *Análisis de eventos centinelas asociados a la contaminación.*
Se contempla un análisis ecológico de series de tiempo a partir de fuentes secundarias, éste es uno de los diseños de estudio menos complejos y que con mayor frecuencia se emplean en la determinación de la situación de salud de una población. Su unidad de observación son los grupos o poblaciones, más que los individuos por separado, en diferentes áreas geográficas o diferentes períodos de tiempo en una misma área, a partir de las cuales se comparan las frecuencias de enfermedad y algunas otras características del grupo.

En este estudio se realizará el conteo de atenciones prestadas en los servicios de salud de la ciudad Medellín y las defunciones ocurridas en la zona de estudio a partir de los Registro Individuales de Prestación de Servicios de Salud (RIPS) y el Registro Único de Afiliados-RUAF Módulo Nacimientos, Defunciones y Registros del DANE. LA población de análisis será la población de la ciudad de Medellín y la unidad de análisis estará constituida por cada registro que contenga los datos de morbilidad y mortalidad que comparten la misma fecha de ocurrencia y cuyo diagnóstico principal hace parte del listado de eventos centinela relacionados con el registro de los componentes químicos de PM2.5.

Los eventos centinela que se analizaran en la investigación serán:

Eventos centinela agudos, asociados a la exposición de corta duración

N°	Grupo diagnóstico	Código CIE10	Descripción
1	Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores (J00–J06)	J00X	Rinofaringitis aguda (resfriado común)
		J010	Sinusitis maxilar aguda
		J011	Sinusitis frontal aguda
		J012	Sinusitis etmoidal aguda
		J013	Sinusitis esfenoidal aguda
		J014	Pansinusitis aguda
		J018	Otras sinusitis agudas
		J019	Sinusitis aguda, no especificada
		J020	Faringitis estreptocócica
		J028	Faringitis aguda debida a otros microorganismos especificados
		J029	Faringitis aguda, no especificada
		J030	Amigdalitis estreptocócica
		J038	Amigdalitis aguda debida a otros microorganismos especificados
		J039	Amigdalitis aguda, no especificada
		J040	Laringitis aguda
		J041	Traqueítis aguda
		J042	Laringotraqueitis aguda
		J050	Laringitis obstructiva, aguda [crup]
		J051	Epiglotitis aguda
		J060	Laringofaringitis aguda
		J068	Otras infecciones agudas de sitios múltiples de las vías respiratorias superiores
		J069	Infección aguda de las vías respiratorias superiores, no especificada
2	Influenza [gripe] y neumonía (J09–J18)	J100	Influenza con neumonía, debida a virus de la influenza identificado
		J101	Influenza con otras manifestaciones respiratorias, debida a virus de la influenza identificado
		J108	Influenza, con otras manifestaciones, debida a virus de la influenza identificado
		J110	Influenza con neumonía, virus no identificado
		J111	Influenza con otras manifestaciones respiratorias, virus no identificado
		J118	Influenza con otras manifestaciones, virus no identificado
		J120	Neumonía debida a adenovirus
		J121	Neumonía debida a virus sincitial respiratorio
		J122	Neumonía debida a virus parainfluenza
		J128	Neumonía debida a otros virus
		J129	Neumonía viral, no especificada
		J13X	Neumonía debida a streptococcus pNeumoníae
		J14X	Neumonía debida a haemophilus influenzae

N°	Grupo diagnóstico	Código CIE10	Descripción
		J150	Neumonía debida a klebsiella pNeumoníae
		J151	Neumonía debida a pseudomonas
		J152	Neumonía debida a estafilococos
		J153	Neumonía debida a estreptococos del grupo b
		J154	Neumonía debida a otros estreptococos
		J155	Neumonía debida a escherichia coli
		J156	Neumonía debida a otras bacterias aerobicas gramnegativas
		J157	Neumonía debida a mycoplasma pNeumoníae
		J158	Otras Neumonías bacterianas
		J159	Neumonía bacteriana, no especificada
		J160	Neumonía debida a clamidias
		J168	Neumonía debida a otros microorganismos infecciosos especificados
		J170	Neumonía en enfermedades bacterianas clasificadas en otra parte
		J171	Neumonía en enfermedades virales clasificadas en otra parte
		J172	Neumonía en micosis
		J178	Neumonía en otras enfermedades clasificadas en otra parte
		J180	BroncoNeumonía, no especificada
		J181	Neumonía lobar, no especificada
		J182	Neumonía hipostatica, no especificada
		J188	Otras Neumonías, de microorganismo no especificado
		J189	Neumonía, no especificada
3	Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores (J30–J39)	J302	Otra rinitis alérgica estacional
		J303	Otras rinitis alérgicas
		J304	Rinitis alérgica, no especificada
		J200	Bronquitis aguda debida a mycoplasma pNeumoníae
4	Otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (J20–J22)	J201	Bronquitis aguda debida a haemophilus influenzae
		J202	Bronquitis aguda debida a estreptococos
		J203	Bronquitis aguda debida a virus coxsackie
		J204	Bronquitis aguda debida a virus parainfluenza
		J205	Bronquitis aguda debida a virus sincitial respiratorio
		J206	Bronquitis aguda debida a rinovirus
		J207	Bronquitis aguda debida a virus echo
		J208	Bronquitis aguda debida a otros microorganismos especificados
		J209	Bronquitis aguda, no especificada
		J210	Bronquiolitis aguda debida a virus sincitial respiratorio

N°	Grupo diagnóstico	Código CIE10	Descripción
		J218	Bronquiolitis aguda debida a otros microorganismos especificados
		J219	Bronquiolitis aguda, no especificada
		J22X	Infeccion aguda no especificada de las vias respiratorias inferiores
5	Enfermedades del oído medio y de la mastoides (H65–H75)	H650	Bronquiolitis aguda debida a otros microorganismos especificados
		H660	Bronquiolitis aguda, no especificada
		H669	Infeccion aguda no especificada de las vias respiratorias inferiores
6	Enfermedades cerebrovasculares (I60–I69)	I610	Hemorragia intracerebral en hemisferio, subcortical
		I611	Hemorragia intracerebral en hemisferio, cortical
		I612	Hemorragia intracerebral en hemisferio, no especificada
		I613	Hemorragia intraencefalica en tallo cerebral
		I614	Hemorragia intraencefalica en cerebelo
		I615	Hemorragia intraencefalica, intraventricular
		I616	Hemorragia intraencefalica de localizaciones múltiples
		I618	Otras hemorragias intraencefalicas
		I619	Hemorragia intraencefalica, no especificada
		I620	Hemorragia subdural (aguda) (no traumática)
		I621	Hemorragia extradural no traumatica
		I629	Hemorragia intracraneal (no traumática), no especificada
		I630	Infarto cerebral debido a trombosis de arterias pre cerebrales
		I631	Infarto cerebral debido a embolia de arterias pre cerebrales
		I632	Infarto cerebral debido a oclusión o estenosis no especificada de arterias pre cerebrales
		I633	Infarto cerebral debido a trombosis de arterias cerebrales
		I634	Infarto cerebral debido a embolia de arterias cerebrales
		I635	Infarto cerebral debido a oclusión o estenosis no especificada de arterias cerebrales
		I636	Infarto cerebral debido a trombosis de venas cerebrales, no piógeno
		I638	Otros infartos cerebrales
		I639	Infarto cerebral, no especificado
		I64X	Accidente vascular encefálico agudo, no especificado como hemorrágico o isquémico
		I678	Otras enfermedades cerebrovasculares especificadas
7	Enfermedades isquémicas del corazón (I20–I25)	I20	Angina de pecho
		I219	Infarto agudo de miocardio, sin otra especificación
		I249	Enfermedad isquémica aguda del corazón, no especificada
8	Otras formas de cardiopatía (I30-I52)	I44	Bloqueo de la rama izquierda y bloqueo atrioventricular
		I45	Otros trastornos de conducción
		I46	Parada cardiorrespiratoria
		I47	Taquicardia paroximal
		I48	Fibrilación atrial y pálpitos
		I49	Otras arritmias cardíacas
		I500	Insuficiencia cardiaca congestiva

Plan de Análisis:

El análisis se soportará en Modelos Aditivos Generalizaos (GAM) de regresión de Poisson para Medellín para cada evento centinela a modelar en salud considerados, con ajuste con covariables de temperatura, precipitación y humedad relativa; en dichos ajustes también se incorporarán cofactores como día de la semana, días de brote y días feriados, con diferentes grados de libertad para evaluar el aporte de cada una de ellas a la explicación del modelo. Posteriormente se descartaron aquellas variables que el modelo consideraba poco significativos para la explicación del desenlace.

Las covariables serán objeto de tratamiento no lineal a partir de su suavización con splines naturales, tipo “Thin plate”. Debido a que la medición de los componentes químicos de PM2.5 se realizará cada tres días, su análisis bajo modelo de contaminante único se llevará a cabo para efectos del mismo día, es decir sin ningún tipo de rezagos; la medición cada tres días de los componentes químicos no permite la estimación de modelos de rezagos distribuidos. El resultado de interés se expresará en términos de variación porcentual del evento de interés frente a cambios unitarios o aumento en el rango intercuartil de los componentes químicos, con los correspondientes intervalos de confianza del 95%.

Los modelos explicativos definitivos se eligieron utilizando el criterio de información de Akaike, el cual sugiere que se elija aquel cuya puntuación sea más baja. Dado el análisis previo del comportamiento del desenlace con cada una de las co-variables y de la opinión de expertos, se decidió rezagar la exposición de interés (el valor de los contaminantes), de 0 hasta 3 días y de 0 hasta 15 días después de ocurrida la exposición, cuando el desenlace fueron los casos de enfermedad, en el caso de las muertes de cero hasta 3 días y de 0 hasta 7 días después de ocurrida la exposición.

13.2.3 Actividad 3: *Estructuración de la cohorte para la evaluación de los impactos en salud.*

Para establecer los impactos en salud asociados a los perfiles químicos de PM2.5 se utilizará también una estrategia basada en fuentes primarias, en la que se gestionará una cohorte de habitantes del municipio de Medellín que viene participando en un estudio de cohorte de un proyecto sobre contaminación y efectos cardiovasculares y respiratorios que viene realizando la Universidad de Antioquia desde inicios de 2019. Este estudio realizó un muestro probabilístico de múltiples etapas (zona de la ciudad- manzanas- viviendas- individuos) en el que se seleccionaron 2000 personas asintomáticos en el momento del ingreso. A cada individuo se preguntará por datos demográficos, laborales, de estilos de vida, características socioeconómicas de la familia, antecedentes patológicos y familiares, auto- reporte de síntomas, estado funcional y pruebas de función pulmonar.

13.2.4 Actividad 4: *Seguimiento clínico a la cohorte.*

A cada individuo se le realizará una visita de seguimiento cada 6meses en la que se indagará auto-reporte de síntomas, la consulta a servicios de salud, además se revisará la historia clínica de atención A ellos se les actualizará el correspondiente consentimiento informado el cual fue avalado nuevamente y para este estudio por el comité de ética de la Facultad Nacional de Salud Pública UdeA.

El conteo diario de los eventos en salud se realizará a partir de la revisión de las historias clínicas de los participantes, y un seguimiento clínico de 6 meses por 18 meses. Se realizará

un análisis riesgos proporcionales de Cox, el cual permitirá estimar las razones de riesgo (HR) con sus respectivos intervalos de confianza del 95%. Se examinará cada componente químico con un modelo de regresión ajustado por las siguientes covariables: sexo, edad, nivel de educación, consumo de tabaco, consumo de alcohol y actividad física entre otros.

Además del seguimiento de eventos agudos, en esta estrategia se podrá avanzar en el análisis de eventos crónicos teniendo como base la construcción y validación de un índice ambiental que robusto que exprese la exposición en unidades temporales mensuales y anuales. Los eventos crónicos que se estudiaran en la cohorte serán:

Eventos centinela cónicos, asociados a la exposición de larga duración

N°	Grupo diagnóstico	Código CIE10	Descripción
1	Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores (J40–J47)	J40X	Bronquitis crónica simple
		J410	Bronquitis crónica mucopurulenta
		J411	Bronquitis crónica mixta simple y mucopurulenta
		J418	Bronquitis crónica no especificada
		J42X	Enfisema panlobular
		J431	Enfisema panacinar
		J432	Enfisema centro lobular
		J438	Otros tipos de enfisema
		J439	Enfisema, no especificado
		J440	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica con infección aguda de las vías respiratorias inferiores
		J441	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica con exacerbación
		J448	Otras enfermedades pulmonares obstructivas crónicas especificadas
		J449	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
		J450	Asma predominantemente alérgica
		J451	Asma no alérgica Asma: • idiosincrásica • intrínseca no alérgica
		J458	Asma mixta/ Combinación de condiciones enumeradas en J45.0 y J45.1
		J459	Asma, no especificada
		J46X	Estado asmático Asma aguda severa
2	Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores (J30–J39)	J310	Rinitis crónica
		J311	Rinofaringitis crónica
		J312	Faringitis crónica/Angina crónica
		J320	Sinusitis maxilar crónica
		J321	Sinusitis frontal crónica /Sinusitis frontal SAI
		J322	Sinusitis etmoidal crónica Sinusitis etmoidal SAI
		J323	Sinusitis esfenoidal crónica Sinusitis esfenoidal SAI
		J324	Pansinusitis crónica Pansinusitis SAI
		J328	Otras sinusitis crónicas
		J329	Sinusitis crónica, no especificada Sinusitis crónica SAI
		J370	Laringitis crónica Laringitis: • catarral • hipertrófica • seca
		J371	Laringotraqueitis crónica
3	Tumores [neoplasias] in situ (D00–D09)	D020	Carcinoma in situ de la laringe
		D021	Carcinoma in situ de la tráquea
		D022	Carcinoma in situ del sistema respiratorio y del oído medio
		D023	Carcinoma in situ de otras partes del sistema respiratorio
		D024	Carcinoma in situ de órganos respiratorios no especificados

N°	Grupo diagnóstico	Código CIE10	Descripción
4	Tumores malignos de los órganos respiratorios e intratorácicos (C30–C39)	C320	Tumor maligno de la glotis
		C321	Tumor maligno de la región supraglótica
		C322	Tumor maligno de la región subglótica
		C323	Tumor maligno del cartílago laríngeo
		C328	Lesión de sitios contiguos de la laringe
		C329	Tumor maligno de la laringe, parte no especificada
		C33X	Tumor maligno de la tráquea
		C340	Tumor maligno del bronquio principal, carina, hilio (pulmonar)
		C341	Tumor maligno del lóbulo superior, bronquio o pulmón
		C342	Tumor maligno del lóbulo medio, bronquio o pulmón
		C343	Tumor maligno del lóbulo inferior, bronquio o pulmón
		C348	Lesión de sitios contiguos de los bronquios y del pulmón
		C349	Tumor maligno de los bronquios o del pulmón, parte no especificada
		C380	Tumor maligno del corazón, pericardio
		C381	Tumor maligno del mediastino anterior
		C382	Tumor maligno del mediastino posterior
		C383	Tumor maligno del mediastino, parte no especificada
		C384	Tumor maligno de la pleura
		C388	Lesión de sitios contiguos del corazón, mediastino y la pleura
		C390	Tumor maligno de otros sitios y de los mal definidos del sistema respiratorio y de los órganos intratorácicos
		C398	Tumor maligno de otros sitios y de los mal definidos del sistema respiratorio y de los órganos intratorácicos
		C399	Tumor maligno de sitios mal definidos del sistema respiratorio

***13.2.5* Actividad 5:** *Gestión de la información en salud y evaluación de las medidas*

Para asegurar la adecuada gestión y tratamiento de la información se construirán acuerdos de confidencialidad con las distintas instituciones garantes de la información con el compromiso de mantener los datos entregados bajo reserva. Estos acuerdo harán énfasis en los datos de los RIPS, que reposan en los archivos de usuario de los servicios de salud, de consulta, de procedimientos, de hospitalización, de urgencias, de recién nacidos, de medicamentos, y las fichas clínico epidemiológicas de infección respiratoria aguda (IRA) del Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SIVIGILA) del municipios de Medellín.

A continuación, se describen las fuentes de los datos de morbilidad, mortalidad y los correspondientes a los contaminantes y condiciones meteorológicas, provenientes de la red de monitoreo del AMVA e IDEAM.

Atenciones en servicios de salud: Se utilizarán la base de datos de casos diarios observados de eventos centinela de morbilidad en el periodo 2018-2022 en el municipio de Medellín. Esta base de datos consigna los casos de eventos centinela distinguidos en eventos relacionados

con enfermedades respiratorias agudas, enfermedades circulatorias y otras enfermedades. Los casos fueron identificados en los Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud (RIPS).

Registros de defunciones: Se utilizará la base de datos de defunciones diarias por eventos centinela de mortalidad ocurrida en el periodo 2018-2022 en Medellín que se encuentre disponible para el análisis, teniendo en cuenta el rezago en los datos de alrededor de una año. Ésta será construida mediante consulta OLAP (procesamiento analítico en línea / On-Line Analytical Processing) efectuada al cubo de estadísticas vitales del Sistema Integral de Información de la Protección Social (SISPRO). En un modelo de datos OLAP la información es visualizada como un cubo, el cual se compone de categorías descriptivas (dimensiones) y valores cuantitativos (medidas). Este modelo de datos multidimensional simplifica a los usuarios formular consultas complejas, arreglar datos en un reporte, cambiar de datos resumidos a uno más detallado, o filtrar los datos en conjuntos significativos (Ministerio de salud y la protección social SISPRO)[93].

Concentraciones de contaminantes y datos meteorológicos: Se utilizarán los registros de mediciones de contaminantes y variables meteorológicas disponibles en el Sistema Inteligente de Información para el manejo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Dichas consultas serán descargadas en formato delimitado por coma (.csv), considerando cada municipio y estación que registró la medición.

Las informaciones de concentraciones diarias de $PM_{2.5}$, serán objeto de imputaciones de valores faltantes y se busca obtener una única medición para el municipio de cada unidad temporal analizada.

13.2.6 Actividad 6: *Seguimiento administrativo*

La metodología aplicada estará acorde con los requerimientos de planificación, organización, supervisión y control presentados de manera general en la metodología del Objetivo 1 actividad 5, de tal manera que se garantice la determinación de la asociación entre la morbilidad y la mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares y los cambios en el tiempo de las características físicas, químicas y biológicas del PM2.5, que se evidenciará en la preparación y publicación de los artículos de investigación

13.2.7 Actividad 7: *Apoyo a la supervisión*

Igualmente el apoyo a la supervisión se regirá por el artículo 83 de la ley 1474 de 2011 para el apoyo al seguimiento técnico, administrativo, financiero, contable, y jurídico del cumplimiento de la determinación de la asociación entre la morbilidad y la mortalidad por eventos respiratorios y controlar el cumplimiento de plazo, calidad, ejecución de recursos y control de riesgos de los contratos establecidos con cargo a este objetivo.

13.3 Metodología Objetivo 3: *Diseñar un metamodelo integrado de soluciones analíticas y de minería de datos entre las características del PM2.5 y los eventos en salud para el Valle de Aburrá.*

13.3.1 Actividad 1: *Diseño e Implementación de una bodega de datos PM2.5 y efectos*

en salud

Las etapas para plantear y desarrollar proyectos que contemplen bodegas de datos se ejecutara con base en los lineamientos de los estándares internacionales Kimball Lifecycle Methodology del Kimball Group Core Concepts son:

Etapa 1: Fase de requerimientos o Exploración
Definición de los procesos (BPMN) y objetivos del sistema de información.
Definición de las necesidades de información y oportunidades de mejoramiento
Definición de la información disponible en las entidades ambientales y de salud (Glosario de fuentes y de bases de datos)
Elaboración del diagrama conceptual de la información y sus relaciones con sus dependencias.

Etapa 2: Fase de Análisis y Diseño
Análisis de las fuentes de datos y definición de las reglas del negocio que rigen la información, caracterización de las fuentes.
Diseño de un modelo lógico de las fuentes de información.
Diseño de un modelo físico de las fuentes de información.
Diseño de los procesos de ETL (extracción, transformación y carga (load)) que deben ser implementados para integrar la información.

Etapa 3: Construcción e Integración de Datos
Diseño del modelo físico de la información integrada.
Implementación incremental del modelo físico en un sistema de gestión de bases de datos.
Definición e implementación incremental de las dimensiones necesarias acordes a los procesos del negocio.
Implementación incremental de los procesos de ETL y Calidad de Datos

La idea es generar una base de datos relacional que integre los datos de mediciones de concentraciones de contaminantes, sus características fisicoquímicas y microbiológicas, condiciones meteorológicas y eventos centinela de morbilidad y mortalidad. El proceso de integración de datos se diseñará e implementará conforme a la metodología de minería de datos adoptada en el proyecto.

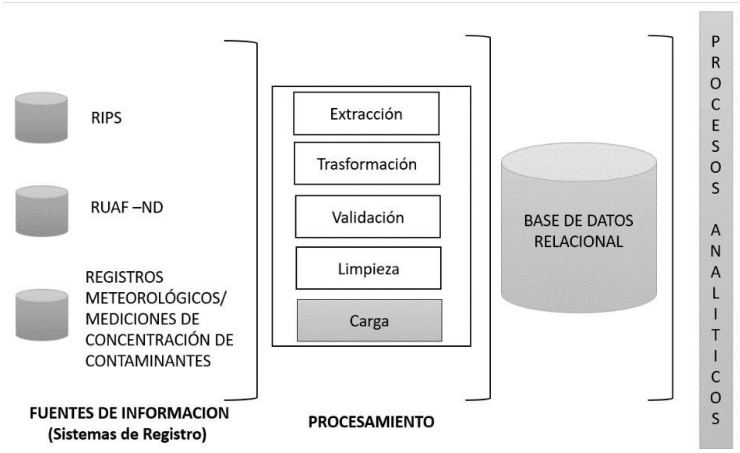


Figura 8. Procesamiento de los datos en su fase de Carga e Integración. Proceso ETL
Fuente: adaptado de Gallardo Arancibia, J. (2009). Metodología para el desarrollo de proyectos en Minería de Datos CRISP-DM

Inicialmente, se efectuará la carga de los datos a la base de datos según fuente de información específica. En el caso de las variables que medían características del aire, se diseñó e implementó un modelo de Entidad-Relación (E-R) que permitirá integrar, inicialmente, todas las mediciones de concentraciones según contaminante y estación. Dicho modelo incluirá para PM2.5 todas las mediciones disponibles en el municipio y sus perfiles fisicoquímico y microbiológicos. Así mismo, según la disponibilidad de datos en cada estación, en el modelo de E-R se incluirán los datos relacionados con variables meteorológicas (tales como: dirección del viento, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, radiación solar, temperatura y velocidad del viento), de manera que sea posible la generar consultas.

Por otro lado, se diseñará e implementará un modelo de E-R que permitía integrar los datos relacionados con los casos observados de eventos centinela de morbilidad identificados. Procedimiento similar fue efectuado para integrar los registros de muertes por eventos centinela ocurridas en cada municipio durante el periodo de estudio.

13.3.2 **Actividad 2:** *Levantamiento de información experimental de eventos de contaminación*

Los modelos de receptores son una solución matemática para cuantificar la contribución de unas fuentes a unas muestras, a partir de la composición de dichas fuentes. A diferencia de los modelos de dispersión y foto-químicos, los modelos receptores no usan emisiones contaminantes, datos meteorológicos y mecanismos de transformación química para estimar la contribución de las fuentes a las concentraciones presentes en el receptor. Para la caracterización de la composición, también conocida como “especiación”, se determina empleando métodos analíticos apropiados para los medios ambientes y las especies clave, o combinaciones de especies que se requieran para separar aportes. Un conjunto de datos especiados, puede ser analizado a través de una matriz X de i por j dimensiones, en la cual i, es el número de muestras y j, las especies químicas medidas; estos datos se acompañan de incertidumbres u. Los modelos receptores resuelven el balance másico químico entre la concentración de especies en el ambiente y el perfil de las fuentes. Los modelos aplican varias técnicas y métodos de análisis: PCA (Principal Components Analysis), CMB(Chemical Mass Balance), PMF (Positive Matrix Factorization), UNMIX (Multi-linear Engine), Lenschow Approach, Backtrajectory Analysis, Constrained Physical Receptor Model and Isotopic Mass Balance. En el caso del modelo receptor multivariado PMF el objetivo es identificar el número de factores p, el perfil de las especies f de cada factor y la cantidad de masa g aportada por cada factor a cada muestra individual que resuelve el balance químico másico entre concentraciones de especies medidas y factor aportanrtes de grupos de fuentes.

En cuanto a la modelación de las retrotrayectorias de eventos de contaminación se usará el Modelo HYSPLIt .Para descargar: https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php , en este enlace se encuentran las opciones de descarga la PC para Windows, Apple, Linux o para usarlo sin descargar con internet. Se debe seleccionar el área interés en este caso el Valle de Aburrá, por medio de un polígono, ingreso de coordenadas o escribir el nombre del sitio del que se requiere la información y se seleccionó los datos meteorológicos de GFS por que cubre el área de interés. Como siguiente paso se debe seleccionar el ciclo de pronóstico meteorológico de acuerdo al archivo que se eligió y la fecha de la que se quiere la información y se deberá seleccionar una trayectoria (para donde se desplazaron los aerosoles que genero el área de interés) o retrotrayectoria (de donde llegaron loso aerosoles que están en el área de interés), en este caso se hará una retrotrayectoria). Los siguientes pasos serán ejecutaos

por secuencias iterativas y verificación de condiciones existentes sobre superficie en la región metropolitana.

13.3.3 Actividad 3: *Diseño y construcción de estructura física del meta-modelo*

El espectro amplio de tareas y técnicas que llevan a entender los requisitos que son necesarios para la implementación del metamodelo requiere el ejercicio de ingeniería de requerimientos. Desde la perspectiva del proceso del software, la ingeniería de requerimientos es una de las acciones importantes de la ingeniería de software que comienza durante la actividad de comunicación y continua en la de modelado. Debe adaptarse a las necesidades del proceso, del proyecto, del producto y de las personas que hacen el trabajo.

La ingeniería de requerimientos, proporciona el mecanismo apropiado para entender lo que necesita el proyecto, analiza las necesidades, evalúa la efectividad, propone soluciones razonables, especifica soluciones sin ambigüedades, valida la especificación y administrar los requerimientos a medida que se transforman en un sistema funcional. Incluye mínimo 7 tareas diferentes: concepción, indagación, elaboración, negociación, especificación, validación y administración. Es importante anotar que algunas de estas tareas ocurren en paralelo y que todas se adaptan a las necesidades del proyecto.

Además se utilizará la metodología BPMN que es una notación gráfica que describe la lógica de los pasos de un proceso de negocio, esta notación ha sido especialmente diseñada para coordinar la secuencia de los procesos y los mensajes que fluyen entre los participantes de las diferentes actividades por lo que proporciona un lenguaje común para que las partes involucradas puedan comunicar los procesos de forma clara, completa y eficiente. De esta forma BPMN define la notación y semántica de un Diagrama de Procesos de Negocio (Business Process Diagram-BPD).

La función del BPMN es crear un mecanismo simple para realizar modelos de procesos de negocio, con todos sus elementos gráficos, y que al mismo tiempo sea posible gestionar la complejidad. El método elegido para manejar estos dos conflictivos requisitos es organizar los aspectos gráficos de la notación en categorías específicas. Las cuatro categorías básicas de elementos son: Objetos de flujo (Eventos, actividades y Gateway-compuertas), Objetos conectores, canales y artefactos.

Modelar en BPMN es importante ya que es un estándar internacional de modelado de procesos aceptado por la comunidad; es independiente de cualquier metodología de modelado de procesos; crea un puente estandarizado para disminuir la brecha entre los procesos de negocio y la implementación de estos y permite modelar los procesos de una manera unificada y estandarizada logrando un mayor entendimiento por parte de las personas de una organización.

13.3.4 Actividad 4: *Gestión de la información en salud y prevención de la contaminación atmosférica.*

Como se describió en la *actividad 5 del objetivo* 2, como parte de la gestión de la información que se utilizará en el proyecto, incluida la que hace parte de la construcción del meta-modelo se obtendrá luego de firmar acuerdos de confidencialidad con las instituciones en los que se acordará los procesos y transformaciones que se deberán hacer a los mismos para asegurar la reserva de datos principalmente para los datos de salud.

La base para definir los indicadores a validar serán las medidas que contribuyan mayormente a la reducción de emisiones, lo cual será decidido en un panel de expertos tras haber revisado el PIGECA y sus indicadores de evaluación. Luego se alimentarán, estimarán y validarán incluyendo trabajo exploratorio.

Para estimar indicadores cualitativos se recolectará la información secundaria (indicadores tipo 2) y datos primarios (tipo 1). Para los indicadores tipo 2 se utilizará información técnica asociada a la calidad del aire y fuentes de emisión disponible en estudios oficiales, redes de monitoreo, artículos, investigaciones, indicadores exitosos en otras regiones, datos del seguimiento y control, y especializados (Red de vigilancia de calidad del aire –REDMCA, Sistema de Alerta Temprana de la Secretaría de Movilidad, SIATA) de sectores públicos y privados.

El levantamiento de información será desde el 2015 cuando se iniciaron las contingencias, aplicándose para estudios nacionales y regionales, luego se dará la alimentación de variables de indicadores y estimación través de relaciones matemáticas o cualitativas. De acuerdo con el tipo de dato encontrado se parametrizará y hará el análisis requerido. El tratamiento de los datos dependerá de sus características.

Para validar indicadores tipo 2 y cualitativos se definirán y utilizarán criterios y requisitos de cada indicador estimado para demostrar la medida de resultados efectivos. Se aplicará la herramienta ATLAS.ti y otros paquetes estadísticos, para el análisis e interpretación de datos.

Técnicas de recolección de información primaria para alimentar indicadores cualitativos (tipo 1) comprenderán el registro estructurado de observación de medidas, entrevistas individuales, cuestionarios con actores claves en la gestión de calidad del aire. Un mínimo de cinco (5) indicadores serán estimados mediante información primaria Los indicadores cuantitativos se estimarán con información numérica de fuentes secundarias oficiales y mediante relaciones matemáticas, luego serán validados.

Se capacitarán auxiliares para levantamiento de datos de campo que serán luego procesados y depurados para estimación y análisis de tendencias. Finalmente se validarán aplicando criterios definidos en panel de expertos, para demostrar la efectividad de las medidas priorizadas. Las técnicas de tratamiento de datos incluyen el análisis estadístico mediante paquetes “openair” project y software libre R.

La validación experimental se hará con el indicador “Aporte de fuentes de PM2.5” estratégico durante episodios y relacionado con diversas medidas e indicadores. Se trabajará la metodología de modelos receptores usando el MCF2,0 partiendo de la caracterización PM2.5 (toma de muestras y análisis químico en la zona de monitoreo habitacional MED BEME explicado previamente), así se obtendrán aportes de fuentes. Una observación de aportes antes y durante la campaña permitirá evaluar temporalmente el comportamiento del indicador, disponiéndose de resultados de campañas caracterización PM2.5 (2018-2019) para la misma zona en el proyecto ONU – ARCAL. Un análisis de cambios en los aportes arrojados por el modelo durante ambos periodos y su relación con medidas implementadas, permitirá validar el indicador como parámetro de evaluación y seguimiento asociado a medidas prioritarias.

13.3.5 **Actividad 5:** *Diseño y desarrollo de algoritmos (estructura lógica).*

Para la construcción de la estructura lógica del meta-modelo comprende un proceso que va desde el almacenamiento de datos y la construcción de cubos OLAP la cual requiere de una

tabla de hechos y varias tablas de dimensiones. Una tabla de hechos, es un esquema dimensional que contiene los valores de las variables utilizadas en el proyecto. Cada medida se toma mediante la intersección de las dimensiones que la definen, dichas dimensiones están reflejadas en sus correspondientes tablas que rodearán la tabla de hechos y estarán relacionadas con ella.

Los datos sobre dimensiones son parámetros de los que dependen otros datos que serán objeto de estudio y análisis y que están contenidos en la tabla de hechos.

Las tablas de dimensiones aportan información sobre los datos de la tabla de hechos, por lo que puede decirse que en un cubo OLAP, la tabla de hechos contiene los datos de interés y las tablas de dimensiones contienen metadatos sobre dichos hechos.

Una vez estructurada las dimensiones y naturaleza de los datos se utilizarán técnicas analíticas como minería de datos y arboles de decisiones entre otras con el objetivo de estructurar el análisis de datos de forma que se pueda realizar su automatización. Los procesos de análisis estadísticos requeridos se harán en el sofware libre R con el cual se obtendrá la estructura de instrucciones requerida el análisis integrado de los hechos ambientales y de salud.

13.3.6 **Actividad 6:** *Actualización de plataforma web.*

El desarrollo de ese componente completa los avances realizados en el proyecto de Apropiación Social del Conocimiento del proyecto: “Exposición a contaminación del aire (PM2.5 PM10 y O_3) y eventos cardiovasculares y respiratorios en Medellín, 2018-2020”. Contrato No. 751-2018, código 111577757977, que está enmarcado en Programa Jóvenes Talentos de Colciencias, para el desarrollo de una página web para la divulgación de los resultados en investigación sobre contaminación del aire y salud.

Considerando los avances en la página web al momento de inicio del proyecto, se procederá a analizar cuáles requisitos se requieren implementar para integrar las bases de datos y los procesos que se desarrollarán en el presente proyecto, es decir, cuáles se programarán y serán desarrollados para ser desplegados en la interfaz web, lo cual derivará en la actualización del portal. Primero que todo se debe analizar la arquitectura sobre la cual se deben soportar los requisitos considerando que esta implementación debe ajustarse a las especificaciones dadas por el servidor en el que reposa el portal web en su estado actual.

Teniendo en cuenta lo anterior, se definirá cuál será el sistema de gestión de contenidos que contendrá los desarrollos realizados en este proyecto y establecerá para cuáles requisitos se demandará el uso de un diseñador gráfico y un desarrollador. Respecto a las técnicas derivadas de R, estas serán implementadas en Shiny, el cual es un marco de trabajo que permite generar páginas WEB desde R. Todas las implementaciones se realizarán iterativamente conforme lo define SCRUM.

Se desarrollarán las etapas 4 y 5 para plantear y desarrollar proyectos que contemplen bodegas de datos según los lineamientos de los estándares internacionales Kimball Lifecycle Methodology del Kimball Group Core Concepts que son:

Construcción de Herramientas de Visualización

En ésta se llevará a cabo el diseño e implementación de las aplicaciones analíticas que van a ser utilizadas por los usuarios finales. Se desarrollan las siguientes actividades:

- ✓ Implementación incremental de reportes e informes, tableros de mando / control.
- ✓ Análisis y Diseño de herramientas Analíticas y de Minería de Datos.
- ✓ Implementación incremental de herramientas Analíticas
- ✓ Implementación incremental de herramientas de Minería de Datos.

13.3.7 Actividad 7: *Gestión y realización del Curso de Entrenamiento Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública.*

Dentro de todo proceso de investigación, la producción y creación de conocimiento, que tenga un impacto positivo en actores claves para la transformación de la situación ambiental de las ciudades (comunidades académica y tomadores de decisiones), es una preocupación la búsqueda de diversas formas de divulgación y aprendizaje de nuevos saberes y metodologías, que permitan la integración de la investigación a la gestión de la calidad del aire.

El proyecto ha contemplado el desarrollo de un curso de entrenamiento de alto nivel dirigido a estudiantes de posgrado, docentes universitarios, investigadores y técnicos de entidades estatales que lideran las actividades para el cuidado de la salud ambiental en las distintas ciudades del país y otras ciudades de la región de Latinoamérica y el Caribe. Su propósito es aportar al aprendizaje de herramientas teóricas y metodológicas sobre la relación de calidad del aire y salud, que incluye el análisis de los componentes fisicoquímicos del aire y sus impactos en la salud.

Para el diseño y desarrollo del curso de se conformará un comité académico organizador con expertos nacionales e internacionales que encargado de realizar las gestiones administrativas y académicas para el desarrollo del curso y cada uno de sus componentes el cual incluirá aspectos teóricos y prácticos.

El contenido de curso incluye la presentación fundamentos teóricos de la caracterización fisicoquímica de materia particulado, técnicas y requisitos para la medición de compuestos químicos e interpretación de los perfiles de caracterización del material particulado en el marco de periodos de contingencia, análisis de componentes principales para establecer impactos en la salud perfiles químicos de material particulado, estudios epidemiológicos para el estudio de periodos de contingencia ambiental.

La metodología será semipresencial por lo que se requerirá acceso a internet de alta capacidad. Se realizará un ejercicio de evaluación del curso en cuanto a la calidad de los docentes, logros y logística. El curso será certificado oficialmente y se exigirá la asistencia al 80 % de las sesiones.

Los docentes del curso serán los investigadores del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia, y se plantea realizar el curso en el primer semestre del proyecto.

13.3.8. Actividad 8: *Realización de tres (3) cursos en calidad del aire y salud pública.*

Con el propósito de fortalecer capacidades en la comunidad académica interesada y los tomadores de decisiones a nivel local y nacional en los temas y metodologías que soportan la investigación se han diseñado 3 cursos cortos en herramientas analíticas y estadísticas.

- ✓ *Curso en técnicas estadísticas avanzadas en el análisis de datos de calidad del aire y salud.*

Dado el comportamiento complejo del fenómeno de calidad del aire la relación no lineal con los eventos en salud, el análisis de esta relación desde las correlaciones sencillas hasta proceso analíticos anidados en series de tiempo o cohortes requieren adquirir habilidades y competencias en técnicas estadísticas avanzadas, para lograr generar conocimiento de alta calidad y con la menor incertidumbre posible.

Por este motivo se propone realizar un curso de estadística avanzada aplicada a los fenómenos de salud ambiental dirigido al talento humano de las instituciones participantes, otras instituciones académicas del territorio y del país y otros actores estatales de salud y ambiente de carácter local (secretarias de salud y de ambiente de los municipios del Valle de Aburrá el departamento de Antioquia y AMVA).

Partiendo de los diseños de estudios epidemiológicos que exploran la relación entre calidad del aire y salud (series de tiempo, case-crossover, análisis de supervivencia, cohortes, diseños anidados) y los supuestos que los respaldan se analizarán las técnicas estadísticas más utilizadas como: 1) Análisis de Regresión de Poisson, 2) Modelo Aditivos Generalizados, 3) Análisis de cadenas de Markov, 4) Análisis de supervivencia de Cox, 5) Análisis de carga de la enfermedad, y 6) Análisis de estadística geoespacial. Los aspectos que se analizarán incluirán los, la variables y naturaleza de variable que se analizan, nivel de medición de la variables, temporalidad y unidades geográficas de análisis, supuesto matemáticos y epidemiológicos, consideraciones especiales del análisis como el uso de técnicas de suavización y uso de rezagos, además se discutirán los elementos técnicos del cálculo y la interpretación de resultados.

La metodología será semipresencial y requerirá acceso al software estadístico R, al software ArcGIS, además de acceso a internet de alta capacidad. Se realizará un ejercicio de evaluación del curso en cuanto a la calidad de los docentes, logros y logística. El curso será certificado oficialmente y se exigirá la asistencia al 80 % de las sesiones teóricas y al 100 % de las sesiones prácticas.

El curso estará dirigido a estudiantes de pre y posgrados de las áreas de la salud, la ingeniería o ciencias de la información que estén incursionando recientemente en la investigación en epidemiología ambiental, así como a personal técnico, experto o no, de las instituciones ambientales y de salud de la región.

Los docentes del curso serán los investigadores de la Facultad Nacional de Salud Púbica de la Universidad de Antioquia. El curso se proyecta para ser realizado en el tercer semestres de ejecución proyecto (entre los meses 15 y 16) en la sede de la Facultad Nacional de Salud Pública.

- ✓ Curso de análisis de imágenes satelitales aplicado a dinámica atmosférica y calidad del aire

La comprensión de la información brindada por las imágenes satelitales es de gran importancia para los co-investigadores del proyecto, siendo necesario realizar un curso corto sobre el levantamiento y evaluación de la información satelital disponible vinculada a los aerosoles y el análisis de los parámetros de la Base de datos de la composición química propias de modelos de receptores, dirigido al talento humano de las instituciones participantes y otros actores del territorio de las secretarias de salud y de ambiente.

Se presentarán conceptos fundamentales para relacionar las mediciones hechas en tierra con datos obtenidos por teledetección, es decir, desde satélites. Además, se introducirán aspectos generales de química atmosférica que permiten relacionar el objeto de estudio con los sensores remotos o teledetección considerando aspectos como la variabilidad espacial y temporal de especies atmosféricas, sus reacciones/remoción y la dinámica del transporte atmosférico.
Igualmente se analizarán principios la fotoquímica de compuestos de gas, la formación y propiedades de las partículas de aerosol en el aire, interacciones gas-partícula, procesos en las nubes, emisión, transporte y dispersión de trazadores químicos, y ciclos biogeoquímicos para la comprensión del forzamiento climático, implicaciones en la salud humana y las interacciones recíprocas con la biosfera.

Se presentarán bases del soporte técnico del análisis satelital de imágenes y retrotrayectorias, se identificaron episodios de contaminación atmosférica al interior del Valle de Aburrá provocados por eventos regionales de aerosoles, para ambos casos con fuente en incendios forestales y para el periodo de emergencia sanitaria por el COVD 19. Se dispondrá de muestras PM2.5 con información de Bio aerosoles, actualmente en análisis químico, cuya información será determinante para el avance en la estimación de aportes de fuentes externas, de alta importancia para Naciones Unidas y para el país y la región metropolitana.

La metodología será semipresencial, basado en trabajo dirigido y prácticas en laboratorio de informática, dotador de software especializados como HYSPLIT entre otros y acceso a internet de alta capacidad. Se realizará un ejercicio de evaluación del curso en cuanto a la calidad de los docentes, logros y logística. El curso será certificado oficialmente y se exigirá la asistencia al 80 % de las sesiones magistrales semipresenciales y al 100 % de las sesiones prácticas.

El curso estará dirigido a investigadores del área ambiental formados en diferentes disciplinas, teniendo en cuenta sus experiencias en sistemas de información geográfica, sensores remotos, técnicas de teledetección y estudios de epidemiología ambiental que puedan contribuir al avance del conocimiento sobre la distribución de los aerosoles en las altas capas de la atmosfera y su relación con las concentraciones en superficie.

Los docentes del curso serán los investigadores del grupo GHYGAM, Icaro e ISAI del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. El curso se proyecta para ser realizado aproximadamente a inicios del cuarto semestres de ejecución proyecto (mes 19) en la sede Poblado del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

- ✓ *Curso corto de analítica y herramientas computacionales para la gestión del conocimiento en calidad del aire y salud.*

El cada vez mayor volumen de datos que están disponibles en los sistemas de información de las ciudades y que son necesarios para la mejor comprensión del fenómeno de calidad del aire y

salud, ha configurado la necesidad de adquirir habilidades y competencias en analítica y herramientas computacionales para la gestión del conocimiento en calidad del aire y salud. Por este motivo se propone realizar un curso de analítica y herramientas computacionales dirigido al talento humano de las instituciones participantes, otras instituciones académicas del territorio y actores estatales de salud y ambiente de carácter local.

Entre los objetivos del curso se contemplan conocer los fundamentos teóricos de la analítica y la minería de datos aplicada al estudio de la calidad del aire y la salud, así mismo Ilustrar el uso de herramientas para la manipulación y exploración de datos en el contexto de salud y ambiente usando como el software SQL Server y R.

Las temáticas que se plantea desarrollar serán: 1) fundamentos teóricos de la minería de datos y la analítica, 2) contextualización del análisis de datos, 3) introducción al lenguaje SQL, 4) ejercicio práctico de exploración de datos con SQL para variables de salud y calidad del aire, 5) introducción al lenguaje R, 6) ejercicio práctico de exploración de datos con R para variables de salud y calidad del aire.

La metodología será semipresencial y requerirá acceso al software estadístico R y SQL, además de acceso a internet de alta capacidad. Se realizará un ejercicio de evaluación del curso en cuanto a la calidad de los docentes, logros y logística. El curso será certificado oficialmente y se exigirá la asistencia al 80 % de las sesiones teóricas y al 100 % de las sesiones prácticas.

Para las sesiones del curso se plantea el desarrollo de exposiciones magistrales para conocer y las distintas etapas involucradas en el manejo de datos ambientales y la generación una serie representativas del territorio necesarias para los análisis epidemiológicos. Se discutirán los alcances y limitaciones de la información disponible en la región y las necesidades de información que requieren los diseños epidemiológicos de series de tiempo.

También se realizará un ejercicio práctico en la que los participantes podrán utilizar algunas de las técnicas empleadas para la construcción de series ambientales para alguno de los municipios, la idea es que se puedan familiarizar con el proceso de manejo de datos.

El curso estará dirigido a estudiantes de pre y posgrados de las áreas de la salud, la ingeniería o ciencias de la información que estén incursionando recientemente en la investigación en epidemiología ambiental, así como a personal técnico, experto o no, de las instituciones ambientales y de salud de la región.

Los docentes del curso serán los investigadores de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. El curso se proyecta para ser realizado en el sexto semestres de ejecución proyecto (mes 31) en la sede de la Universidad Nacional.

13.3.9 **Actividad 9:** *Depuración, preparación, análisis y diseño de bases de datos ambientales.*

Incluirá todas las tareas que se deben seguir para implantar los procesos nuevos en el ambiente de producción actual, es decir en el ambiente de usuario final.

Al finalizar esta etapa la responsabilidad del manejo de la iniciativa de negocio, el conocimiento adquirido y los procesos y procedimientos técnicos se traslada al equipo de trabajo que soportará la operación de la bodega de datos y de las aplicaciones analíticas que componen en el marco del portal web. Se realizarán las siguientes actividades:

- ✓ Realización de copias de respaldo
- ✓ Diseño de la herramienta en el marco del portal web
- ✓ Pruebas de usabilidad
- ✓ Recuperación ante fallas
- ✓ Gestión de Nuevos requerimientos
- ✓ Optimización y Ajuste de implementaciones
- ✓ Producción de tutoriales de la gestión de datos y bases de datos a los administradores del portal.
- ✓ Generación de informes

13.3.10 **Actividad 10:** *Seguimiento administrativo*

En el marco del seguimiento administrativo y financiero se incluyen actividades de coordinación, planificación, organización y ejecución siendo el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid en su rol de ejecutor, el responsable de dicho seguimiento.

El proyecto contará con un plan operativo el cual describirá las responsabilidades sobre la ejecución de las actividades técnico-científicas y su relación con el cumplimiento de los objetivos del proyecto y resultados esperados en el proyecto "PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD EN EL VALLE DE ABURRÁ de acuerdo con el Modelo de gobernanza firmado por la universidad de Antioquia y el Politécnico Colombiano Jaime Isaza como ejecutor. Para realizar seguimiento se harán reuniones permanentes con los coordinadores y responsables de la actividad y se vigilará el cumplimiento del cronograma propuesto, incluyendo los ingresos de dinero y las ejecuciones financieras correspondientes.

Para la ejecución financiera, se seguirán los procesos administrativos establecidos por la entidad ejecutora y los pagos correspondientes a los proveedores y contratistas, se realizará luego de verificar el cumplimiento de las entregas de productos y actividades correspondientes al período de pago. En caso de que los productos y las actividades no se ajusten a las expectativas predefinidas para el período en cuestión, se realizan las correcciones y modificaciones necesarias y se toman decisiones y acciones pertinentes para mejorar continuamente el desarrollo de los procesos.

El Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid a su vez, establecerá un control y contacto programado con la Universidad de Antioquia para el cumplimiento de los compromisos asumidos en el modelo de gobernanza.

La información derivada del estudio será diseñada de acuerdo con las normas técnicas establecidas por el Sistema Integrado de Gestión del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, con el fin de lograr el aseguramiento y control de calidad de los datos requeridos en los diferentes estadios del proyecto.

Esta metodología regirá para cada una de las actividades correspondientes a los cuatro (4) objetivos que conllevarán cumplimiento del objetivo general y proyección de los impactos a los beneficiarios del Programa en Salud y calidad del aire.

13.3.11 **Actividad 11:** *Apoyo a la supervisión*

El apoyo a la supervisión se regirá por el artículo 83 de la ley 1474 de 2011 para el apoyo al seguimiento técnico, administrativo, financiero, contable, y jurídico del cumplimiento de los objetivos del proyecto, la cual será realizada por la entidad ejecutora con el propósito de ayudar al cumplimiento de plazo, calidad, ejecución de recursos y control de riesgos de los contratos requeridos.

Se tendrá especial atención a la verificación del cumplimiento de las actividades correspondientes al período de pago de los servicios recibidos, de acuerdo con los estudios previos según entregas de productos oportunos y de la calidad requerida. Los planes de mejoramiento, acciones correctivas y preventivas del Sistema de Gestión de calidad, serán las herramientas de intervención y mejora de los productos y las actividades no se ajusten a las expectativas predefinidas para el período en cuestión. De ser necesario se tomarán las decisiones y acciones pertinentes para mejorar continuamente el desarrollo de los procesos y cumplimiento los términos de los contratos con el debido acompañamiento de las unidades administrativas y de control de la Entidad Ejecutora.

La aprobación de los informes de avance y finales estarán bajo la responsabilidad del director del proyecto quién a su vez, se acompañará del profesional de apoyo a la supervisión para la verificación del cumplimiento técnico, administrativo, financiero, contable, y jurídico del cumplimiento de los objetivos del proyecto a la fecha de corte establecida.

El profesional de apoyo a la supervisión estará de manera permanente a cargo del control de los indicadores de productos, siempre bajo los lineamientos y control de la dirección del proyecto.

13.4 Metodología Objetivo 4: *Diseñar e implementar una estrategia edu-comunicacional con distintos actores sociales del territorio.*

Se plantea la construcción de una estrategia de edu-comunicación sobre las prácticas y procesos alrededor de la salud, la enfermedad y el ambiente desde la vida cotidiana, trascendiendo de la mirada morbicéntrica clínica y de riesgo ambiental que usualmente se da dentro de la problemática de contaminación del aire y salud. Desde una reflexión pedagógica como una apuesta ética, epistemológica y política para mediar la relación entre sujeto, conocimiento y contexto. Lo anterior, construido desde un enfoque crítico que permita una mirada colectiva capaz de generar el diálogo entre los conocimientos generados en la práctica científica con los conocimientos y saberes prácticos y cotidianos de los sujetos involucrados, desde posiciones igualitarias y horizontales.

Ello implica que la estrategia de edu-comunicación, esté acompañadas por procesos pedagógicos atravesados por el arte y la comunicación, que permitan el acercamiento a la transformación de realidades socioambientales del Valle de Aburrá con el fin de promover una conciencia y mirada crítica sobre la situación de la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá, y el efecto que tiene para la salud de su población, así como las alternativas de solución y las responsabilidades que tenemos cada uno de los ciudadanos.

La estrategia de edu-comunicación estará conformada por:

- ✓ Proceso de co-construcción de productos artísticos y multimedia.
- ✓ Proceso de gestión, intercambio y transferencia del conocimiento

13.4.1 Actividad 1: *Co-construcción de productos artísticos y multimedia.*

Para la construcción de la obra artística y productos multimedia que permitan la sensibilización y el acercamiento a los conocimientos de la problemática a la población del Valle de Aburrá, se ejecutarán las siguientes fases de trabajo:

Diseño de instrumento virtual tipo encuesta para recolección de percepciones sobre la problemática en el territorio: Este será construido por el equipo científico, pedagógico y de comunicación bajo la asesoría del equipo legal del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Deberá considerar en su construcción las necesidades percibidas por la ciudadanía en lo que refiere a conocimientos frente a la problemática, responsabilidades al contaminar y posibles soluciones; reconociendo los aportes a la solución o agudización de la misma desde los diferentes actores sociales del territorio, tales como: tomador de decisión, científicos del territorio, ciudadanos (adulto, joven o niño), empresarios, entre otros. Esta fase considerará las etapas de diseño, evaluación, ajuste y aprobación por todas las partes.

Divulgación del instrumento virtual: Este será liderado por el equipo de comunicaciones, quienes serán los responsables de desarrollar la invitación a la ciudadanía bajo la línea grafica del programa, envío y divulgación de este a través de las diferentes plataformas digitales de las instituciones y/o del programa; y sus posibles aliados.

Recolección y análisis de la información: A partir de la información levantada con el instrumento, esta se organizará y analizará con el equipo pedagógico, artístico y de comunicación del proyecto. Los cuáles serán responsables de direccionar el contenido y la construcción de los productos a partir de los insumos compartidos por los habitantes del Valle de Aburrá. Ambos contenidos deben ser diseñados para un público general y con una visión sobre nuevas formas de comunicar la ciencia.

La información organizada y depurada del instrumento, será la base para el desarrollo de los productos de edu-comunicación, garantizando la articulación entre los productos para optimizar el alcance e impacto de estos. Así mismo, responderán a la estrategia general de Edu-comunicación diseñada para el programa. Los productos de edu-comunicación -obra artística y contenido multimedia- se desarrollarán como se describe a continuación:

Obra artística: Los artistas seguirán los contenidos base definidos en la fase de recolección y análisis de la información; pero tendrán libertad en el desarrollo creativo. Sin embargo, esta producción atravesara las fases de diseño, presentación para retroalimentaciones a equipo pedagógico, científico y de comunicación, ajustes y aprobación. Los artistas deberán garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad de MinCiencias en lo que refiere a obras artísticas. Además, se deberá considerar la exposición del producto en lugares estratégicos de la ciudad con el objeto de generar un impacto al mayor número de personas posibles. Estos espacios serán registrados mediante fotografías y videos que eventualmente servirán de insumos para otros espacios de reflexión frente a la problemática.

Multimedia: El equipo de producción (comunicación) seguirán los contenidos base definidos en la fase de recolección y análisis de la información; pero tendrán libertad en el desarrollo creativo en la fase de preproducción, producción y posproducción . Sin embargo, este producto atravesara las fases de diseño (prepoducción), presentación para

retroalimentaciones a equipo pedagógico, científico y artístico, ajustes y aprobación (producción y posproducción). Los responsables deberán garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad de MinCiencias en lo que refiere productos de divulgación y apropiación social del conocimiento. Además, el equipo deberá diseñar un plan de divulgación acorde a la estrategia de Edu-comunicación del programa que considere los diferentes públicos y plataformas dispuestas por el proyecto: página web proyecto, institucionales, redes sociales, entre otras. Así mismo, se deberá considerar las proyecciones en espacios estratégicos de ciudad como eventos, pantallas de ciudad, entre otras.

13.4.2 Metodología Actividad 2: *Gestión, intercambio y transferencia del conocimiento.*

Comprendiendo la gestión del conocimiento como citan Ragab y Arisha [94] (2013, p. 877) a O'Dell (1998) "una estrategia consciente para llevar el conocimiento adecuado, a las personas adecuadas, en el momento adecuado, que ayude a las personas a compartir información al ponerla en acciones" [95]. Además, de generar y compartir información accesible a los individuos y en el que los individuos adquieren, comparten y usan dicha información para desarrollar su propio conocimiento y son alentados y habilitados para aplicar su conocimiento en beneficio del territorio.

Así mismo, identificando el intercambio del conocimiento como es un intercambio de doble vía o multilateral, en el cual las partes involucradas aprenden unas de otras; y comprendiendo la transferencia de conocimiento como el conjunto de actividades dirigidas a la divulgación de conocimientos, experiencia y habilidades con el fin de facilitar el uso, la aplicación y la explotación del conocimiento y las capacidades en I+D de la universidad fuera del ámbito académico, ya sea por otras instituciones de I+D, el sector productivo o la sociedad en general [96].

Con base a estas concepciones, se propone realizar un abordaje pedagógico a través de espacios educativos con grupos específicos conformados con personas que realicen trasferencia y divulgación en la temática, tales como: semilleristas, ciudadanía organizada, academia, periodistas/comunicadores y tomadores de decisiones del territorio, pensando estratégicamente en estos actores como agentes mediadores y de cambio en procesos de comprensión del fenómeno que aporten a la transformación de realidades sociales concretas, mediante un trabajo conjunto con las comunidades a impactar en el Valle de Aburrá, teniendo en cuenta la perspectiva del territorio como espacio de enseñanza y aprendizaje.

Este se orienta a formar y fortalecer gestores sociales del conocimiento en calidad del aire y salud para el Valle de Aburrá, a través de la implementación de un proceso educativo orientado a conceptos básicos de la salud ambiental, calidad del aire, efectos en salud, pedagogía, comunicación y gestión de las TIC considerando las nuevas formas de comunicar la ciencia.

Se espera que producto de la elaboración conjunta entre actores se construyan algunos productos de edu-comunicación según grupo y público objetivo, que permitan generar espacios de réplica a los habitantes del Valle de Aburrá orientados a la incidencia del cambio en las diferentes esferas sociales del territorio.

13.4.3 **Actividad 3:** *Seguimiento administrativo*

La metodología aplicada estarán acorde con la planificación, organización y ejecución de los contratos y actividades de los investigadores que garanticen la calidad de los productos multimedia y realización las obras artísticas que divulgarán parte de los resultados del estudio a los diversos públicos objetivos.

De manera similar a lo planteado en el seguimiento administrativo de los objetivos 1, 2 y 3, la estrategia de edu-comunicación contará con un plan de ejecución interno que se ajustará al operativo del proyecto, el cual describirá tiempo y responsabilidades sobre la ejecución de las actividades, productos y su relación con el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Dicho Plan contendrá el seguimiento administrativo y financiero del componente de edu-comunicación considerando la supervisión de la planificación, organización, contratos a investigadores y profesionales relacionados con el componente. Además del control y seguimiento a las actividades y productos esperados.

Con el fin de garantizar la calidad de las obras artísticas y de los productos multimedia, uno de los objetivos del acompañamiento administrativo será garantizar los recursos para que los productos sean oportunos y permitan la transferencia de los resultados a los públicos objetivos.

13.4.4 **Actividad 4:** *Apoyo a la supervisión*

El apoyo a la supervisión se regirá por el artículo 83 de la ley 1474 de 2011 para el apoyo al seguimiento técnico, administrativo, financiero, contable, y jurídico del cumplimiento de los objetivos del proyecto, la cual será realizada por la entidad ejecutora con el propósito de ayudar al cumplimiento de plazo, calidad, ejecución de recursos y control de riesgos de los contratos requeridos.

Se tendrá especial atención a la verificación del cumplimiento de las actividades correspondientes al período de pago de los servicios recibidos, de acuerdo con los estudios previos según entregas de productos oportunos y de la calidad requerida. Los planes de mejoramiento, acciones correctivas y preventivas del Sistema de Gestión de calidad, serán las herramientas de intervención y mejora de los productos y las actividades no se ajusten a las expectativas predefinidas para el período en cuestión. De ser necesario se tomarán las decisiones y acciones pertinentes para mejorar continuamente el desarrollo de los procesos y cumplimiento los términos de los contratos con el debido acompañamiento de las unidades administrativas y de control de la Entidad Ejecutora.
La aprobación de los informes de avance y finales estarán bajo la responsabilidad del director del proyecto quién a su vez, se acompañará del profesional de apoyo a la supervisión para la verificación del cumplimiento técnico, administrativo, financiero, contable, y jurídico del cumplimiento de los objetivos del proyecto a la fecha de corte establecida.

El profesional de apoyo a la supervisión estará de manera permanente a cargo del control de los indicadores de productos, siempre bajo los lineamientos y control de la dirección del proyecto.

14. TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LOS PROCESOS DE FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

CRITERIOS Y REQUISITOS DE PARTICIPACIÓN DE LOS CANDIDATOS: El criterio de participación para estudiantes estará regido por la validación de su carácter de estudiante a nivel de pregrado como de posgrado por los requisitos de admisión y verificación de la coordinación de Admisiones de ambas instituciones y será publicada en medios digitales de las instituciones.

El criterio de participación para profesores estará regido por verificación de contratos de docencia tiempo completo, Ocasionales y Catedra y por el cumplimiento del procedimiento PGH02 Procedimiento para Acceder a Programas de Capacitación Externa Versión 11 y del Formato FGH09 Solicitud de Capacitación Personal Docente Versión 6. Se adjunta como ejemplo la resolución rectoral para la profesora Dora Luz Yepes Palacio del PCJIC.

El criterio para participación de expertos e invitados externos a los cursos y el Entrenamiento Gestión y realización del Curso de Entrenamiento Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública, se basarán en su participación en estudios y proyectos realizado en redes de investigación, grupos de Investigación, Convenios firmados, roles como autoridades ambientales y gubernamentales con responsabilidades en la calidad del aire y salud pública y otros organismos de interés en el área temática. Se anexa como evidencia manifiesto REDAIRE, Convenio UPB, Carta Intención UNAL Manizales los cuales se encuentran anexos. En otros casos se tomaran documentos equivalentes.

CRITERIOS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN PARA SELECCIONAR LOS BENEFICIARIOS, ASÍ COMO LOS PUNTAJES DEFINIDOS PARA CADA UNO DE ELLOS: En cuanto a los puntajes para seleccionar y evaluar la participación de estudiantes, se llevará a cabo partir de metodología de expertos (Anexo metodología expertos) conformado por el grupo de profesionales que apoyaron la formulación del proyecto a partir de los siguientes términos:

- Promedio crédito acumulado mínimo 3.8 (30%)
- Miembro de Semilleros y grupos de Investigación (30%)
- Participación de proyectos en temática calidad del aire y salud publica inter y trans disciplinar (20%)
- Participación en actividades de divulgación del conocimiento (20 %)

El criterio de evaluación y calificación para seleccionar los profesores candidatos para cursos y entrenamientos, serán los siguientes:

- Perfil de formación en la temática calidad del aire y/o salud pública (30%).
- Perfil de formación en la temática inter y trans disciplinar calidad del aire y/o salud pública (20%).
- Años de experiencia en la temática calidad del aire y salud pública (20%).
- Años de experiencia en la temática inter y trans disciplinar calidad del aire y/o salud pública (15%).
- Participación de proyectos en temática calidad del aire y salud publica inter y trans

disciplinar y/o participación en actividades de divulgación del conocimiento (15%).

El criterio para seleccionar y evaluar la participación de los asistentes al Curso de Entrenamiento Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública, se basarán en su participación en estudios realizado en redes de investigación, grupos de Investigación, Convenios firmados, roles como autoridades ambientales y gubernamentales con responsabilidades en la calidad del aire y salud pública se hará la evaluación y calificación según los lineamientos de términos de referencia que serán publicados en medios digitales de las instituciones. Los criterios son los siguientes:

- Perfil de formación en la temática calidad del aire y/o salud pública (30%).
- Perfil de formación en la temática inter y trans disciplinar calidad del aire y/o salud pública (20%).
- Años de experiencia en la temática calidad del aire y salud pública (20%)
- Años de experiencia en la temática inter y trans disciplinar calidad del aire y/o salud pública (15%)
- Participación de proyectos en temática calidad del aire y salud publica inter y trans disciplinar y/o Participación en actividades de divulgación del conocimiento (15%)

CONDICIONES DE COMPROMISO DE LOS BENEFICIARIOS PARA CONTRIBUIR CON EL OBJETO DEL PROYECTO: Los criterios de compromiso de los estudiantes serán los siguientes y su incumplimiento conllevará a su retiro del proyecto y negación de certificación oficial de su participación en el mismo para su hoja de vida. Los lineamientos de los términos de referencia se detallan a continuación:

- Participar activamente en los Semilleros de investigación retroalimentado los resultados y logros alcanzados en el perfeccionamiento de su formación investigativa.
- Cumplimento del 90 % mínimo de asistencia a las actividades asignadas del proyecto
- Participar en eventos de Investigación como ponentes
- Participar en la escritura de un (1) artículo de investigación para el caso del estudiante de pregrado.
- Escribir mínimo un (1) artículo de investigación para el caso del estudiante de posgrado

El criterio para las condiciones de compromiso de los docentes como beneficiarios para contribuir con el objeto del proyecto estará regido por el ítem 4 Formato PGH02 Procedimiento para Acceder a Programas de Capacitación Externa Versión 11y del Formato FGH09 Solicitud de Capacitación Personal Docente Versión 6.

El criterio para las condiciones de compromiso de invitados y expertos externos como beneficiarios para contribuir con el objeto del proyecto, son declarados en los lineamientos de los términos de referencia. Los compromisos son los siguientes:

- Aporte al análisis de resultados
- Asistencia a eventos de divulgación
- Cumplir los derechos de propiedad intelectual en sus publicaciones, conferencias y demás actividades.

15. ANÁLISIS DE RIESGOS

Tipo de riesgo	Descripción del riesgo	Probabilidad	Impacto	Efecto	Medidas de mitigación
Asociado a Actividades					
Operacional	Falta de profesionales de apoyo competentes	Improbable	Mayor	Errores de procedimiento, análisis y experimentación asociados a los resultados	Establecimiento de perfiles de cargo en cumplimiento de la norma NTC-ISO/IEC 17025:2017 Procesos previos de convocatoria para ponentes y expertos internacionales alternos y planes de contingencia.
De mercado	Deficiencias en el stock de suministros derivados de cambios en el mercado	Improbable	Mayor	Atraso temporal relacionadas con los insumos	-Elaboración de Planes de compra previos al inicio del Convenio -Implementación de los procedimientos de prestación de servicios, compra de insumos y otras actividades logísticas relacionadas -Búsqueda de proveedores alternos de manera continua
Asociados a fenómenos de origen biológico: plagas, epidemias	Aplazamiento de seguimiento clínico a las cohortes a causa de pandemias	Probable	Mayor	Información de cohortes y seguimiento clínicos incompleta	Implementación de protocolos de bioseguridad para el personal clínico y la población evaluada con el fin de disminuir el retraso del cronograma
Operacional	Incapacidad médica del personal de apoyo y e investigadores	Moderado	Moderado	Sobre carga de actividades para otros miembros del equipo de trabajo por acumulación de actividades temporales	-Activación de planes alternos para suplencia -Personal entrenado en diversas actividades
Operacional	Inestabilidad en la red del Internet	improbable	Mayor	Retraso en las entregas, información incompleta. -Disminución de rendimiento en actividades programadas	-Uso de servidores -Adquisición de la mejor red de Internet del mercado

Tipo de riesgo	Descripción del riesgo	Probabilidad	Impacto	Efecto	Medidas de mitigación
Asociado a Actividades					
Asociados a fenómenos de origen humano no intencionales: aglomeración de público	Riegos públicos asociados a las actividades	Probable	Mayor	Daño a la integridad de las personas y/o atrasos actividades del proyecto	-Pólizas de seguridad de personal, equipos y seguridad física de instalaciones. -Disponibilidad de equipos y accesorios de repuestos para disminuir el número de muestras no tomadas
Operacional	Daño de los equipos e instalaciones por fallas mecánicas o eléctricas	Improbable	Mayor	Interrupción del monitoreo por quema de motores, tarjetas de control y otros accesorios mecánicos o electrónicos, daños en instalaciones físicas	-Pólizas de seguridad de equipos y seguridad física de instalaciones. -Disponibilidad de equipos y accesorios de repuestos para disminuir el número de muestras no tomadas
Administrativo	Inadecuado manejo de archivos de gestión	Improbable	Mayor	-Pérdida de imagen y credibilidad en el proyecto -Ineficacia de las actividades del proyecto por demoras en la solución de consultas, errores conceptuales debido a la desactualización de la información, expedientes incompletos y desactualizados	-Implementación y seguimiento permanente del Sistema de Gestión bajo la Norma NTC 17025:2017 y acciones de mejora continuas
Operacional	Riesgos asociados al trabajo en alturas	Improbable	Mayor	Caídas o accidentes de alto riego hasta la muerte	-Equipos de protección personal según los riesgos identificados -Establecimiento del programa de entrenamiento e inducción al personal antes de operar.
Asociados a fenómenos de origen humano no intencionales: aglomeración de público	Problemas de seguridad en la zona de estudio	Probable	Mayor	Retraso en actividades del proyecto	Reprogramación de actividades sin que resultados esperados no se alteren

Tipo de riesgo	Descripción del riesgo	Probabilidad	Impacto	Efecto	Medidas de mitigación
Asociado al propósito (Objetivo general)					
Operacional	Extralimitación de funciones favoreciendo intereses particulares.	Improbable	Menor	-Retraso de cumplimiento de cronograma por procesos asociados -Mal ambiente laboral -Procesos disciplinarios	-Acuerdo de confidencialidad e imparcialidad en el manejo de información oficial -Interventoría del proyecto -Sistema de protección de la información
Operacional	Dificultades para realizar el seguimiento de las personas escogidas en las áreas de estudio	Raro	Insignificante	Porcentaje elevado de pérdidas de participantes durante el seguimiento	Programación de visitas en distintos días incluidos días de fin de semana sobre muestreo del 20%
Operacional	Problemas de diligenciamiento de la información extensiva y voluminosa	Moderado	Moderado	Pérdida de calidad de los datos y resultados asociados	Control de información bajo procedimiento de seguridad de los datos y licenciamiento de un software para el desarrollo de formularios que permitirá disminuir los errores de digitación.
De Mercado	Análisis en laboratorio de contaminantes realizado por laboratorios no acreditados	Moderado	Mayor	-Incremento de costos por tramites internacionales y servicios en laboratorio acreditados internacionalmente -Datos sin confiabilidad ni validación ni estimación de incertidumbre	- Alianzas con laboratorio acreditados -Pruebas de intercomparabilidad con laboratorio locales y nacionales para fortalecimiento de capacidades tecnológicas confiables en el país
Asociados a fenómenos de origen natural: atmosférico, hidrológicos, geológicos, otros	Acceso insuficiente a la muestra biológica de microorganismos partir de muestreos del aire	Moderado	Mayor	Baja concentración de ADN para su posterior secuenciamiento	-Continua búsqueda de material bibliográfico que referencie detalles en el muestreo para fines de metagenómica. -Incorporación de estrategias de extracción de ADN por medio de protocolos estandarizados e implementados en otros centros de investigación que buscan estudiar la microbiota del aire asociada a PM 2.5
De mercado	Variación de la TMR	Probable	Mayor	Precios de equipos por encima de los presupuestos	Gestión de recursos que permitan mitigar los efectos de sobrecostos.

Tipo de riesgo	Descripción del riesgo	Probabilidad	Impacto	Efecto	Medidas de mitigación
Asociado a componente (Productos)					
Operacional	Demora en la realización del prototipo Modelo Calidad y Salud	Improbable	Menor	Retraso en la implementación del Modelo asociado a factores externos y competencias de autoridades	Seguimiento al proceso
Operacional	Negación de la publicación de artículos	Improbable	Mayor	-No hay difusión a comunidad científica -Incumplimiento de compromisos	Grupo de coinvestigadores de apoyo con altas capacidades técnicas y científicas en publicación de artículos en revistas de alto impacto
Operacional	Detección de fuentes de intrusión de aerosoles con trayectorias incompletas	Probable	Mayor	Variación en el porcentaje de aerosoles detectados que pudieron producir las diferentes fuentes	Uso de plataformas satelitales alternativas
Operacional	Fallas en plataformas de información satelital	Probable	Menor	Retraso en entregas, análisis incompleto por falta de información	Descarga de imágenes constantes Actualización de datos posterior a la generación los mismos
Operacional	Inadecuada difusión y transferencia del conocimiento	Improbable	Mayor	Altos tiempos por reprocesos y comunicación con actores vinculados a las estrategias	Comunicación oportuna y asertiva con las comunidades vinculadas

16. INGRESOS Y BENEFICIOS

Beneficio 1: Ahorro en la inversión para el fortalecimiento de las capacidades científicas y tecnológicas del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Universidad de Antioquia.

Medido a través de: pesos
Bien producido: Otros
Razon Precio Cuenta (RCP): 0.80

Periodo	Cantidad	Valor unitario	Valor total
00	2,00	$ 250.000.000,00	$ 500.000.000,00
01	2,00	$ 250.000.000,00	$ 500.000.000,00
02	2,00	$ 270.400.000,00	$ 540.800.000,00
03	2,00	$ 281.216.000,00	$ 562.432.000,00
04	2,00	$ 292.464.640,00	$ 584.929.280,00

En el Proyecto Educativo Institucional PEI de las Instituciones de Educación Superior , están expresados los fines y objetivos, que orientan las acciones del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Universidad de Antioquia hacia compromisos establecidos con la sociedad, la cultura y la ciencia inmersos en una tendencia hacia la cultura de la Alta Calidad; y como canon académico da cuenta de la pertinencia social de la docencia, la investigación, la extensión y el desarrollo territorial. Por ser un proyecto colectivo, flexible y abierto, la puesta en marcha del PEI, les plantea a todos los miembros de la Comunidad Académica, retos y compromisos, corresponsabilidad y participación.

Para el Politécnico Colombiano Jaime Isaza como institución que lucha permanentemente por su acreditación de alta calidad y la Universidad de Antioquia por sostenerla, existe una estrecha relación entre los Planes de Desarrollo vigentes y sus Proyectos Educativos estableciéndose vínculos que permiten formalizar los procesos de construcción colectiva, que sirven de norte para la aplicación y el mejoramiento del proceso académico y administrativo, desarrollo institucional, excelencia académica, investigación y desarrollo tecnológico y extensión.

En cumplimiento de su misión, se realiza un conjunto de acciones y estrategias orientadas a eliminar aquellos factores que limitan su desempeño; éstas demandan de recursos para en condiciones necesarias y suficientes para la contratación y vinculación de investigadores y docentes que contribuyan al desarrollo de nuevos conocimientos y formación de los jóvenes profesionales con alta pertinencia, calidad y espíritu innovador y creativo.

Teniendo como base esta necesidad de fortalecimiento para el abordaje de las problemáticas

sociales y construcción permanente de ideas y proyectos que brinden soluciones a las problemáticas de las sociedad, se ha tomado como base para la estimación de los beneficios del Programa de Salud y Calidad del aire la valoración económica del Proyecto del Politécnico Fortalecimiento DEL PROCESO DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL PCJIC, QUE REDUNDE EN EL RECONOCIMIENTO PÚBLICO DE ALTA CALIDAD, el cual se fundamenta en alcanzar y sostener las condiciones de alta calidad del proceso educativo y la generación de nuevo conocimiento aportante a las soluciones de las problemáticas que se enfrentan en la región y para el caso que convoca, la salud en su relación de la calidad del aire.

Las cifras presentadas en módulo “PREPARACIÓN /INGRESOS Y BENEFICIOS” de la MGA WEB, se obtuvieron del para el Politécnico del Proyecto citado y su estructura Financiera, evaluado en $ 1.715.316.382

Para la Universidad de Antioquia Facultad de Salud Pública se presenta el Proyecto Universitario, valorado en $ 1.800.000 como base para los profesores de esta facultad.

Beneficio 2: Reducción de costos en la contratación de investigadores y/o docentes fortalecidos en calidad de aire y sus efectos en salud y mano de obra calificada para la administración y el levantamiento, análisis de los componentes del material particulado PM2.5 y sus efectos en salud.

Medido a través de: pesos
Bien producido: Mano de obra profesional, sectores de elevadas presentaciones
Razon Precio Cuenta (RCP): 0.87

Periodo	Cantidad	Valor unitario	Valor total
00	1,00	$ 327.397.437,00	$ 327.397.437,00
01	1,00	$ 343.173.213,00	$ 343.173.213,00
02	1,00	$ 359.083.935,00	$ 359.083.935,00
03	1,00	$ 373.447.292,00	$ 373.447.292,00
04	1,00	$ 388.385.178,00	$ 388.385.178,00

Teniendo como base esta necesidad de fortalecimiento institucional a partir de una planta de docentes e investigadores para el abordaje de las problemáticas sociales y construcción permanente de ideas y proyectos que brinden soluciones a las problemáticas de la sociedad se fundamenta en alcanzar y sostener la relación docente estudiantes óptima y la disponibilidad de las estrategias mediadoras de proceso educativo y la proyección social de tanto impacto.

Este proyecto aportará más de 40 investigadores y/o docentes fortalecidos en calidad de aire y sus efectos en salud de alto perfil, perfeccionados en investigación experimental y métodos analíticos y numéricos potenciales para el desempeño de la función de docencia, investigación y extensión, impactando la sociedad con aportes a soluciones y criterios en pro del mejoramiento de la calidad del aire.

La estimación de los beneficios generados se basaron las reglamentaciones del Politécnico y la Universidad de Antioquia sobre los salarios y honorarios para docentes, Planes de capacitación y planes asociados y por lo tanto, fue la base para la reducción de costos en la contratación de investigadores y/o docentes teniendo como criterio el promedio entre 26 coinvestigadores y el investigador principal para el cálculo anual. Se referencian las normativas de la UdeA y el Politécnico en la temática.

17. ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD

El diseño e implementación del **Programa de Gestión del Conocimiento en Contaminación Atmosférica y Salud para el Valle de Aburrá**, abarca al menos siete (7) proyectos integrados con resultados medibles sobre los efectos de la contaminación por el material particulado $PM_{2.5}$, que generarán conocimiento que representa un banco de información y retos que implica el desarrollo de nuevos procesos de formación e investigación que involucren nuevas tecnologías y modelos para la industrialización que permita el cuidado para la salud y el ecosistema. Estos proyectos complementan el ejercicio emprendido en los últimos años por grupos de investigación de la región, que reconocen la necesidad de un trabajo articulado e interdisciplinario para la generación de conocimiento en un tema complejo y multidimensional, y que apenas ha sido explorado en el contexto local y nacional. Entre las investigaciones que se desarrollarán en el programa y que están: i) Caracterización química del $PM_{2.5}$; ii) Aportes de fuentes de emisión regionales y globales (incendios forestales y el polvo de arenas del Sahara) e indicadores asociado a cambio climático Aburrá mediante análisis de imágenes satelitales; iii) Uso de técnicas genómicas y de bioinformática para el estudio de los cambios microbiológicos del aire del Valle de Aburrá durante el año 2022; iv) Efecto de los perfiles químicos de $PM_{2.5}$ en eventos centinela respiratorios y cardiovasculares asociados con la mala calidad de aire en Medellín, 2018-2022, Estudio de series de tiempo; v) Evaluación del impacto de los perfiles químicos y microbiológicos de $PM_{2.5}$ en la salud de individuos pertenecientes a una cohorte de seguimiento en la ciudad de Medellín, 2021-2023; vi) Impacto genotóxico, citotóxico y mutágenico del $PM_{2.5}$ de la ciudad de Medellín, 2022; y vii) Desarrollo de un metamodelo para la integración de conocimiento sobre calidad del aire y salud en el Valle de Aburrá.

El proyecto permitirá el fortalecimiento de las capacidades institucionales para la investigación y de las IEs y los grupos participantes tales como el mejoramiento de técnicas y procedimientos de medición de contaminantes del aire y sus componente químicos, la introducción de nuevas aproximaciones metodológicas para el análisis microbiológico del aire como técnicas genómicas y bioinformática, y nuevos escenarios de uso para los ensayos de genotoxicidad, citotoxicidad y mutagenicidad; así mismo se avanzará en desarrollos analíticos y de minería de datos y en el perfeccionamiento de algoritmos y, en la automatización de procesos estadísticos para análisis epidemiológicos ambientales. Tras finalizar el Programa, todas estas herramientas experiméntales y de análisis y los equipos adquiridos que permiten este fortalecimiento de capacidades, estarán disponibles y se pondrán al servicio de otras IEs y redes de investigación interesadas en el tema, de las autoridades ambientales y de salud de carácter local y nacional y de agencias e instituciones internacionales, para el desarrollo de nuevos conocimientos para la toma de decisiones.

Se espera que con el proyecto **DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD EN EL VALLE DE ABURRÁ ANTIOQUIA** contribuya a mejorar la categoría de la clasificación de los grupos de investigación de Minciencias o la permanencia en las categorías de excelencia de aquellos que se encuentren actualmente en este nivel. Estos mejoramientos en la calidad de los grupos, les permitirá a futuro a acceder a nuevas convocatoria en el tema, y les proporcionará mayor visualización en la comunidad académica y científico-técnica con capacidades fortalecidas para liderar otros procesos de investigación en el tema e integrar otros procesos colaborativos y redes de conocimiento. A futuro, se propiciará que los grupos

se conviertan en líderes de la investigación y la gestión de los distintos componentes de la relación entre contaminación del aire y salud y de estrategias de estudio (medición de los contaminantes, métrica de componentes químicos, estudio de bio-aerosoles, diseño y validación de procesos, uso de técnicas satelitales, análisis multinivel, construcción de indicadores, big data, epidemiología ambiental, estadística no lineal, análisis integrados entre ciencias básicas- ciencias aplicadas, impactos genéticos de la contaminación, análisis integrado de información entre otros).

Con este programa después de finalizado, se busca consolidar el trabajo conjunto entre los grupos e instituciones participantes y proyectar esta alianza colaborativa con nuevos proyectos de investigación e intervención de carácter regional y nacional que pongan en el centro del debate ambiental la salud, el bienestar y la vida de la población, las comunidades y los ecosistemas. Para consolidar la integración a futuro entre sus co-ejecutores, el Programa ha planteado el desarrollo de un metamodelo para la integración del conocimiento que se integrará a la página web del Observatorio de Salud Ambiental, permitiendo una reflexión continua del problema convirtiéndose en un espacio de deliberación y gestión que se espera consolidar en el mediano plazo. Para asegurar su sostenibilidad, se hará una administración conjunta de la plataforma y se espera anidar los procesos de gestión y apropiación de los grupos en el mediano y largo plazo.

Como instituciones estatales de educación superior, los ejecutores del programa podrán entregar a la sociedad durante el desarrollo de la propuesta y después de finalizar, administradores, dirigentes, investigadores y en general, los profesionales que tomarán decisiones futuras con base científica sobre las acciones de prevención y protección de la salud ambiental de la población. Para garantizar esta meta, el programa contempla gestionar a nivel de los diferentes programas de pregrado y posgrado, propuestas de ajuste curricular, en las cuales participarán docentes e investigadores de las instituciones co-ejecutoras con el ánimo de presentar una mirada integrada de los objetos de conocimiento. Entre los programas que se espera beneficiar con estos procesos se pueden enumerar: Maestría en Gestión del Riesgo, Especialización en Higiene Ocupacional y Ambiental, Línea desarrollo de software, Programa de Administración en Salud, Maestría de Salud Ambiental y Maestría en Salud Pública, entre otros. Se espera poder contar con docentes participantes o formados en el programa de investigación en la implementación de los ajustes curriculares para asegurar su desarrollo y continuidad luego de finalizado el proyecto.

También se espera formar estudiantes y egresados para participar de las iniciativas de Jóvenes Investigadores de Minciencias. Igualmente, se articularán los programas de auxiliares de investigación y semilleros de investigación de la UdeA y el Politécnico, con el fin de configurar una masa crítica desde el inicio del proceso propedéutico en los campos de formación involucrados con la problemática y su solución en la región.

El conocimiento científico plasmado en artículos, un libro de Investigación, documentos técnicos, estrategias de participación ciudadana entre otros productos, visualizarán la experiencia en el AMVA como referente científico nacional e internacional para la gestión del recurso aire y continuidad de la temática de investigación como soporte para las soluciones que se continuarán demando como retos futuros. La información sólida y robusta generada en estos proyectos, se constituirá en el soporte para la toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales y de salud y para las entidades con responsabilidades sobre la salud pública. Las fuentes identificadas en cuanto a sus componentes y aportes al aire respirable, permitirán la implementación de acciones de vigilancia y control a partir de indicadores medibles y verificables que se podrán seguir en el tiempo y establecer su eficacia.

Específicamente el conocimiento y proceso metodológicos desarrollados en el proyecto, apoyarán los lineamientos de política pública del país, tanto ambientales como de salud (CONPES 3943 de 2018- medidas para el control de emisiones, CONPES 3550 de 2008- Política Integral en Salud Ambiental, Resolución 2254 de 2017- proyección de regulación de emisiones), al igual que aportarán a los programas de gestión ambiental local como el Plan Integral de Gestión de Calidad del Aire 2017-2030 y el Plan Operativo de Episodios Críticos Ambientales en sus sistemas de información y vigilancia en salud ambiental y la construcción de indicadores de seguimiento y escenario de intervención. Esta base de intervenciones del origen del $PM_{2.5}$, en el futuro, tendrán elementos de seguridad y confiabilidad para los diferentes estamentos de la sociedad y la población en general.

Para el caso de la Cuenca atmosférica de América Latina y el Caribe, cuyos altos índices de contaminación en la mayoría de las ciudades ha conllevado a la firma de un compromiso entre todos los países para disminuir este riesgo para la salud, a través de los resultados de los proyectos que abarca el Programa de Gestión del Conocimiento en Contaminación Atmosférica y Salud para el Valle de Aburrá , Colombia podrá aportar evidencias certeras y científicas sobre el efecto en la salud del $PM_{2.5}$ en relación con su composición química y biológica, aportes de sus fuentes locales e identificación de eventos regionales y sus aportes como el caso de los incendios altamente significativos demostrado por la ocurrencia de estos eventos y la disminución drástica del $PM_{2.5}$ asociado a las medidas de la emergencia sanitaria por el COVID 19, tanto en el área metropolitana como en varias ciudades del país.

La información sólida que estará disponible para los beneficiarios del programa tendrá alta incidencia a nivel mundial en especial para Naciones Unidas, de acuerdo con los programas de vigilancia epidemiológica que tienen alto peso en las organizaciones internacionales para la calificación que se otorga a los países en función de sus avances científicos para la protección y preservación de la calidad de los recursos naturales, en especial el aire.

El trabajo participativo con gobernadores, alcaldes y autoridades ambientales y otros miembros de organismos estatales y comunitarios, facilitará la comprensión e interpretación de los resultados científicos, generando a futuro mayor confianza, seguridad y firmeza en las actuaciones que demandan la intervención de los diferentes sectores implicados en las emisiones atmosféricas. Este alcance futuro representa un mayor compromiso en las responsabilidades compartidas y unánimes que se requieren en el abordaje de la compleja problemática de la calidad del aire. Para garantizar el acceso libre a la información dentro del proceso de gestión social y del conocimiento del programa, se apoyará la segunda fase del observatorio de Salud Ambiental Urbana que actualmente desarrolla parte del equipo de investigación, perfeccionando los procesos de análisis y de apropiación que permite el portal e incluir el conocimiento generado por los 7 proyectos en referencia. Además, se apoyará el sistema de vigilancia de salud ambiental que se viene consolidando en la región mediante el Acuerdo Metropolitana Nº 17 de 2019.

No puede dejarse pasar la incidencia futura de los resultados del Programa de Gestión del Conocimiento en Contaminación Atmosférica y Salud para el Valle de Aburrá como sistema integrado de las variables que determinan los efectos en la salud del contaminante criterio PM2.5 sobre la dinámica y mayor efectividad de las diferentes alianzas, convenios, redes de expertos e investigadores entre otras modalidades de cooperación científica tecnológica, que hoy operan. Además, es impactante en el futuro el talento humano capacitado de alta calidad en las instituciones participantes, en el abordaje interdisciplinario e intersectorial de este y otros fenómenos ambientales y de salud desde una perspectiva de salud pública ambiental.

Entre las redes que se contempla integrar se encentran: i) Red CANH Caribbian Aerosol Health Network, ii) International Society of Environmental Epidemiology- Latin American Chapter, ii) Nodo de Salud Ocupacional y Ambiental de Colombia, iv) RedAire, del Área Metropolitana de Valle de Aburrá, v) Red Conocimiento en Salud Ambiental, vi) Biohealth-ATLAS entre otras. Estas redes actualmente vienen trabajando en proceso de investigación colaborativos, formación en los distintos componentes de la investigación ambiental y epidemiológica y gestión social del conocimiento, apoyo y seguimiento a la política pública local y nacional, y formación de bancos de expertos y asesores que podrán soportar en la región las decisiones futuras efectivas y certeras para mejoramiento de la calidad del aire a nivel de cuencas atmosféricas de gran área e impacto, permitiendo posicionar todas las dimensiones del proyecto, especialmente del orden político y científico-técnico.

18. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Objetivo específico	Producto	Actividad	Mes											
Determinar la composición fisicoquímica de Material particulado de 2.5 µg/m3 (PM2.5) a partir de la ejecución de una campaña de medición en una zona de monitoreo tipo habitacional durante 18 meses.	Documentos de investigación	**Actividad 1:** Generación de información de monitoreo y satelital	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
										X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X				
		Actividad 2: Levantamiento de información, análisis y diseño de resultados.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
										X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X				
		Actividad 3: Diseño y ejecución de talleres con grupos sociales y poblacionales vulnerables..	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
													X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
							X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
						X			X				X	
		Actividad 4: Socialización de resultados sobre la calidad del aire y efectos en la salud	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
													X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
												X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
						X			X				X	
		Actividad 5: Seguimiento administrativo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Actividad 6: Apoyo a la supervisión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Objetivo específico	Producto	Actividad	Mes											
Determinar la asociación entre la morbilidad y la mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares y los cambios en el tiempo del PM2.5.	Artículos de investigación	**Actividad 1:** Validación de un índice ambiental y exposición a PM2.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
							X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
												X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
										X	X	X		
		Actividad 2: Análisis de eventos centinelas asociados a la contaminación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
												X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X										
		Actividad 3: Estructuración de la cohorte para la evaluación de los impactos en salud	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
												X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X									
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X										
		Actividad 4: Seguimiento clínico a la cohorte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
													X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		Actividad 5: Gestión de la información en salud y evaluación de las medidas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X							X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X									
		Actividad 6: Seguimiento administrativo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Actividad 7: Apoyo a la supervisión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Objetivo específico	Producto	Actividad	Mes											
Diseñar un metamodelo integrado de soluciones analíticas y de minería de datos entre las características del PM2.5 y los eventos en salud para el Valle de Aburrá.	Servicio de apoyo para entrenamiento especializado para científicos investigadores	**Actividad 1:** Diseño e Implementación de una bodega de datos PM2.5 y efectos en salud	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
									X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X						
		Actividad 2: Levantamiento de información experimental de eventos de contaminación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
											X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Actividad 3: Diseño y construcción de estructura física del meta-modelo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
									X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X									
		Actividad 4: Gestión de la información en salud y prevención de la contaminación atmosférica.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
													X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X										
		Actividad 5: Diseño y desarrollo de algoritmos (estructura lógica).	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
												X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X					
		Actividad 6: Actualización de plataforma web.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
									X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X				X	X				

Objetivo específico	Producto	Actividad	Mes											
		Actividad 7: Gestión y realización del Curso de Entrenamiento Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
								X	X	X	X	X		
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
									X	X				X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X										
		Actividad 8: Realización de tres (3) cursos en calidad del aire y salud pública.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
												X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
					X				X					
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
									X					
		Actividad 9: Depuración, preparación, análisis y diseño de bases de datos ambientales.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
							X	X						
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
								X	X					
		Actividad 10: Seguimiento administrativo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Actividad 11: Apoyo a la supervisión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Objetivo específico	Producto	Actividad	Mes											
Diseñar e implementar una estrategia edu-comunicacional con distintos actores sociales del territorio.	Productos de investigación en artes, arquitectura y diseño	**Actividad 1:** Co-construcción de productos artísticos y multimedia.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
											X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
				X	X						X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
								X	X	X	X	X	X	
		Actividad 2: Gestión, intercambio y transferencia del conocimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
												X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
										X	X	X	X	
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
						X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Actividad 3: Seguimiento administrativo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Actividad 4: Apoyo a la supervisión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

19. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES FINANCIERAS

					AÑO 0				
					SGR	PCJIC		UDEA	
Nº	OBJETIVO ESPECÍFICO	PRODUCTO MGA	INDICADOR MGA	ACTIVIDADES DEL PROYECTO	EFECTIVO	ESPECIE	EFECTIVO	ESPECIE	EFECTIVO
1	Determinar la composición fisicoquímica de Material particulado de 2.5 µg/m3 (PM2.5) a partir de la ejecución de una campaña de medición en una zona de monitoreo tipo habitacional durante 18 meses.	Documentos de investigación	Número de libros y/o capítulos	Actividad 1: Generación de información de monitoreo y satelital	$ 40.242.613	$ 12.722.160	$ 0	$ 11.515.173	$ 0
				Actividad 2: Levantamiento de información, análisis y diseño de resultados.	$ 40.242.613	$ 12.722.160	$ 0	$ 11.515.173	$ 0
				Actividad 3: Diseño y ejecución de talleres con grupos sociales y poblacionales vulnerables	$ 40.242.613	$ 12.722.160	$ 0	$ 11.515.173	$ 0
				Actividad 4: Socialización de resultados sobre la calidad del aire y efectos en la salud	$ 40.242.613	$ 12.722.160	$ 0	$ 11.515.173	$ 0
				Actividad 5: Seguimiento administrativo	$ 9.248.678	$ 750.000	$ 0	$ 375.000	$ 0
				Actividad 6: Apoyo a la supervisión	$ 8.985.181	$ 750.000	$ 0	$ 375.000	$ 0
2	Determinar la asociación entre la morbilidad y la mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares y los cambios en el tiempo del PM2.5.	Artículos de investigación	Número de artículos	Actividad 1: Validación de un índice ambiental y exposición a PM2.5	$ 119.790.486	$ 32.221.646	$ 0	$ 9.841.638	$ 0
				Actividad 2: Análisis de eventos centinelas asociados a la contaminación	$ 119.790.486	$ 32.221.646	$ 0	$ 9.841.638	$ 0
				Actividad 3: Estructuración de la cohorte para la evaluación de los impactos en salud	$ 119.790.486	$ 32.221.646	$ 0	$ 9.841.638	$ 0
				Actividad 4: Seguimiento clínico a la cohorte	$ 119.790.486	$ 32.221.646	$ 0	$ 9.841.638	$ 0
				Actividad 5: Gestión de la información en salud y evaluación de las medidas	$ 119.543.540	$ 32.221.646	$ 0	$ 9.841.638	$ 0
				Actividad 6: Seguimiento administrativo	$ 9.248.678	$ 625.000	$ 0	$ 312.500	$ 0
				Actividad 7: Apoyo a la supervisión	$ 8.985.181	$ 625.000	$ 0	$ 312.500	$ 0
3	Diseñar un metamodelo integrado de soluciones analíticas y de minería de datos entre las características del PM2.5 y los eventos en salud para el Valle de Aburrá.	Servicio de apoyo para entrenamiento especializado para científicos investigadores	Número de cursos	Actividad 1: Diseño e Implementación de una bodega de datos PM2.5 y efectos en salud	$ 5.116.932	$ 5.737.627	$ 0	$ 5.159.521	$ 0
				Actividad 2: Levantamiento de información experimental de eventos de contaminación	$ 5.116.932	$ 5.737.627	$ 0	$ 5.159.521	$ 0
				Actividad 3: Diseño y construcción de estructura física del meta-modelo	$ 5.116.932	$ 5.737.627	$ 0	$ 5.159.521	$ 0
				Actividad 4: Gestión de la información en salud y prevención de la contaminación atmosférica	$ 5.116.932	$ 5.737.627	$ 0	$ 5.159.521	$ 0
				Actividad 5: Diseño y desarrollo de algoritmos (estructura lógica).	$ 5.116.932	$ 5.737.627	$ 0	$ 5.159.521	$ 0
				Actividad 6: Actualización de plataforma web	$ 5.116.932	$ 5.737.627	$ 0	$ 5.159.521	$ 0
				Actividad 7: Gestión y realización del Curso de Entrenamiento Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública	$ 20.641.932	$ 5.737.627	$ 0	$ 5.159.521	$ 0
				Actividad 8: Realización de tres (3) cursos en calidad del aire y salud pública.	$ 5.116.932	$ 14.737.627	$ 0	$ 5.159.521	$ 4.500.000
				Actividad 9: Depuración, preparación, análisis y diseño de bases de datos ambientales	$ 5.116.932	$ 5.737.627	$ 0	$ 5.159.521	$ 0
				Actividad 10: Seguimiento administrativo	$ 9.248.678	$ 375.000	$ 0	$ 187.500	$ 0
				Actividad 11: Apoyo a la supervisión	$ 8.985.181	$ 375.000	$ 0	$ 187.500	$ 0
4	Diseñar e implementar una estrategia edu-comunicacional con distintos actores sociales del territorio	Productos de investigación en artes, arquitectura y diseño	Número de obras y/o productos de investigación, creación en artes, arquitectura y	Actividad 1: Co-construcción de productos artísticos y multimedia	$ 10.342.800	$ 25.690.987	$ 0	$ 22.780.346	$ 0
				Actividad 2: Gestión, intercambio y transferencia del conocimiento	$ 10.342.800	$ 25.690.987	$ 0	$ 22.780.346	$ 0
				Actividad 3: Seguimiento administrativo	$ 9.248.678	$ 1.250.000	$ 0	$ 625.000	$ 0
				Actividad 4: Apoyo a la supervisión	$ 8.985.181	$ 1.250.000	$ 0	$ 625.000	$ 0
SUB-TOTALES					$ 914.874.354	$ 330.017.483	$ 0	$ 190.265.265	$ 4.500.000
TOTALES					$ 1.439.657.102,00				

					AÑO 1				
					SGR	PCJIC		UDEA	
Nº	OBJETIVO ESPECÍFICO	PRODUCTO MGA	INDICADOR MGA	ACTIVIDADES DEL PROYECTO	EFECTIVO	ESPECIE	EFECTIVO	ESPECIE	EFECTIVO
1	Determinar la composición fisicoquímica de Material particulado de 2.5 µg/m3 (PM2.5) a partir de la ejecución de una campaña de medición en una zona de monitoreo tipo habitacional durante 18 meses.	Documentos de investigación	Número de libros y/o capítulos	Actividad 1: Generación de información de monitoreo y satelital	$ 51.040.703	$ 15.082.800	$ 0	$ 14.206.466	$ 0
				Actividad 2: Levantamiento de información, análisis y diseño de resultados.	$ 51.040.703	$ 15.082.800	$ 0	$ 14.206.466	$ 0
				Actividad 3: Diseño y ejecución de talleres con grupos sociales y poblacionales vulnerables	$ 51.040.703	$ 15.082.800	$ 0	$ 14.206.466	$ 0
				Actividad 4: Socialización de resultados sobre la calidad del aire y efectos en la salud	$ 63.504.014	$ 15.082.800	$ 0	$ 14.206.466	$ 2.750.000
				Actividad 5: Seguimiento administrativo	$ 11.891.158	$ 750.000	$ 0	$ 375.000	$ 0
				Actividad 6: Apoyo a la supervisión	$ 8.985.181	$ 750.000	$ 0	$ 375.000	$ 0
2	Determinar la asociación entre la morbilidad y la mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares y los cambios en el tiempo del PM2.5.	Artículos de investigación	Número de artículos	Actividad 1: Validación de un índice ambiental y exposición a PM2.5	$ 86.654.262	$ 34.110.158	$ 0	$ 11.994.673	$ 3.250.000
				Actividad 2: Análisis de eventos centinelas asociados a la contaminación	$ 74.190.951	$ 34.110.158	$ 0	$ 11.994.673	$ 500.000
				Actividad 3: Estructuración de la cohorte para la evaluación de los impactos en salud	$ 74.190.951	$ 34.110.158	$ 0	$ 11.994.673	$ 500.000
				Actividad 4: Seguimiento clínico a la cohorte	$ 74.190.951	$ 34.110.158	$ 0	$ 11.994.673	$ 500.000
				Actividad 5: Gestión de la información en salud y evaluación de las medidas	$ 73.944.005	$ 34.110.158	$ 0	$ 11.994.673	$ 500.000
				Actividad 6: Seguimiento administrativo	$ 11.891.158	$ 625.000	$ 0	$ 312.500	$ 0
				Actividad 7: Apoyo a la supervisión	$ 8.985.181	$ 625.000	$ 0	$ 312.500	$ 0
3	Diseñar un metamodelo integrado de soluciones analíticas y de minería de datos entre las características del PM2.5 y los eventos en salud para el Valle de Aburrá.	Servicio de apoyo para entrenamiento especializado para científicos investigadores	Número de cursos	Actividad 1: Diseño e Implementación de una bodega de datos PM2.5 y efectos en salud	$ 6.110.576	$ 6.786.800	$ 0	$ 6.355.652	$ 0
				Actividad 2: Levantamiento de información experimental de eventos de contaminación	$ 6.110.576	$ 6.786.800	$ 0	$ 6.355.652	$ 0
				Actividad 3: Diseño y construcción de estructura física del meta-modelo	$ 6.110.576	$ 6.786.800	$ 0	$ 6.355.652	$ 0
				Actividad 4: Gestión de la información en salud y prevención de la contaminación atmosférica	$ 6.110.576	$ 6.786.800	$ 0	$ 6.355.652	$ 0
				Actividad 5: Diseño y desarrollo de algoritmos (estructura lógica).	$ 6.110.576	$ 6.786.800	$ 0	$ 6.355.652	$ 0
				Actividad 6: Actualización de plataforma web	$ 6.110.576	$ 6.786.800	$ 0	$ 6.355.652	$ 0
				Actividad 7: Gestión y realización del Curso de Entrenamiento Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública	$ 6.110.576	$ 6.786.800	$ 0	$ 6.355.652	$ 0
				Actividad 8: Realización de tres (3) cursos en calidad del aire y salud pública.	$ 6.110.576	$ 6.786.800	$ 0	$ 6.355.652	$ 0
				Actividad 9: Depuración, preparación, análisis y diseño de bases de datos ambientales	$ 6.110.576	$ 6.786.800	$ 0	$ 6.355.652	$ 0
				Actividad 10: Seguimiento administrativo	$ 11.891.158	$ 375.000	$ 0	$ 187.500	$ 0
				Actividad 11: Apoyo a la supervisión	$ 8.985.181	$ 375.000	$ 0	$ 187.500	$ 0
4	Diseñar e implementar una estrategia edu-comunicacional con distintos actores sociales del territorio	Productos de investigación en artes, arquitectura y diseño	Número de obras y/o productos de investigación, creación en artes, arquitectura y	Actividad 1: Co-construcción de productos artísticos y multimedia.	$ 12.412.800	$ 30.412.267	$ 0	$ 28.162.932	$ 0
				Actividad 2: Gestión, intercambio y transferencia del conocimiento	$ 21.113.700	$ 30.412.267	$ 0	$ 28.162.932	$ 0
				Actividad 3: Seguimiento administrativo	$ 11.891.158	$ 1.250.000	$ 0	$ 625.000	$ 0
				Actividad 4: Apoyo a la supervisión	$ 8.985.181	$ 1.250.000	$ 0	$ 625.000	$ 0
SUB-TOTALES					$ 771.824.290	$ 358.787.723	$ 0	$ 233.325.958	$ 8.000.000
TOTALES					**$ 1.371.937.971**				

					AÑO 2				
					SGR	PCJIC		UDEA	
Nº	OBJETIVO ESPECÍFICO	PRODUCTO MGA	INDICADOR MGA	ACTIVIDADES DEL PROYECTO	EFECTIVO	ESPECIE	EFECTIVO	ESPECIE	EFECTIVO
1	Determinar la composición fisicoquímica de Material particulado de 2.5 µg/m3 (PM2.5) a partir de la ejecución de una campaña de medición en una zona de monitoreo tipo habitacional durante 18 meses.	Documentos de investigación	Número de libros y/o capítulos	Actividad 1: Generación de información de monitoreo y satelital	$ 10.798.091	$ 7.464.240	$ 0	$ 3.441.293	$ 0
				Actividad 2: Levantamiento de información, análisis y diseño de resultados.	$ 10.798.091	$ 7.464.240	$ 0	$ 3.441.293	$ 0
				Actividad 3: Diseño y ejecución de talleres con grupos sociales y poblacionales vulnerables	$ 10.798.091	$ 7.464.240	$ 0	$ 3.441.293	$ 0
				Actividad 4: Socialización de resultados sobre la calidad del aire y efectos en la salud	$ 10.798.091	$ 7.464.240	$ 0	$ 3.441.293	$ 0
				Actividad 5: Seguimiento administrativo	$ 5.284.959	$ 750.000	$ 0	$ 375.000	$ 0
				Actividad 6: Apoyo a la supervisión	$ 7.701.584	$ 750.000	$ 0	$ 375.000	$ 0
2	Determinar la asociación entre la morbilidad y la mortalidad por eventos respiratorios y cardiovasculares y los cambios en el tiempo del PM2.5.	Artículos de investigación	Número de artículos	Actividad 1: Validación de un índice ambiental y exposición a PM2.5	$ 10.844.005	$ 7.688.059	$ 0	$ 2.778.035	$ 500.000
				Actividad 2: Análisis de eventos centinelas asociados a la contaminación	$ 10.844.005	$ 7.688.059	$ 0	$ 2.778.035	$ 500.000
				Actividad 3: Estructuración de la cohorte para la evaluación de los impactos en salud	$ 10.844.005	$ 7.688.059	$ 0	$ 2.778.035	$ 500.000
				Actividad 4: Seguimiento clínico a la cohorte	$ 10.844.005	$ 7.688.059	$ 0	$ 2.778.035	$ 500.000
				Actividad 5: Gestión de la información en salud y evaluación de las medidas	$ 10.844.005	$ 7.688.059	$ 0	$ 2.778.035	$ 500.000
				Actividad 6: Seguimiento administrativo	$ 5.284.959	$ 625.000	$ 0	$ 312.500	$ 0
				Actividad 7: Apoyo a la supervisión	$ 7.701.584	$ 625.000	$ 0	$ 312.500	$ 0
3	Diseñar un metamodelo integrado de soluciones analíticas y de minería de datos entre las características del PM2.5 y los eventos en salud para el Valle de Aburrá.	Servicio de apoyo para entrenamiento especializado para científicos investigadores	Número de cursos	Actividad 1: Diseño e Implernentación de una bodega de datos PM2.5 y efectos en salud	$ 993.645	$ 3.400.773	$ 0	$ 1.571.130	$ 0
				Actividad 2: Levantamiento de información experimental de eventos de contaminación	$ 993.645	$ 3.400.773	$ 0	$ 1.571.130	$ 0
				Actividad 3: Diseño y construcción de estructura física del meta-modelo	$ 993.645	$ 3.400.773	$ 0	$ 1.571.130	$ 0
				Actividad 4: Gestión de la información en salud y prevención de la contaminación atmosférica	$ 993.645	$ 3.400.773	$ 0	$ 1.571.130	$ 0
				Actividad 5: Diseño y desarrollo de algoritmos (estructura lógica).	$ 993.645	$ 3.400.773	$ 0	$ 1.571.130	$ 0
				Actividad 6: Actualización de plataforma web	$ 993.645	$ 3.400.773	$ 0	$ 1.571.130	$ 0
				Actividad 7: Gestión y realización del Curso de Entrenamiento Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública	$ 993.645	$ 3.400.773	$ 0	$ 1.571.130	$ 0
				Actividad 8: Realización de tres (3) cursos en calidad del aire y salud pública.	$ 993.645	$ 3.400.773	$ 0	$ 1.571.130	$ 0
				Actividad 9: Depuración, preparación, análisis y diseño de bases de datos ambientales	$ 993.645	$ 3.400.773	$ 0	$ 1.571.130	$ 0
				Actividad 10: Seguimiento administrativo	$ 5.284.959	$ 375.000	$ 0	$ 187.500	$ 0
				Actividad 11: Apoyo a la supervisión	$ 7.701.584	$ 375.000	$ 0	$ 187.500	$ 0
4	Diseñar e implementar una estrategia edu-comunicacional con distintos actores sociales del territorio	Productos de investigación en artes, arquitectura y diseño	Número de obras y/o productos de investigación, creación en artes, arquitectura y	Actividad 1: Co-construcción de productos artísticos y multimedia.	$ 0	$ 15.175.147	$ 0	$ 6.632.586	$ 0
				Actividad 2: Gestión, intercambio y transferencia del conocimiento	$ 0	$ 15.175.147	$ 0	$ 6.632.586	$ 0
				Actividad 3: Seguimiento administrativo	$ 5.284.959	$ 1.250.000	$ 0	$ 625.000	$ 0
				Actividad 4: Apoyo a la supervisión	$ 7.701.584	$ 1.250.000	$ 0	$ 625.000	$ 0
SUB-TOTALES					$ 158.301.356	$ 135.254.507	$ 0	$ 58.060.692	$ 2.500.000
TOTALES					$ 354.116.555				

20. ANÁLISIS DE LICENCIAS Y PERMISOS

El proyecto "*DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD EN EL VALLE DE ABURRÁ ANTIOQUIA"* no contempla el trámite de licencias y/ permisos toda vez que el permiso requerido para la toma y análisis de muestra se encuentra contemplado en la acreditación por parte del IDEAM para el laboratorio GHYGAM a través de la resolución 0648 del 03 de julio de 2019.

Así mismo, el permiso para el estudio de cohorte en salud en la zona de estudio, fue otorgado a través del aval de comité ética para el seguimiento de salud presentado ante el SIGP de MinCiencias.

21. ANEXOS MGA

1. Carta de participación Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.
2. Carta de participación Universidad de Antioquia.
3. Resolución 47128 de 27 de julio de 2020 Universidad de Antioquia *Por la cual se delegan funciones al Vicerrector de Investigación para el cumplimiento de trámites ante las instancias que integran el Sistema General de Regalías.*
4. Certificado de titularidad.
5. Certificado de precios promedio
6. Certificado de no financiación
7. Certificado de requisitos no aplicable
8. Proyecto MinCiencias - Código SIGP 75842
9. Modelo de Gobernanza firmado entre el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Universidad de Antioquia.
10. Certificado Ad honorem Coinvestigador fila 23 presupuesto, ítem talento Humano: Laura Dawidowski por la cual certifica participación en el proyecto sin remuneración económica
11. Certificado Ad honorem Co-investigador fila 22 presupuesto, ítem talento Humano: Laura Rodríguez por la cual certifica participación en el proyecto sin remuneración económica
12. Certificado Ad honorem Coinvestigador fila 24 presupuesto, ítem talento Humano: Fernán Villa por la cual certifica participación en el proyecto sin remuneración económica
13. Acuerdo de posgrados Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid procesos de capacitación y formación científica.
14. Acuerdo de posgrados de la Universidad de Antioquia procesos de capacitación y formación científica.
15. Certificado pago exterior PCJIC *por la cual se reglamenta el valor que el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid practica retención en la fuente sobre pagos por contratos de servicios desde el exterior siempre y cuando no exista tratado de doble imposición con el país que presta el servicio.*
16. Escalafón docente PCJIC y UdeA *por la cual se establecen los rubros económicos en calidad de contrapartida por hora de dedicación semanal para cada co-investigador asociado al proyecto.*
    NOTA: Los valores de talento humando que serán financiado por el Sistema General de Regalías se calculo con base a la Resolución 426 de 2014 de Colciencias.
17. Acto viáticos PCJIC por *la cual se establece el valor de viáticos destinados a personal vinculado del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid dependiendo de la ciudad destino.*
18. Acto viáticos UDEA *por la cual se establece el valor de viáticos destinados a personal vinculado de la Universidad de Antioquia dependiendo de la ciudad destino.*
19. Acuerdo directivo # 05 *por medio de la cual se adopta el manual de formación y perfeccionamiento del personal docente del PCJIC.*
20. Asignaciones presupuestales PCJIC para capacitación.
21. Presupuesto.

22. Estudio de costos.
23. Cotizaciones unificadas.
24. Documento Técnico
25. Resolución 426 Colciencias: *Resolución base para el cálculo de honorarios para el personal vinculado al proyecto y financiado por el Sistema General de Regalías*
26. Certificado de acreditación de laboratorios de análisis químico
27. Constancia infraestructura UdeA: *Por la cual se certifica el valor de contrapartida de la Universidad de Antioquia en infraestructura.*
28. Resolución 201805000008 PCJIC: *Resolución base para el cálculo de contrapartida de infraestructura del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.*
29. Resolución rectoral para formación profesora Dora Luz Yepes Palacio: *Resolución rectoral por la cual se ejemplifica los criterios y requisitos de participación de los candidatos docentes vinculados a las instituciones de educación superior.*
30. Ejemplo de redes de investigación.
31. Tasa de cambio empleada para el cálculo de valores en pesos colombianos se determinó a partir de la TRM correspondiente al 2020/08/19 según reporte del Banco de la Republica.

22. BIBLIOGRAFÍA

[1] Gobernación de Caldas, “Plan de desarrollo 2020-2023. Unidos es posible.” 2020.

[2] Gobernación de Risaralda, “Plan departamental de desarrollo 2020-2023. Risaralda sentimiento de todos.” .

[3] Gobernación de Quindío, “Plan departamental de desarrollo 2020-2023. Tú y yo somos Quindío.” .

[4] Gobernación de Antioquia, “Plan de desarrollo Unidos por la vida 2020-2023.” .

[5] OCDE, “Perspectivas ambientales de la OCDE hacia 2050,” 2012.

[6] D. Shindell *et al.*, “Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security,” *Science (80-.).*, vol. 335, pp. 183–189, 2012.

[7] M. Friedrich, “Air Pollution Highest in World’s Poorest Cities,” *JAMA2*, vol. 3, no. 7, p. 259, 2016.

[8] USEPA, “Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Compendium Method TO-13A: Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS),” *Cent. Environ. Res. Inf. Off. Res. Dev. U.S. Environ. Prot. Agency Cincinnati, OH 45268*, vol. II, no. EPA/625/R-96/010b, p. 78, 1999.

[9] D. S. Suarez Moreno and J. G. Piñeros Jimenez, “Sistematización de experiencias sobre sistemas de vigilancia de calidad del aire y salud en distintas ciudades de Latinoamérica y el Caribe,” in *VII Congreso Colombiano y conferencia internacional de calidad del aire y salud pública*, 2019, pp. 1–14.

[10] IDEAM, “Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2016.” Bogotá, 2017.

[11] Area Metropolitana del Valle de Aburrá, “Presentación del plan operacional de episodios críticos de contaminación Atmosférica- POECA en el marco del plan de descontaminación del Valle de Aburrá.” Medellín - Colombia, 2016.

[12] L. A. Rodríguez *et al.*, “Prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma y asociación con contaminación atmosférica en preescolares de Bucaramanga, Colombia,” *Biomédica*, 2010.

[13] L. C. Mendoza-Zapata, L. Y. Orozco-Jiménez, L. M. Zapata-Restrepo, and J. A. Palacio-Baena, “Genotoxicity in human lymphocytes exposed to PM10 from three sites in the Valle de Aburrá (Antioquia),” *Rev. Salud Publica*, vol. 15, no. 2, pp. 294–306, 2013.

[14] L. A. Rodríguez-Villamizar, N. Y. Rojas-Roa, and J. A. Fernández-Niño, “Short-term joint effects of ambient air pollutants on emergency department visits for respiratory and circulatory diseases in Colombia, 2011–2014,” *Environ. Pollut.*, 2019.

[15] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, *Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburrá*, Primera ed. Medellín, 2018.

[16] Area Metropolitana del Valle de Aburrá and Universidad Pontificia Bolivariana, “Convenio interadministrativo 256 de 2013.” 2013.

[17] Area Metropolitana del Valle de Aburrá, “Informe Anual Aire.” 2019.

[18] Hei and IHME, “A SPECIAL REPORT ON GLOBAL EXPOSURE TO AIR POLLUTION AND ITS DISEASE BURDEN,” 2019.

[19] M. Neira and A. Prüss-Ustün, “Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the environmental burden of disease,” *Toxicology Letters*. p. 176, 2016.

[20] B. Jacquemin *et al.*, “Ambient air pollution and adult asthma incidence in six european cohorts (Escape),” *Environ. Health Perspect.*, vol. 123, no. 6, pp. 613–621, 2015.

[21] P. Achakulwisut, M. Brauer, P. Hystad, and S. C. Anenberg, “Global, national, and urban burdens of paediatric asthma incidence attributable to ambient NO 2 pollution: estimates from global datasets,” *Lancet Planet. Heal.*, vol. 3, no. 4, pp. e166–e178, 2019.

[22] B. Bowe, Y. Xie, T. Li, Y. Yan, H. Xian, and Z. Al-Aly, “The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM 2·5 air pollution,” *Lancet Planet. Heal.*, vol. 2, no. 7, pp. e301–e312, 2018.

[23] I. Romieu *et al.*, “Multicity Study of Air Pollution and Mortality in Latin America (the ESCALA Study),” 2012.

[24] CEPAL, “El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina y el Caribe.” p. 148, 2014.

[25] Clean Air Institute, “La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica,” *Clean Air Inst.*, p. 36, 2012.

[26] DNP, “Calidad del aire: Una prioridad de política pública en Colombia. Febrero 2018,” 2018. [Online]. Available: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentación Calidad del Aire 15_02_2018.pdf.

[27] Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, “Resolución 2254.” p. 11, 2017.

[28] Area Metropolitana del Valle de Aburrá and Politecnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, “Convenio interadministrativo 1215 de 2018.” p. 225, 2019.

[29] M. Marmot and R. Bell, “Social determinants and non-communicable diseases: Time for integrated action,” *BMJ*, 2019.

[30] J. H. Seinfeld and S. N. Pandis, *ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS From Air Pollution to Climate Change SECOND EDITION*. 2006.

[31] OMS, “La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud,” 2016. [Online]. Available: https://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact.

[32] Departamento Nacional de Planeación, “CONPES 3180 de 2002.” 2002.

[33] Departamento Nacional de Planeación, “Visión Colombia 2019 de Ciencia y Tecnología.” 2006.

[34] República de Colombia, “Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018.” 2014.

[35] Departamento Nacional de Planeación, “CONPES 3866.” 2016.

[36] M. de E. Nacional, “Plan Decenal de Educación – PDE – 2016-2026.” 2016.

[37] Organización de las Naciones Unidas, “Declaración De Estocolmo Sobre El Medio Ambiente Humano,” in *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano*, 1972.

[38] OMS, “Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre,” 2005.

[39] Organización de las Naciones Unidas, “Qué es ‘Río+20.’” p. 20, 2019.

[40] Organización de las Naciones Unidas, “UNEA 1 Resolución 7 en Calidad del Aire del 2014.” 2016.

[41] ONU, “Aprobación del Acuerdo de París.,” *Conv. Marco las Nac. Unidas sobre Cambio Climático*, 2015.

[42] ONU, “Objetivo11: Ciudades y Comunidades Sostenibles. Objetivos de Desarrollo Sostenible.” 2015.

[43] “Política Nacional de Educación Ambiental –SINA,” 2002. [Online]. Available: http://cmap.upb.edu.co/rid=1195259861703_152904399_919/politica_educacion_amb.pdf.

[44] Consejo Nacional de Política Económica y Social, “CONPES 3344.” 2005.

[45] Ministerio de Comercio, “CONPES 3550.” 2008.

[46] Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, “Política de Prevencion y Control de la Contaminación del Aire.” 2010.

[47] Ministerio de Salud y Protección Social, “Dimensión Salud Ambiental.” 2017.

[48] Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, “Estrategia Nacional de apropiación social de la ciencia, la tecnología y la innovación.” 2017.

[49] Departamento Nacional de Planeación, “CONPES 3943.” 2018.

[50] Congreso de la República de Colombia, “Ley 29 de 1990.” 1990.

[51] Congreso de la República de Colombia, “Ley 1530 de 2012.” 2012.

[52] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, “Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá,” p. 163, 2017.

[53] E. Martínez-López and P. A. Díaz-Valencia, “Respirar aire contaminado es tan nocivo como fumar cigarrillo,” *Rev. Salud Publica*, 2015.

[54] E. Martínez López, C. Quiroz, and J. Rúa, “Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente*,” *Fac. Nac. Salud Pública El Escen. para la salud pública desde la Cienc.*, 2011.

[55] Area Metropolitana del Valle de Aburrá, *Caracterización y análisis de la Contribución de Fuentes de Material particulado en la concentración PM2.5*. Medellín - Colombia: Libro Arte Medellín, 2010.

[56] B. A. Begum, E. Kim, S. K. Biswas, and P. K. Hopke, “Investigation of sources of atmospheric aerosol at urban and semi-urban areas in Bangladesh,” *Atmos. Environ.*, vol. 38, no. 19, pp. 3025–3038, 2004.

[57] B. A. Begum, P. K. Hopke, and W. Zhao, “Source identification of fine particles in Washington, DC, by expanded factor analysis modeling,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 39, no. 4, pp. 1129–1137, 2005.

[58] S. G. Brown, A. Frankel, and H. R. Hafner, “Source apportionment of VOCs in the Los Angeles area using positive matrix factorization,” *Atmos. Environ.*, vol. 41, no. 2, pp. 227–237, 2007.

[59] O. Pindado, P. R., and S. García, “Desarrollo del Modelo de Factorización de la Matriz Positiva (PMF) al Estudio Anual de la Composición Orgánica del PM2.5 en Chapinería,” *Cent. Investig. Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*, p. 64, 2013.

[60] F. A. Vargas and N. Y. Rojas, “Chemical composition and mass closure for airborne particulate matter in Bogotá,” *Ing. e Investig.*, vol. 30, no. 2, pp. 105–115, 2010.

[61] E. O. Talbott, J. R. Rager, S. Benson, L. Ann Brink, R. A. Bilonick, and C. Wu, “A case-crossover analysis of the impact of PM2.5 on cardiovascular disease hospitalizations for selected CDC tracking states,” *Environ. Res.*, 2014.

[62] D. W. Dockery *et al.*, “An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities,” *N. Engl. J. Med.*, 1993.

[63] D. Plass *et al.*, “Quantifying the burden of disease due to premature mortality in Hong Kong using standard expected years of life lost,” *BMC Public Health*, 2013.

[64] R. D. Peng *et al.*, “Acute effects of ambient ozone on mortality in Europe and North America: Results from the APHENA study,” *Air Qual. Atmos. Heal.*, 2013.

[65] T. C. Erren, M. Jacobsen, and C. Piekarski, “Synergy between asbestos and smoking

on lung cancer risks," *Epidemiology*, 1999.

[66] H. I. Morrison, P. J. Villeneuve, J. H. Lubin, and D. E. Schaubel, "Radon-progeny exposure and lung cancer risk in a cohort of Newfoundland fluorspar miners," *Radiat. Res.*, 1998.

[67] A. S. Tsao *et al.*, "Scientific advances in lung cancer 2015," *Journal of Thoracic Oncology*. 2016.

[68] S. Batterman, L. Xu, F. Chen, F. Chen, and X. Zhong, "Characteristics of PM2.5 concentrations across Beijing during 2013–2015," *Atmos. Environ.*, 2016.

[69] I. Romieu *et al.*, "Estudio de Salud y Contaminación del Aire en Latinoamérica (Estudio ESCALA)," 2012.

[70] Instituto Nacional de Salud and Ministerio de Salud, "Carga de Enfermedad ambiental en Colombia, informe técnico especial 10 observatorio nacional de salud." 2018.

[71] Banco Internacional de Reconstrucción y Desarrollo, "COLOMBIA 2006-2010: UNA VENTANA DE OPORTUNIDAD." 2007.

[72] M. Gómez Marín, E. Posada Restrepo, and Area Metropolitana del Valle de Aburrá, "The efect of the diesel fuel sulphur content on the PM2.5 pollution problem in the aburrá valley region around Medellín," in *8th International Conference, Air Quality Science and Application*, 2012.

[73] M. Gómez Marín, E. Posada Restrepo, and Area Metropolitana del Valle de Aburrá, "Study of stationary combustion source fine particulate matter (PM2.5) emissions and chemical compositions and their relationships to operation conditions," in *101 Annual Meeting And Exhibition Of The Air And Waste Management Association AWMA*, 2011.

[74] M. Gómez, J. Saldarriaga, M. Correa, E. Posada, and F. Castrillon, "Modelación estadística de los aportes de las vías como fuentes de emision a las partículas totales en suspension según modelo ...," *Dyna*, 2007.

[75] R. M. Bowers, I. B. McCubbin, A. G. Hallar, and N. Fierer, "Seasonal variability in airborne bacterial communities at a high-elevation site," *Atmos. Environ.*, vol. 50, pp. 41–49, 2012.

[76] T. Maki *et al.*, "Variations in the structure of airborne bacterial communities in Tsogt-Ovoo of Gobi desert area during dust events," *Air Qual. Atmos. Heal.*, vol. 10, no. 3, pp. 249–260, 2017.

[77] C. Cao *et al.*, "Inhalable microorganisms in Beijing's PM2.5 and PM10 pollutants during a severe smog event," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 48, pp. 14499–1507, 2014.

[78] A. Franzetti, I. Gandolfi, E. Gaspari, R. Ambrosini, and G. Bestetti, "Seasonal variability of bacteria in fine and coarse urban air particulate matter," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 90, no. 2, pp. 745–753, 2011.

[79] V. Bertolini *et al.*, "Temporal variability and effect of environmental variables on airborne

bacterial communities in an urban area of Northern Italy," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 97, no. 14, pp. 6561–6570, 2013.

[80] A. C. Woo *et al.*, "Temporal variation in airborne microbial populations and microbially-derived allergens in a tropical urban landscape," *Atmos. Environ.*, vol. 74, pp. 291–300, 2013.

[81] S. Yooseph *et al.*, "A metagenomic framework for the study of airborne microbial communities," *PLoS One*, vol. 8, no. 12, 2013.

[82] S. Genitsaris, N. Stefanidou, M. Katsiapi, K. A. Kormas, U. Sommer, and M. Moustaka-Gouni, "Variability of airborne bacteria in an urban Mediterranean area (Thessaloniki, Greece)," *Atmos. Environ.*, vol. 157, pp. 101–110, 2017.

[83] E. Kalisa *et al.*, "Chemical and biological components of urban aerosols in Africa: Current status and knowledge gaps," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 6, p. 941, 2019.

[84] W. Guo, J. Zhang, X. Lou, and Z. Fang, "Influence of heat events on the composition of airborne bacterial communities in urban ecosystems," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 10, p. 2295, 2018.

[85] A. Grinn-Gofroń and A. Strzelczak, "Changes in concentration of Alternaria and Cladosporium spores during summer storms," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 57, no. 5, pp. 759–768, 2013.

[86] X. Rodó *et al.*, "Tropospheric winds from northeastern China carry the etiologic agent of Kawasaki disease from its source to Japan," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 22, pp. 7952–7957, 2014.

[87] L. Mueller-Annelling, E. Avol, J. M. Peters, and P. S. Thorne, "Ambient endotoxin concentrations in PM10 from Southern California," *Environ. Health Perspect.*, vol. 112, no. 5, pp. 583–588, 2004.

[88] B. N. Duncan *et al.*, "Satellite data of atmospheric pollution for US air quality applications: Examples of applications, summary of data end-user resources, answers to FAQs, and common mistakes to avoid," *Atmos. Environ.*, vol. 94, pp. 647–662, 2014.

[89] E. A. Cororia-Zambrano and R. I. Rojas-Caldelas, "Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana: Mexicali, Baja California, México," *Estud. Front.*, vol. 10, no. 20, pp. 79–102, 2009.

[90] J. A. Zamudio Peña, "Estrategias para mitigar la contaminación del aire en zonas aledañas a grandes avenidas de Bogotá," 2016.

[91] AMVA, Clean Air Institute, and Universidad Pontificia Bolivariana, "ESTRATEGIAS AMBIENTALES INTEGRADAS Entregable 7 Documento final del PIGECA," 2017.

[92] DANE, "Proyecciones y retroproyecciones de población," 2020. [Online]. Available: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion.

[93] Ministerio de Salud and Ministerio del Ambiente, *Resolución 1164 de 2002: Por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares*, vol. 1. 2002, p. 105.

[94] K. M. Wiig, “Integrating intellectual capital and knowledge management,” *Long Range Plann.*, 1997.

[95] M. A. F. Ragab and A. Arisha, “Knowledge management and measurement: A critical review,” *Journal of Knowledge Management*. 2013.

[96] Universitat Autònoma de Barcelona, “Transferecia del conocimiento.”



MIRIAM GOMEZ MARIN
RESPONSABLE PROYECTO
POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
FECHA: SEPTIEMBRE 21 DE 2020