



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**VARIACIÓN EN LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR FUENTES
FIJAS DENTRO DE LA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL DE LAS CUENCAS DEL RÍO NEGRO Y NARE – CORNARE: UNA
ESTRATEGIA PARA UN CONTROL Y SEGUIMIENTO EFICIENTE.**

Autora

Laura Marcela Valencia Zapata

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2019



VARIACIÓN EN LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR FUENTES FIJAS DENTRO
DE LA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DEL RÍO
NEGRO Y NARE – CORNARE: UNA ESTRATEGIA PARA UN CONTROL Y SEGUIMIENTO
EFICIENTE

Laura Marcela Valencia Zapata

Informe de práctica como requisito para optar al título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ASESOR INTERNO

Cristian Botero Álvarez, Ingeniero Sanitario

ASESOR EXTERNO

Damaris Aristizábal Velásquez, Ingeniera química especialista en Gerencia de Proyectos

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2019

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS	4
2.1. General:.....	4
2.2. Específicos:.....	4
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1. Fuentes fijas de emisiones atmosféricas:	5
3.2. Normatividad ambiental vigente en Colombia para emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas	7
3.3. Actividad industrial en Colombia y las emisiones generadas.....	10
3.4. Calidad del aire en la jurisdicción de CORNARE - Aporte de fuentes fijas.....	11
3.5. Sistemas de Información Geográfica – SIG –	14
4. METODOLOGÍA	15
4.1. Área de estudio:	15
4.2. Cuantificación de la variación en las emisiones generadas por fuentes fija	15
4.2.1. Recolección de datos:.....	16
4.2.2. Cálculos	17
4.3. Caracterización espacial de las fuentes fijas.	17
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	18
5.1. Fuentes fijas en la jurisdicción.....	18
5.2. Emisiones generadas por las fuentes fijas de la jurisdicción en los últimos cinco (5) años... ..	20
5.3. Variación de las emisiones de contaminantes criterio (Material particulado, Óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre) a lo largo de los últimos cinco (5) años.	24
5.4. Georreferenciación de las fuentes fijas, donde se muestran las variaciones en las emisiones de las industrias durante los últimos cinco (5) años.	26
6. CONCLUSIONES	30
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

RESUMEN

El crecimiento del sector industrial se ha convertido en una causa de contaminación en el aire, generando una gran preocupación a nivel mundial por las afectaciones que esto genera sobre la salud tanto de los ecosistemas como de los seres humanos y su calidad de vida. Es por ello que el papel de las Autoridades ambientales es fundamental para permitir que el desarrollo vaya de la mano con la sostenibilidad y los bajos niveles de contaminación; es así, como diariamente las Corporaciones Autónomas Regionales, deben trabajar en pro de regular el cumplimiento de la normatividad vigente, y no solo esto, sino para promover el respeto a los recursos que prestan sus servicios a la humanidad.

En este trabajo realizó una actualización del inventario de fuentes fijas de emisiones atmosféricas en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de las cuencas del Rionegro y Nare – CORNARE; con base en esto se evaluaron las variaciones de las emisiones de los contaminantes criterio (Material Particulado, Óxidos de Nitrógeno y Dióxidos de azufre) durante el periodo comprendido entre los años 2013 y 2019. Se encontró que actualmente existen 130 industrias que cuentan con 455 fuentes fijas de las cuales, 350 están activas; en general, las fuentes fijas cumplen con la normatividad vigente en Colombia (resolución 909 de 2008) para los contaminantes analizados. La regional que posee la mayor densidad de industrias en la jurisdicción es Valles de San Nicolás con el 83,7% y el contaminante más emitido es el dióxido de azufre (SO₂). Adicionalmente, se encontró que las emisiones de material particulado han disminuido significativamente y que las emisiones de compuestos orgánicos volátiles han aumentado. En ese sentido, es importante continuar realizando un seguimiento detallado a las emisiones de material particulado evitando que estas aumenten; en el caso del SO₂ se hace necesario realizar un control más exhaustivo con el fin de controlar el aumento de este contaminante en la atmosfera, igualmente con los VOC, los cuales requieren un poco más de detalle, puesto que aún no se encuentran regulados por la normatividad colombiana.

Finalmente, se concluye que, el aporte de contaminantes al aire por las fuentes fijas del oriente Antioqueño es bajo, lo que indica que los planes de control especial y descontaminación liderados por CORNARE han sido efectivos junto con la disposición del sector industrial para participar en convenios de reconversión tecnológica y de migración a combustibles más limpios.

Palabras clave: Emisiones atmosféricas, fuentes fijas, variaciones históricas, CORNARE

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación en el aire se ha convertido en una de las crecientes preocupaciones a nivel mundial debido al riesgo medioambiental por la afectación directa que causa sobre la salud de los ecosistemas y de los humanos, con efectos sobre ellos como alergias, enfermedades cerebrovasculares, infecciones respiratorias agudas y cáncer de pulmón, que en su mayoría pueden llevar incluso a la muerte prematura de las personas expuestas a la contaminación incluso en bajas concentraciones. Entre los principales contaminantes de la atmósfera se pueden encontrar tanto gases (SO_x, NO_x, CO, O₃) como material particulado (PM_{2.5}, PM₁₀ y Partículas Suspendidas Totales -PST) los cuales tienen un alto nivel de peligrosidad (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2019)

El origen de dichos contaminantes que a menudo causan problemas es diverso, sin embargo, la mayor fuente es antrópica y se deriva de la quema de combustibles fósiles usados como fuente de energía para el funcionamiento de los crecientes sectores industrial, transporte y construcción, que se mueven por la alta demanda ocasionada por el crecimiento poblacional del siglo XXI, lo que implica que los indicadores de consumo tengan una tendencia a incrementar (Yanacallo Anchatuña & Castro Quezada, 2018). Todo esto contribuye a un constante aumento de las emisiones de las fuentes contaminantes que se ha convertido en una problemática de especial interés, y que requiere cada vez más atención de la sociedad en general.

Es ahí cuando se hace necesario que diferentes entidades gubernamentales nacionales y locales, se ocupan de controlar a los responsables de contaminar la atmósfera, como es el caso de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE, donde deben converger los esfuerzos tanto del sector productivo como de la autoridad ambiental para de alguna forma mitigar las afectaciones y disminuir las emisiones. Para que este trabajo sea exitoso, es fundamental caracterizar las fuentes de contaminación, el tipo de contaminantes generados por la misma, la concentración emitida y su forma de dispersión en la atmósfera, todo esto como la base para el desarrollo de una buena gestión ambiental dirigida a mejorar el control y mitigación de la contaminación atmosférica (Cuesta-Santos et al., 1988).

Por lo anterior y con el fin de apoyar la función misional de CORNARE en cuanto al control y seguimiento de las fuentes fijas de contaminación atmosférica, en este estudio se pretende detectar el cambio en el tiempo de los niveles de emisión de las industrias, para esto se compilan los datos y se calcula el porcentaje de variación en la concentración de los contaminantes generados por cada fuente fija durante el periodo de tiempo comprendido entre 2013 y 2019, como un indicador para reconocer tanto aquellas que han reducido sus emisiones como aquellas que han aumentado.

Adicionalmente, con el objetivo de presentar la información encontrada en el estudio de forma clara y accesible se genera una base de datos en Microsoft Excel unida a datos georreferenciados para producir un mapeo representativo usando sistemas de información geográfica (SIG) como una herramienta que, al representar gráfica y espacialmente las emisiones con su correspondiente ubicación, permite establecer prioridades, facilitando la toma de decisiones, donde se involucre la industria y se definan estrategias de prevención, control y reducción de contaminantes más rigurosas y adecuadas en pro de proteger el ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1. General:

Comparar las emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas de la jurisdicción de CORNARE con el registro histórico de las mismas, mediante la cuantificación del porcentaje de variación en la concentración de cada contaminante emitido; y adicionalmente, con apoyo de Sistemas de Información Geográfica - SIG, georreferenciar las industrias responsables.

2.2. Específicos:

- Recopilar en una base de datos los resultados de los muestreos isocinéticos realizados por cada fuente fija que reposan en el archivo histórico de CORNARE.

- Cuantificar la variación de las emisiones generadas por fuentes fijas a partir de la comparación entre el registro actual y el histórico de las concentraciones de contaminantes emitidas por cada industria.
- Identificar la contribución de cada sector productivo en las emisiones por fuentes fijas de la jurisdicción CORNARE.
- Caracterizar espacialmente las fuentes fijas asociadas a las actividades industriales, usando sistemas de información geográfica - SIG, como una herramienta que permite identificar las industrias fuente de alta contaminación, y así mejorar la gestión de las emisiones por fuentes fijas.

3. MARCO TEÓRICO

Según lo suscrito en el Decreto 1076 de 2015, la contaminación atmosférica se define como “*el fenómeno de acumulación o de concentración de sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos, en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de factores naturales o de actividades humanas*”. El continuo crecimiento poblacional representa una gran amenaza para el planeta, porque demanda una mayor cantidad de recursos naturales para satisfacer las necesidades de la sociedad con la producción de bienes y servicios, provocando así la contaminación del entorno por la industrialización y finalmente, la afectación de la salud humana y de los ecosistemas naturales (Yanacalco Anchatuña & Castro Quezada, 2018).

Esta problemática proviene de diversos orígenes que pueden ser desencadenados ya sea por factores naturales (erupciones volcánicas, incendios forestales o descomposición de materia orgánica en el suelo y el agua) y/o por actividades antropogénicas principalmente relacionadas con la quema de combustibles fósiles usados como fuente de energía para el sustento del modelo económico actual (Ubilla & Yohannessen, 2017). Adicional a esto, los contaminantes presentes en la atmósfera pueden tener distintos niveles de concentración debido a las condiciones meteorológicas, la topografía, los usos del suelo y la densidad del flujo vehicular en determinada zona.

Por su parte, las actividades antropogénicas se clasifican en fuentes móviles y fijas dependiendo desde dónde se descarguen los contaminantes a la atmósfera. Las móviles se refieren a aquellas que pueden desplazarse de un sitio a otro y están compuestas por sectores vehiculares, de construcción, entre otros; mientras que como fuentes fijas se conoce todo tipo de ubicación inmóvil o instalación fija, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019). Estas últimas de acuerdo a la forma como se realice la descarga de los contaminantes pueden clasificarse en puntuales (emiten por ductos o chimeneas), dispersas (cuyos focos de emisión se dispersan en determinada área como las quemaduras abiertas) y de área (zona que alberga múltiples fuentes fijas o área generadora de contaminantes) (MADS, 2017).

3.1. Fuentes fijas de emisiones atmosféricas:

El desarrollo de diferentes actividades industriales involucra la realización de diversos procesos que, en su mayoría, transforman materias primas para obtener un producto o servicio final, y durante su ejecución puede generarse una descarga de contaminantes al aire. Por esto, es fundamental tener en cuenta qué tipo de procesos son llevados a cabo en cada actividad, los cuales pueden ser químicos, en los que se transforma químicamente las sustancias involucradas mediante reacciones químicas, combustión, etc.;

o físicos si los materiales involucrados no son modificados, por ejemplo corte, trituración, disolución, etc.(MADS, 2017)

En particular, las fuentes fijas incluyen aquellos procesos generalmente asociados a la combustión de combustibles que pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos (EPA, 2014), lo que genera emisiones de contaminantes atmosféricos que representan riesgos para la salud tanto humana como de los ecosistemas. Durante los procesos de combustión se busca producir calor como insumo para las actividades industriales y para obtenerlo se usan los combustibles fósiles como uno de los recursos energéticos más importantes, principalmente el carbón bituminoso, Gas Licuado del Petróleo - GLP, aceite quemado, biomasa y gas natural. El proceso de combustión consiste en una reacción química de oxidación provocada por la interacción de dos sustancias, el combustible y el comburente u oxidante (generalmente oxígeno), que produce una liberación intensa de calor y un aumento intermitente de la temperatura (Lu et al., 2019).

Para obtener una combustión es necesaria una mezcla aire - combustible a partir de la cual se produce la reacción química que genera calor, esta mezcla no siempre es homogénea, sino que en muchos casos puede darse bien sea con exceso o déficit del aire admitido. De acuerdo a esto, existen los siguientes tipos de combustión dependiendo del volumen de aire realmente empleado (Gil, & Maya, 1997)

- **Estequiométrica o teórica:** Ocurre cuando se consume u oxida todo el combustible agregado con la cantidad de comburente exacta y los productos no contienen oxígeno libre.
- **Completa:** Se oxida todo el combustible sin necesidad de reaccionar con la cantidad de comburente exacta. Este tipo de combustión también puede darse con exceso de aire, es decir, el volumen de aire empleado es mayor que el necesario teóricamente para que se presente la combustión completa y de igual manera se consume todo el combustible, en este caso, el exceso no toma parte en la reacción y pasa a ser un producto de la reacción.
- **Incompleta:** Este tipo se presenta cuando todo el aire se consume en el proceso y por ende el combustible no es oxidado completamente, dando lugar a productos como el CO, CO₂, SO₂, NO_x, ceniza, vapor de agua.

Por otro lado, en la industria los equipos que realizan la combustión pueden clasificarse en dos tipos, de combustión interna (realizada dentro del motor) y de combustión externa (fuera de la máquina). Dentro de los más comunes se encuentran: **calderas, hornos, secadores, motores, etc.** Como resultado de los procesos mencionados, los contaminantes que se generan principalmente son como se muestra en la Tabla 1: material particulado (MP_{2,5} – MP₁₀), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los óxidos de azufre (SO_x), los Compuestos Orgánicos como hidrocarburos y los gases de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂)(Ciro Londoño, 2018), aunque estos últimos no son considerados como contaminantes en la legislación colombiana vigente, sino como gases de efecto invernadero porque su toxicidad es baja pero sus efectos se centran en el calentamiento de la atmósfera.

Tabla 1. Principales contaminantes atmosféricos

CONTAMINANTE	FUENTE	EFFECTOS
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	Altas temperaturas alcanzadas en la combustión, lo que permite la combinación de nitrógeno y	Formación de ozono Lluvia ácida Afectaciones en pulmones y

	oxígeno.	garganta, reducción de la oxigenación en el cuerpo.
Dióxido de azufre (SO ₂)	Quema de combustibles y procesamiento de minerales por la oxidación del azufre	Acidificación de ecosistemas Lluvia ácida Enfermedades pulmonares con deterioro en la respiración Corrosión
(Compuestos orgánicos volátiles COVs)	Combustión incompleta de combustibles fósiles. Emanan de solventes, pinturas y otras sustancias químicas orgánicas.	Lesiones en hígado, pulmones, riñones y sistema nervioso central. Alteraciones en la función fotosintética de las plantas.
Material Particulado	Combustión de combustibles fósiles.	Afectaciones al sistema respiratorio y cardiovascular

Fuente: adaptado de (Antonio & Barba, 2016)

Otros contaminantes importantes son los metales pesados (Pb, Cr, Cu, Mn, As, Cd, Hg), los cuales se pueden liberar durante la extracción minera, refinamiento de productos mineros o emisiones industriales; los compuestos halogenados (sustancias que contienen cloro, yodo y bromo) como triclorometano o las dioxinas y furanos, las cuales se producen en reacciones de combustión donde están presentes compuestos químicos aromáticos y cloro.(Antonio & Barba, 2016)

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante mencionar que los niveles o cantidad de las emisiones contaminantes que generan las diferentes fuentes fijas dependen de la composición del combustible, el sistema de combustión empleado, la interacción entre los procesos químicos y físicos que ocurren en la combustión, las condiciones de operación del equipo como la temperatura, la concentración inicial de los elementos que dan origen al contaminante en el combustible (Lu et al., 2019), y además, serán significativas dependiendo del número y tamaño de los equipos, lo que se ve reflejado finalmente en el tamaño de la empresa, puesto que como se mencionó anteriormente a mayor productividad mayor puede ser la cantidad de emisiones generadas.(MADS, 2017)

3.2. Normatividad ambiental vigente en Colombia para emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas

3.2.1. Resolución 909 del 5 de junio de 2008. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2008)

En Colombia el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de establecer las normas, los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire y de adoptar los procedimientos de medición de emisiones, entre otras cosas, para fuentes fijas dispone la **Resolución 909 del 5 de junio de 2008**. Esta norma aplica para todas las actividades industriales, los equipos de combustión externa, instalaciones de incineración y hornos crematorios, adicionalmente, aplica a todos los establecimientos de comercio y de servicio, en lo relacionado con el control de emisiones molestas.

La normativa específica los límites permitidos para actividades, industrias y equipos de combustión tanto existentes como nuevos. Se considera existente si comenzó funcionamiento antes de la vigencia de la resolución, es decir, antes del 5 de junio de 2008, y se considera nuevo si comenzó a funcionar posteriormente a dicha fecha. A continuación, se presentan los estándares de emisión admisibles establecidos en la resolución citada:

Tabla 2. Estándares de emisión de contaminantes al aire para actividades industriales a condiciones de referencia (25°C y 760mmHg) con oxígeno de referencia del 11%. **Fuente:** Capítulo II, Artículo 4, tabla 1 de la Resolución 909/2008.

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándar de emisión admisible (mg/m ³)	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Material particulado	< 0,5	250	150
	>0,5	150	50
Dióxido de azufre	Todos	550	500
Óxidos de nitrógeno	Todos	550	500
Compuestos de flúor inorgánico (HF)	Todos	8	
Compuestos de cloro inorgánico (HCl)	Todos	40	
Compuestos orgánicos volátiles	No cuentan con estándar de emisión admisible, pero deben medirse anualmente*		

* Según lo establecido en el numeral 3.2 del Protocolo para el Control y Vigilancia de Fuentes Fijas, adoptado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante resolución N°0760 del 20 de abril de 2010.

Tabla 3. Estándares de emisión de contaminantes al aire para equipos de combustión externa a condiciones de referencia (25°C y 760mmHg) con oxígeno de referencia del 11%. **Fuente:** Capítulo III de la Resolución 909/2008.

Combustible Contaminante	Estándar de emisión admisible (mg/m ³)					
	Equipos de combustión externa existentes (Artículo 7, Tabla 4)			Equipos de combustión externa nuevos (Artículo 8, Tabla 5)		
	Material particulado	Dióxido de azufre	Óxidos de nitrógeno	Material particulado	Dióxido de azufre	Óxidos de nitrógeno
Sólido	200	500	350	50	500	350
Líquido	200	500	350	50	500	350
Gaseoso	N. A	N. A	350	N. A	N. A	350
Biomasa*	300	N. A	350	50	N. A	350

* Fuente: Capítulo VII, Artículo 18, Tabla 14 para equipos existentes y Artículo 19, Tabla 15 para equipo nuevos. Resolución 909 de 2008

Tabla 4. Estándares de emisión de contaminantes al aire para industrias de fabricación de productos textiles a condiciones de referencia (25°C y 760mmHg) con oxígeno de referencia del 11%. **Fuente:** Capítulo VI de la Resolución 909/2008.

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándar de emisión admisible (mg/m ³)	
		Industrias textiles existentes (Artículo 16, Tabla 12)	Industrias textiles nuevas (Artículo 17, Tabla 13)

Material particulado	Todos	250	50
Dióxido de azufre	Todos	550	500
Óxidos de nitrógeno	Todos	550	350

Tabla 5. Estándares de emisión de contaminantes al aire para industrias de producción de cemento, concreto y minas de agregados a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg). **Fuente:** Capítulo IX de la Resolución 909/2008.

Contaminante	Flujo del contaminante	Estándar de emisión admisible (mg/m ³)			
		Artículo 24, Tabla 18	Artículo 25, Tabla 19	Artículo 28, Tabla 22	Artículo 29, Tabla 23
		Industrias de cemento* existentes	Industrias de cemento* nuevas	Industrias cementeras sin combustión ** existentes	Industrias cementeras sin combustión ** nuevas
Material particulado	<0,5	250	100	250	150
	>0,5	150	50	150	50

*Aplica para dispositivos colectores de polvo empleados en trituradoras y bandas transportadoras dentro de las instalaciones mineras.

** Aplica para sistemas de molienda en seco, silos de almacenamiento, bandas transportadoras o similares, sistemas de empacado en sacos, sistemas de carga y descarga a granel y de dosificación de concreto existentes.

Tabla 6. Estándares de emisión de contaminantes al aire para hornos cementeros y secadores de materias primas en instalaciones cementeras por tipo de proceso a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg) con oxígeno de referencia del 11%. **Fuente:** Capítulo IX de la Resolución 909/2008.

Equipo		Tipo de proceso	Estándar de emisión admisible (mg/m ³)		
			MP	NOx	SO ₂
Horno cementero	Existente (Artículo 26, tabla 20)	Húmedo < 1000 t/d	250	800	550
		Húmedo > 1000 t/d	150	800	550
	Nuevo (Artículo 27, tabla 21)	Seco	150	800	550
		Todos	50	600	500
Secador	Existente (Artículo 26, tabla 20)	NO APLICA	150	550	550
	Nuevo (Artículo 27, tabla 21)		50	500	500

Tabla 7. Estándares de emisión de contaminantes al aire para industrias de fabricación de productos de cerámica, refractaria, no refractaria y arcilla a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg) con oxígeno de referencia del 18%. **Fuente:** Capítulo X de la Resolución 909/2008.

Combustible Contaminante	Estándar de emisión admisible (mg/m ³)					
	Industrias cerámicas existentes (Artículo 30, tabla 24)			Industrias cerámicas nuevas (Artículo 31, tabla 25)		
	Material particulado	Dióxido de azufre	Óxidos de nitrógeno	Material particulado	Dióxido de azufre	Óxidos de nitrógeno

Sólido	250	550	550	50	500	500
Líquido	250	550	550	50	500	500
Gaseoso	N. A	N. A	550	N. A	N. A	500

NOTA: En caso de que el contenido de las materias primas utilizadas en el proceso genere los contaminantes peligrosos HCl y HF, deberá cumplir los estándares establecidos en la Tabla 2.

3.3. Actividad industrial en Colombia y las emisiones generadas

Un incremento de la actividad productiva es un indicador del crecimiento económico de un país o región y está acompañado de un alza en los procesos industriales, mayores tasas de motorización e igualmente un aumento del consumo de combustibles fósiles, que por ende, aumenta las emisiones de contaminantes expulsadas al aire (Franco R., 2012; MADS, 2017).

En el año 2018 respecto al 2017, en Colombia las actividades económicas que más aportan al Producto Interno Bruto - PIB y que además están involucradas en la generación de emisiones atmosféricas por la existencia de fuentes fijas son (ver Tabla 8) la agricultura, la industria manufacturera, el comercio y la construcción. Adicional, dentro de los principales grupos industriales que cuentan con fuentes fijas y que concentran la producción bruta del país se encuentran: la extracción de petróleo crudo y gas natural, extracción de minas y canteras, elaboración de productos alimenticios, fabricación de muebles y otras industrias manufactureras, construcción de edificaciones, alojamiento y servicios de comida. (DANE, 2019)

Tabla 8. Producto Interno Bruto en Colombia, año 2018

ACTIVIDAD ECONÓMICA	TASA DE CRECIMIENTO EN VOLUMEN ¹ ANUAL (2018 / 2017)
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	2,0
Explotación de minas y canteras	-0,8
Industrias manufactureras	2,0
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado. ²	2,7
Construcción	0,3
Comercio, transporte, alojamiento y servicios de comida. ³	3,1
Información y comunicaciones	3,1
Actividades financieras y de seguros	3,1
Actividades inmobiliarias	2,0
Actividades profesionales, científicas y técnicas. ⁴	5,0
Administración pública y defensa, educación y salud. ⁵	4,1

Actividades artísticas, de entretenimiento y recreación y otras actividades de servicios. ⁶	1,4
Producto interno bruto total	2,7

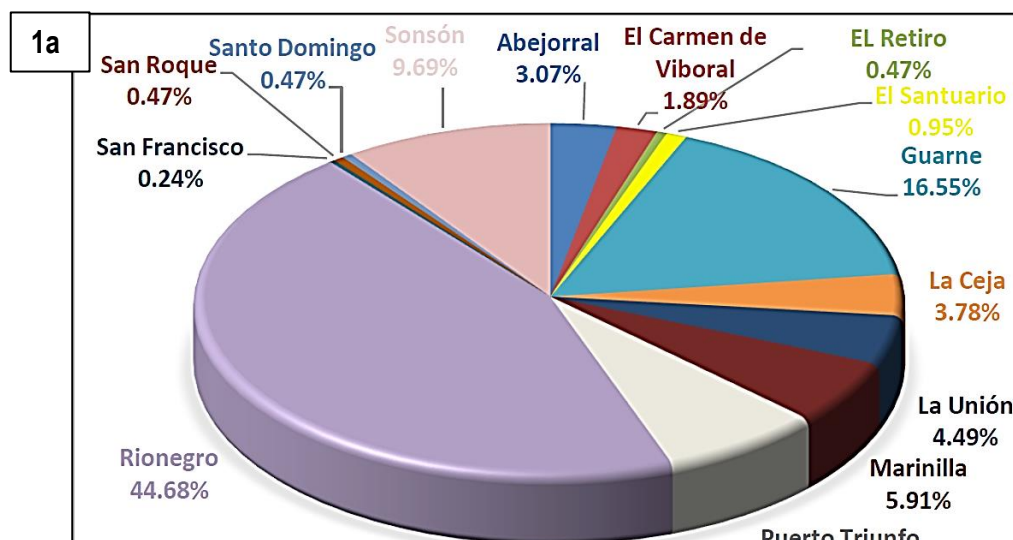
Fuente: Adaptado de (DANE, 2019)

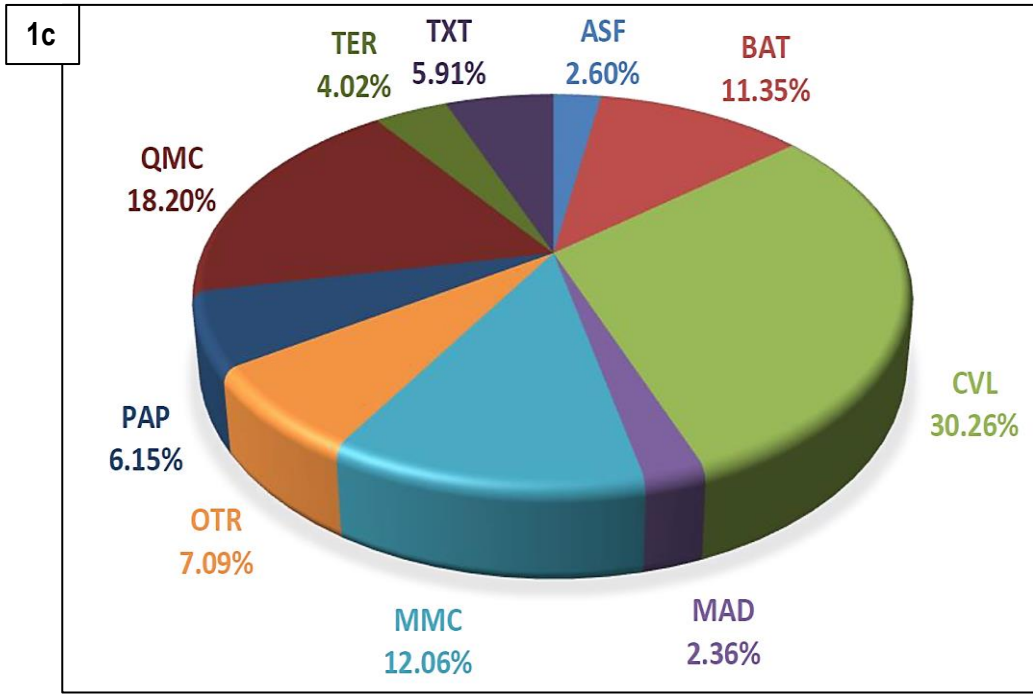
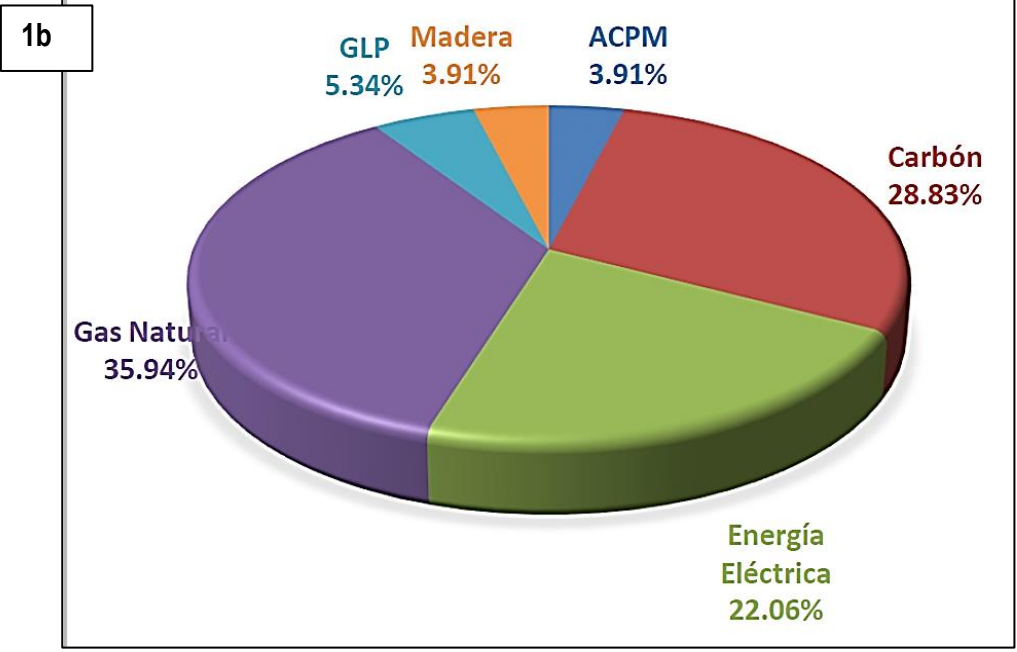
1. Series encadenadas de volumen con año de referencia 2015
2. Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado; distribución de agua; evacuación y tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental.
3. Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas; transporte y almacenamiento; alojamiento y servicios de comida.
4. Actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades de servicios administrativos y de apoyo.
5. Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria; educación; actividades de atención de la salud humana y de servicios sociales.
6. Actividades artísticas, de entretenimiento y recreación y otras actividades de servicios; actividades de los hogares individuales en calidad de empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares individuales como productores de bienes y servicios para uso propio.

Por su parte, el departamento de Antioquia en el año 2017 realizó un aporte al PIB del país del 14,49% siendo una de las contribuciones más altas. precedido por Bogotá D.C (26,4%) y seguido por Valle del Cauca (9%), Cundinamarca (6%) y Santander (5%).(DANE, 2018). Esto convierte en un requisito indispensable para la sociedad medir o, al menos, estimar en sus fuentes los contaminantes que son emitidos al aire, dado que una medición confiable es el primer paso para proporcionar datos que permitan tomar las decisiones necesarias para disminuir y eliminar las exposiciones y los riesgos. Así mismo, contar con un inventario actualizado de emisiones a la atmósfera que cubre un área geográfica específica es una buena herramienta para la gestión del recurso aire, que permite conocer la primera parte del ciclo de transmisión de contaminantes (las emisiones) y la cantidad generada, identificando al mismo tiempo las fuentes responsables, con el fin de contribuir para el desarrollo de planes de gestión, donde las Autoridades Ambientales podrían implementar medidas de control más eficientes y establecer directamente con los responsables futuras estrategias de mitigación para proteger la salud tanto de la población como del ambiente (Cuesta-Santos et al., 1988).

3.4. Calidad del aire en la jurisdicción de CORNARE - Aporte de fuentes fijas

Según los resultados del inventario de emisiones realizado en el año 2015 en un convenio entre CORNARE y la Universidad Pontificia Bolivariana, existen empresas que disponen de fuentes fijas de emisión en 14 municipios de la jurisdicción, de estos, los municipios con mayor densidad de industrias son Rionegro (38%) y Guarne (17%) –Ver Figura 1a -, los combustibles de mayor consumo son el gas natural (36%) y el carbón (29%) –Ver Figura 1b - y los sectores productivos con mayor cantidad de fuentes son el de cerámicos, vítreos y ladrilleros (30,26%) y el químico (18,2%) –Ver Figura 1c -.



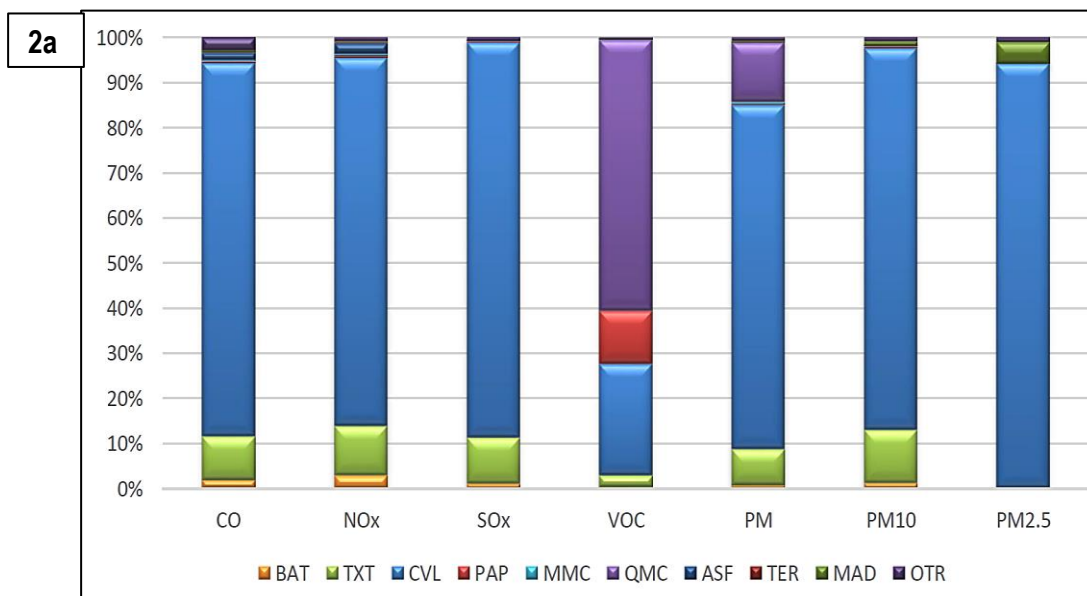


TXT: Textil y confección. MMC: Metalmecánico. BAT: Bebidas, alimentos y tabaco. QMC: Químico. CVL: cerámicos, vítreos y ladrillero. OTR: Otras industrias. TER: Terciario. PAP: Papel, cartón, pulpa e impresión. ASF: derivados del petróleo. MAD: Aserriós, depósitos de madera e industrias que trabajan la madera.

Figura 1. Fuentes fijas en la jurisdicción CORNARE en el año 2015. 1a: Fuentes fijas por municipio. 1b: Fuentes fijas por combustible utilizado. 1c: Fuentes fijas por sector productivo. FUENTE (CORNARE - UPB, 2015)

Los contaminantes tenidos en cuenta en el estudio son: Óxidos de Nitrógeno (NOx), Óxidos de azufre (SO₂), Compuestos orgánicos volátiles (COV), material particulado menor de 10 µm (MP₁₀), material particulado menor de 2,5 µm (MP_{2,5}). Se encontró que el sector de cerámicos, vítreos y ladrilleros es el que mayor aporte de contaminantes realiza – excepto de COV, puesto que estos son generados en su mayoría por el sector químico por las materias primas utilizadas- (Ver figura 2a).

Por otro lado, el municipio que más emisiones genera es Sonsón, dado que es ahí donde se ubican las empresas que producen cemento, y beneficio de minerales sólidos (como calcinación), lo que aumenta sus emisiones, seguido de Rionegro, que por la presencia de la mayoría de las industrias químicas genera el 62% de los COV por la presencia de empresas del sector químico (Ver figura 2b). Adicionalmente, se encontró que el carbón es el combustible que más emisiones tanto de gases como de partículas genera, seguido del gas natural (Ver figura 2c).



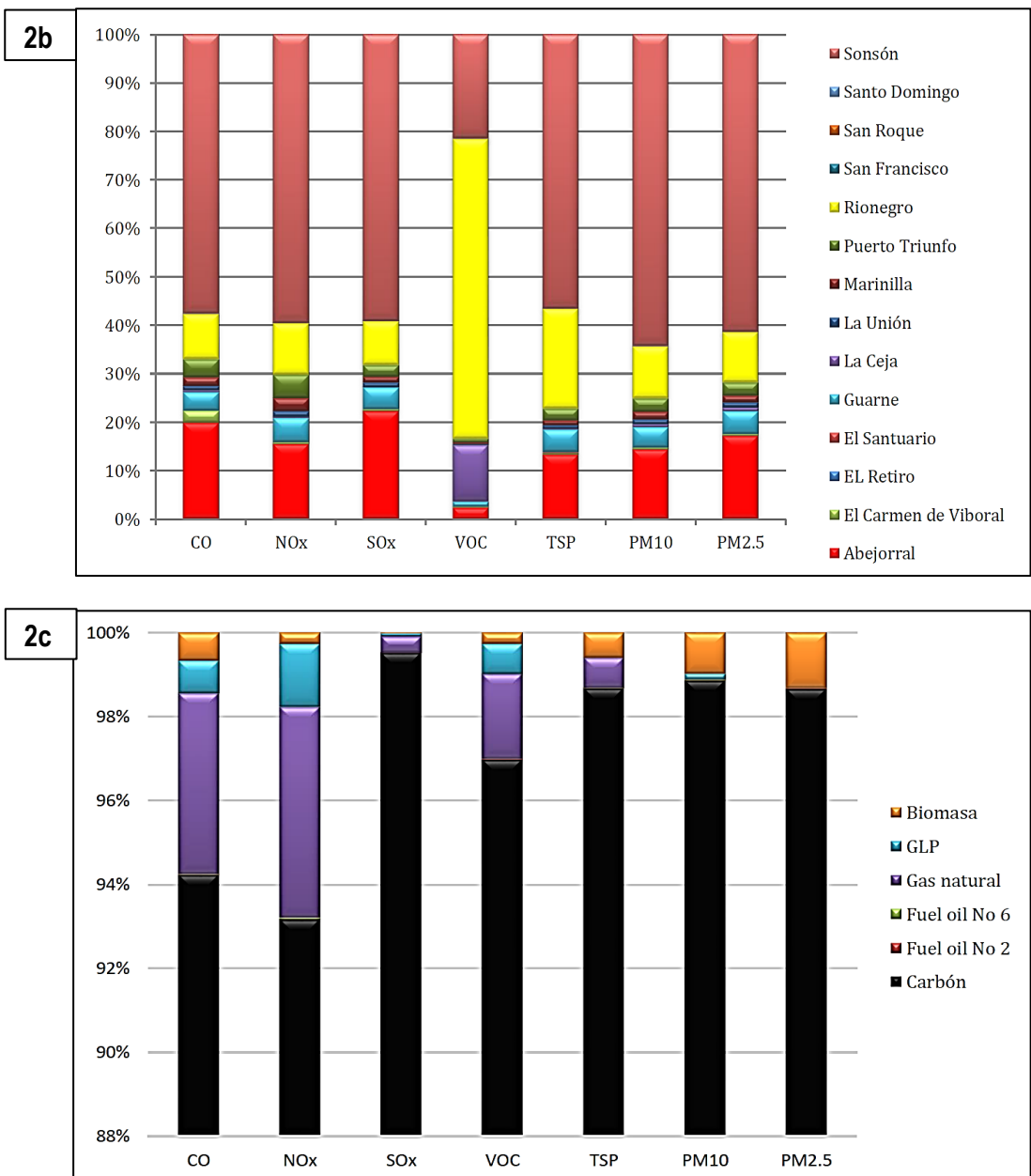


Figura 2. Emisión de Fuentes fijas en la jurisdicción CORNARE en el año 2015. 2a: Emisiones por sector productivo. 2b: Emisiones por municipio. 2c: Emisiones por tipo de combustible. FUENTE: (CORNARE - UPB, 2015).

3.5. Sistemas de Información Geográfica – SIG –

Un SIG funciona como una base de datos con información geográfica, es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas, la información geográficamente referenciada con el fin de contribuir en la solución de diversos problemas con procesos de planificación y gestión. Puesto que en un entorno SIG pueden realizarse conexiones entre la localización con otros datos como económicos, sociales, demográficos, etc.; lo que permite tener en un mismo espacio todos los datos para analizar desde diferentes puntos de vista la información (Santovenia Díaz et al, 2009).

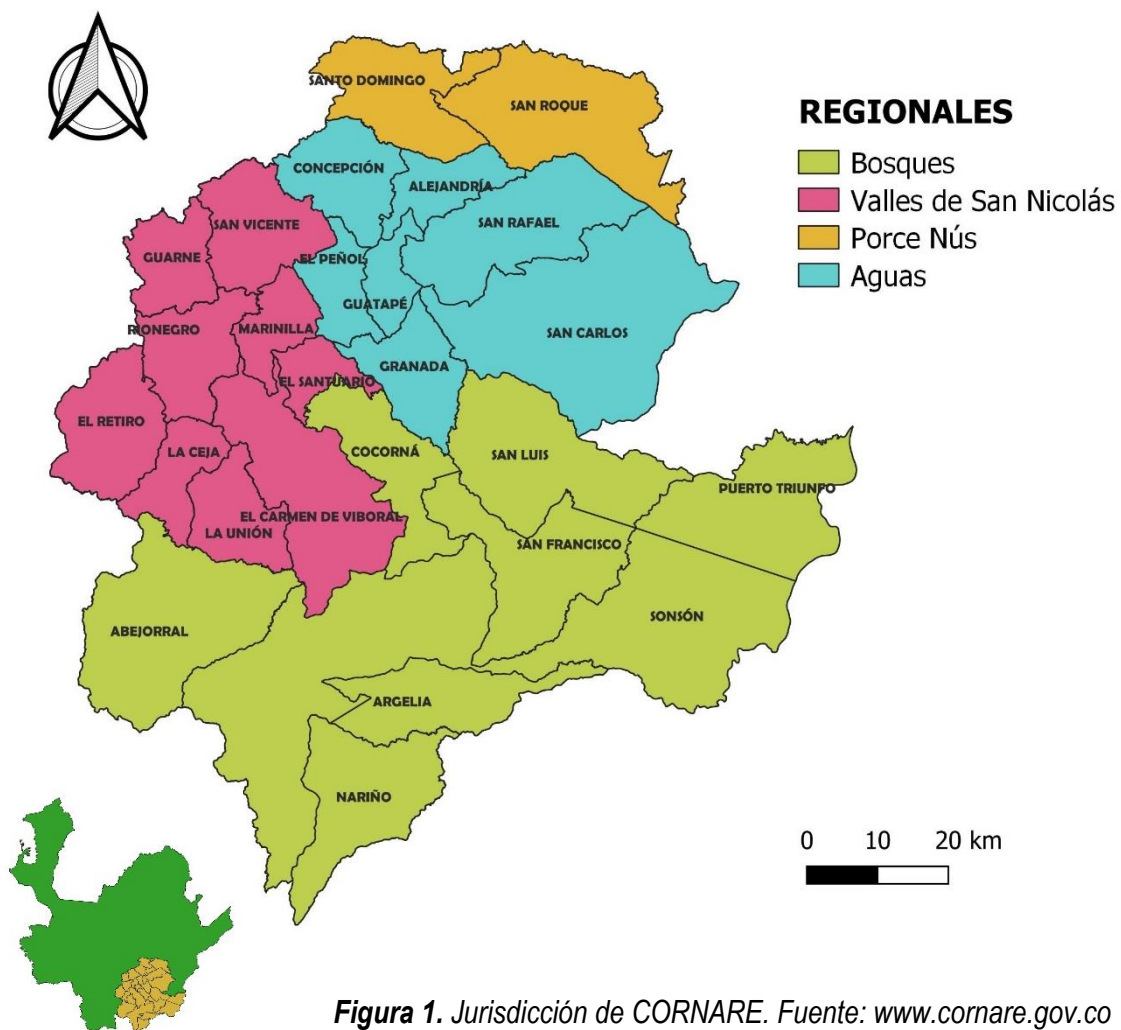
El ambiente en general ocupa el entorno en el que se desarrolla la vida humana y natural, por esto los problemas como la contaminación atmosférica siempre han tenido un contenido geográfico importante.

En consecuencia, los SIG son una herramienta que ayuda a comprender y valorar la relación espacial entre la causa y el impacto del problema analizado, representando en el espacio con expresivos y representativos mapas que facilitan la interpretación y la comparación de datos, para así elaborar y/o confirmar hipótesis, contribuyendo así a la toma de decisiones para mejorar las intervenciones en términos de prevención, mitigación o compensación de los impactos (Prieto Flores et al, 2017).

4. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio:

Este proyecto se realiza con las Industrias que poseen fuentes fijas de emisiones atmosféricas dentro de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE), la cual está conformada por veintiséis (26) municipios del departamento de Antioquia: veintitrés (23) en la zona Oriente, dos (2) municipios de la zona del Nordeste y un (1) municipio de la zona del Magdalena Medio, con un área total aproximada de 827.600 hectáreas correspondientes al 13% del territorio antioqueño, distribuidas en cinco (5) subregiones: Valles de San Nicolás, Bosques, Aguas, Porce-Nus y Páramo. (Ver figura 1).



4.2. Cuantificación de la variación en las emisiones generadas por fuentes fija

4.2.1. Recolección de datos:

Se recolectan datos para el periodo comprendido entre los años 2013 y 2019, de las emisiones generadas por las fuentes fijas de la jurisdicción, teniendo como fuente de información las mediciones de contaminantes realizadas por cada industria/empresa que deben ser reportadas ante la Corporación; en los casos en que las empresas no disponen de información de muestreos isocinéticos para el último año (2019), se reporta la información disponible más actualizada de los años anteriores. Esto con el fin de construir una base de datos que permita organizar toda la información que reposa en los archivos de CORNARE.

Con la base de datos, es posible, además, identificar las empresas activas, modificaciones a los equipos, cambios de combustible y aumento o disminución de la cantidad de fuentes de emisión, todo esto para finalmente actualizar el inventario de fuentes fijas para CORNARE.

Las industrias son clasificadas de acuerdo a la actividad o sector productivo al que pertenecen, así:

Tabla 9. Sectores productivos

SECTOR INDUSTRIAL	DESCRIPCIÓN
BAT	Bebidas, Alimentos y Tabaco (incluidos alimentos para animales)
TXT	Textil y de Confección. Procesamiento y producción de textiles. Incluye procesos de teñido
CVL	Cerámicos y Vítreos; ladrilleras, alfareras, tejares e industrias de cerámica
PAP	Papel, Cartón, Pulpa e Impresión.
PCE	Plásticos, Cauchos y Empaques; incluidas reencauchadoras, fabricación y procesamiento de llantas.
MMC	Metalmecánico; Fundición y manejo de metales, hierro, metales no ferrosos, producción de maquinaria eléctrica y no eléctrica.
QMC	Química; Producción de compuestos químicos, producción de jabones y detergentes, pinturas y resinas.
CUR	Cueros; curtimbres y calzado
ASF	Derivados del petróleo; Producción y procesamiento asfaltos y emulsiones asfálticas, explotación y tratamiento de triturados.
TER	Terciario; sector terciario, comercial y de servicios que por su actividad posean calderas u hornos eléctricos (hoteles, hospitales, cementerios, lavanderías y otros).
OTR	Otras Industrias. En este sector se agrupan las industrias que no se pueden clasificar según ninguna de las anteriores clasificaciones.
MAD	Aserriós, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera.
FAE	Faenado de beneficio animal – mataderos
MNR	Industria manufacturera de minerales, beneficio y suministro de minerales no metálicos para la industria

En la jurisdicción los sectores industriales con mayor predominancia son: Floricultivos, manufactureros (textiles, productos químicos, minería – cal y cemento-, madera -inmunizadoras, muebles-, alimentos –

lácteos, conservas, salsas, entre otros-, metalmecánica, pintura, entre otros); y las fuentes fijas más usadas asociadas a los procesos productivos son calderas, hornos, reactores, trituradoras y molindas.

4.2.2. Cálculos

Después de consignar toda la información recolectada en una base de datos, se pasa a la cuantificación del porcentaje de variación de las concentraciones actuales de cada contaminante emitido respecto al registro histórico de las mismas, para cada industria mediante la ecuación 1, con la intención de identificar reducciones o incrementos en las mismas.

$$V_c = \left(\frac{Ca - Ch}{Ch} \right) * 100 \qquad \text{Ecuación 1}$$

En caso de que el resultado sea con signo positivo (+) indica que las emisiones han aumentado, mientras que si el resultado es negativo (-) implica que han disminuido.

Donde:

- Vc:** Variación en las concentraciones del contaminante emitido.
- Ca:** concentración actual de los contaminantes a condiciones de referencia y corregidas a O₂ de referencia - según sea el caso-
- Ch:** concentración promedio del registro histórico de los contaminantes a condiciones de referencia y corregidas a O₂ de referencia - según sea el caso-

4.3. Caracterización espacial de las fuentes fijas.

Los resultados obtenidos del paso anterior se complementan con la ubicación en el espacio de cada actividad industrial que posea una fuente fija dentro de la jurisdicción, para lo que serán georreferenciadas con el software libre QGIS como herramienta para procesar la información geográfica asociada a datos como la concentración de contaminantes emitida, la frecuencia de Medición de cada fuente, indicando si existe un incremento/reducción de las emisiones, entre otros. De esta manera, se construyen mapas discriminando para cada contaminante las fuentes emisoras según la actividad que las provoca (sector económico) y según la subregional de CORNARE a la que pertenecen.

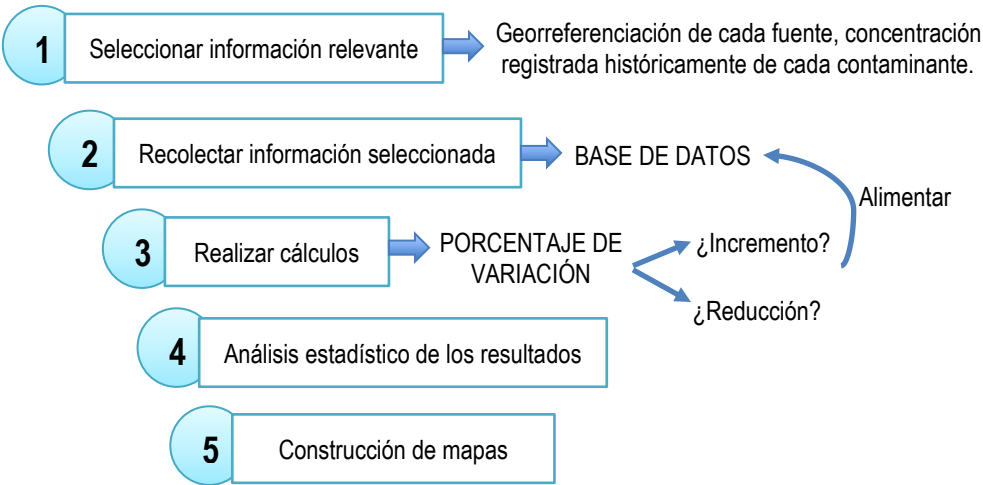


Figura 2. Metodología implementada.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. Fuentes fijas en la jurisdicción.

Con el inventario de aquellas empresas que dentro de su proceso productivo requieren el uso de equipos y/o actividades que ya sea como resultado de una combustión o por el tipo de materias primas usadas son generadoras de emisiones atmosféricas, constituidas como fuentes fijas puntuales, se encontró un total de 132 industrias asentadas en 11 municipios de la jurisdicción CORNARE, las cuales cuentan con 480 fuentes fijas, de las que 350 se encuentran activas actualmente. Como se observa en la figura 3, la gran mayoría de las chimeneas activas se ubican en las regionales Valles de San Nicolás y Bosques con 83,7% y 15,7% respectivamente (ver figura 4). En cuanto a la distribución por municipios, se encontró que la mayor parte de éstas se concentran en Rionegro con un porcentaje del 35%, seguido por Guarne con un 28,2% (Ver figura 5).

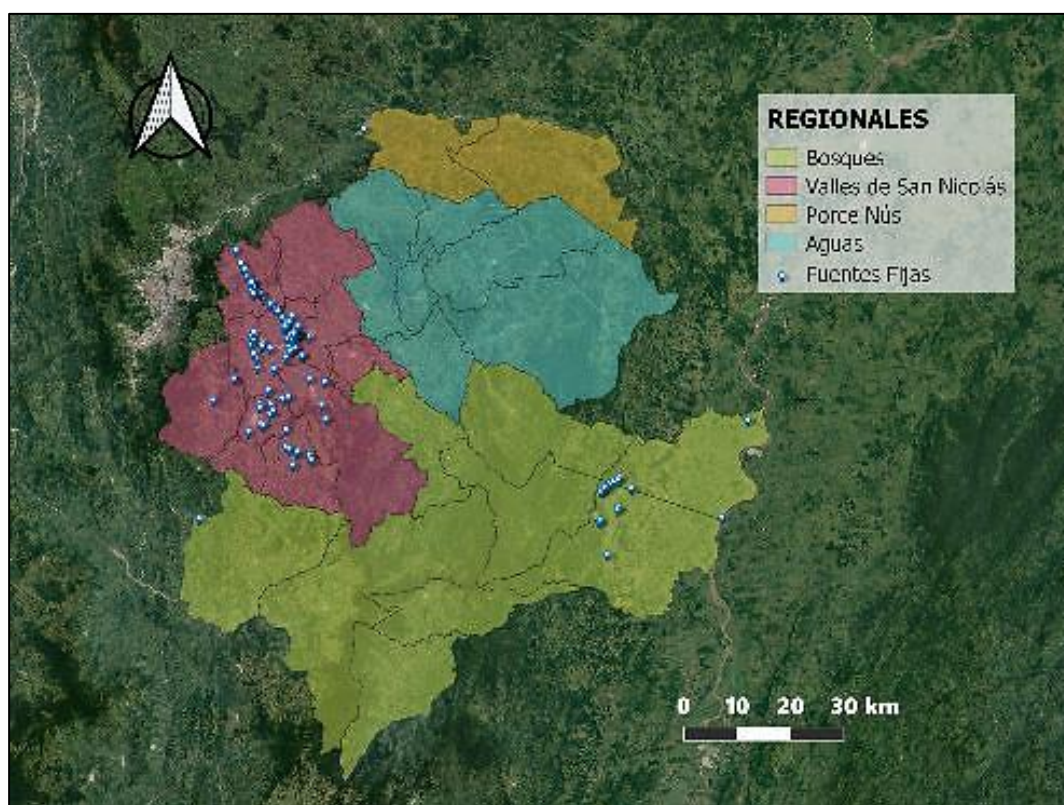


Figura 3. Ubicación espacial de las fuentes fijas en la jurisdicción CORNARE.

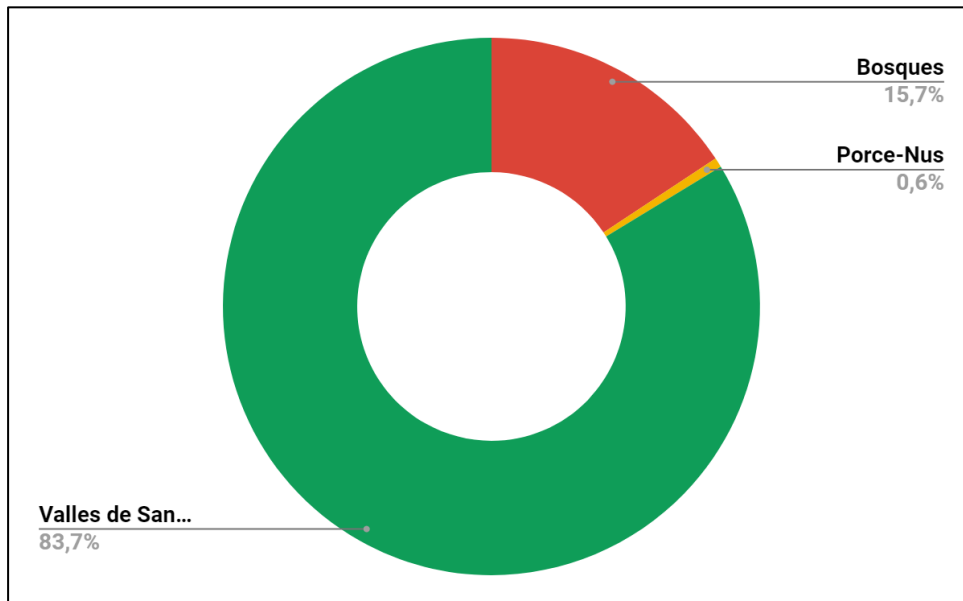


Figura 4. Distribución de las fuentes fijas en la jurisdicción CORNARE por regional.

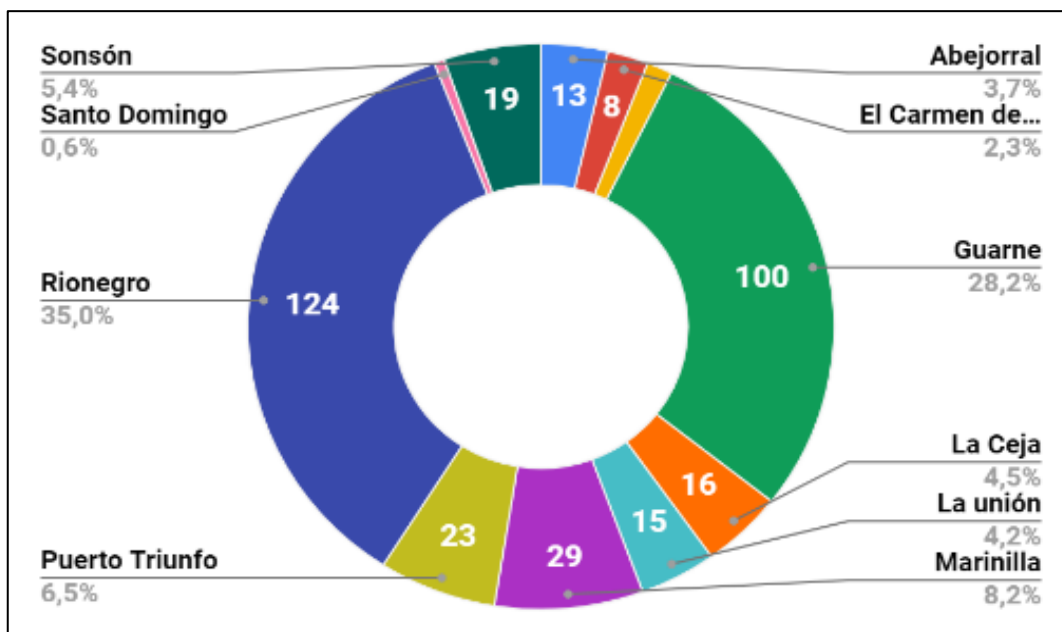


Figura 5. Distribución de las fuentes fijas en la jurisdicción CORNARE por municipios.

Ahora bien, teniendo en cuenta el tipo de producto que se desarrolla en cada industria, las fuentes fijas asociadas fueron clasificadas según el sector productivo al que pertenecen. De acuerdo a esto y como se muestra en la figura 6, el sector que más chimeneas tiene es en el que se producen compuestos químicos, jabones y detergentes, pinturas y resinas, entre otros (QMC) con un 22,9%, seguido por la Industria manufacturera de minerales, beneficio y suministro de minerales no metálicos (MNR) con 14,1%; mientras que las de menor cantidad son, de menor a mayor, Plásticos, Cauchos y Empaques; incluidas reencauchadoras, fabricación y procesamiento de llanta (PCE) con 0,3% y Faenado de beneficio animal – mataderos (FAE) con 0,6%.

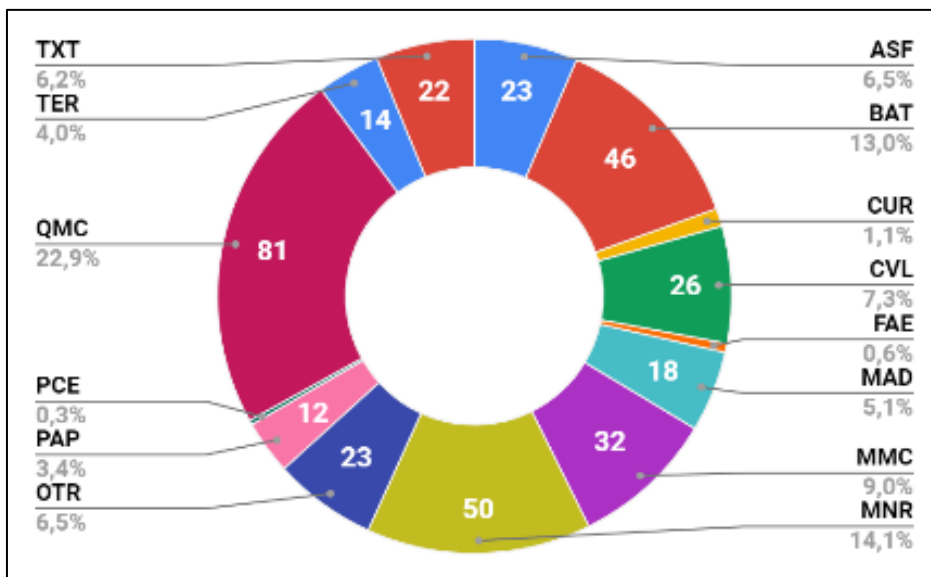


Figura 6, fuente fija por sector industrial o productivo

Por otra parte, de los combustibles usados en la jurisdicción, el más consumido es el gas natural con el 28,8%, seguido del carbón mineral con 17,8%. Cabe resaltar que aquellas fuentes fijas que no requieren el uso de ningún tipo de combustible pero que de igual manera generan emisiones atmosféricas predominan con un 36,2%. (Ver figura 7).

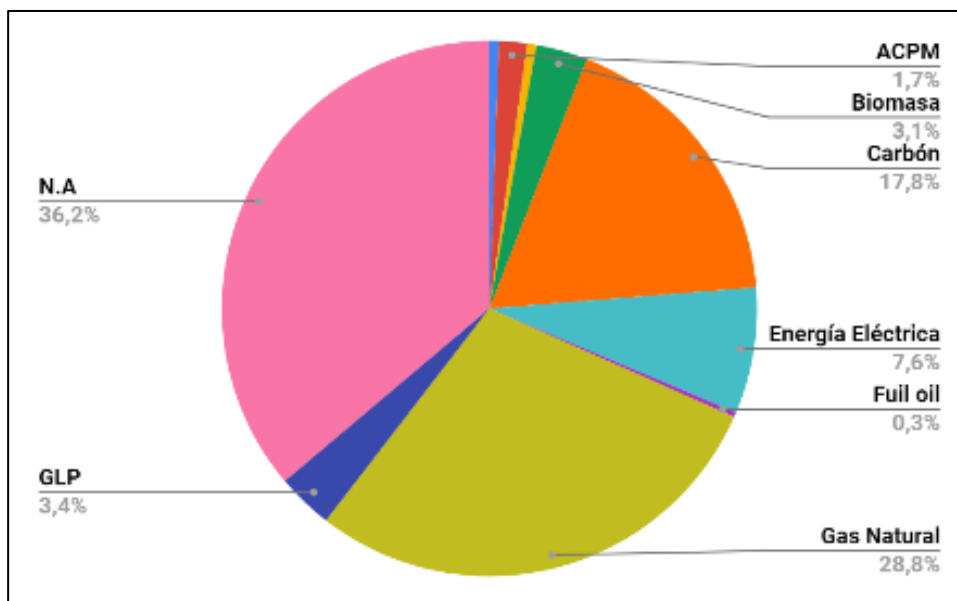


Figura 7. Tipo de combustible usado por fuente fija

5.2. Emisiones generadas por las fuentes fijas de la jurisdicción en los últimos cinco (5) años.

En general, dentro de la jurisdicción las emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas, durante los últimos cinco (5) años, se encuentran, en su mayoría, dando cumplimiento a los límites establecidos en la normatividad vigente colombiana para los contaminantes llamados criterio (Material particulado, óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre). Como se observa en la tabla 10, para el parámetro que se presenta

un mayor porcentaje de incumplimiento es para los dióxidos de azufre. Es de aclarar que, en Colombia, no existe a la fecha un estándar permisible para los Compuestos Orgánicos Volátiles, pero si es requerido para los procesos generadores realizar mediciones anuales.

Tabla 10. Cumplimiento de la normativa

CUMPLIMIENTO MP	FUENTES FIJAS	%
NO	34	14,167
SI	206	85,833
Total	240	
CUMPLIMIENTO SO2	FUENTES FIJAS	%
NO	21	21,429
SI	77	78,571
Total	98	
CUMPLIMIENTO NOX	FUENTES FIJAS	%
NO	2	1,058
SI	187	98,942
Total	189	

El contaminante más generado en la jurisdicción, según el tipo de combustible utilizado, es el material particulado, siendo el ACPM, el aceite industrial y el Fuel oil los mayores emisores, seguidos de la biomasa y el carbón, mientras que el gas natural es el combustible con menores aportes a la emisión de este contaminante.

Sin embargo, el dióxido de azufre es el contaminante que, en general, se emite a niveles más altos, esto se debe a que los combustibles usados contienen niveles considerables de azufre, y adicionalmente, como el carbón es el segundo más usado es el que más aporta emisiones de SO₂. Es importante resaltar, que, aunque el gas natural y GLP contienen azufre, son los que menores emisiones de SO₂ generan, junto con el biodiesel, seguidos por la biomasa que no genera grandes cantidades, por lo cual, a la luz de la normativa ambiental aplicable, no se requiere realizar mediciones de este contaminante.

Por otro lado, aunque los óxidos de nitrógeno se generan en la combustión de la mayoría de los combustibles, estos se emiten en menor proporción, con la mayor cantidad asociada al carbón. (ver figura 8).

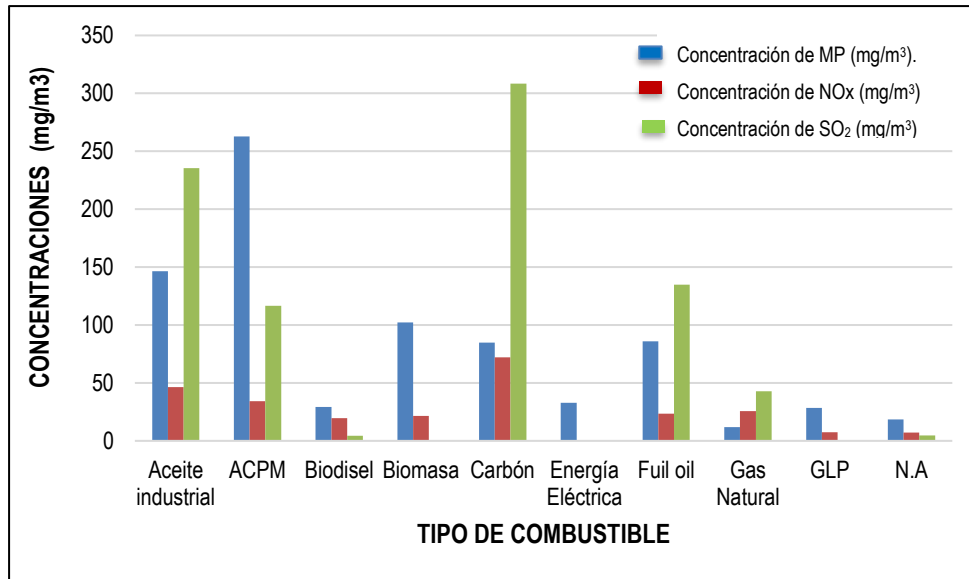


Figura 8. Emisiones por combustible durante los últimos 5 años (2013-2018) y 2019 a la fecha.

En la figura 9 se confirma que el contaminante más emitido es el SO₂; en este caso el sector industrial de beneficio de bovinos y porcinos (FAE) presentó la concentración más alta, esto se da porque una de las industrias durante el año 2016 presentó un gran incremento llegando a un valor de 1548,73 mg/m³. Con esto, se infiere entonces, que el sector textil (TXT), Asfaltos (ASF) y otros (OTR) - que corresponden en gran parte a floricultivos -, son los más le aportan a este contaminante. En ese sentido, los sectores que menos aportan son el de alimentos (BAT), minero (MNR), químico (QMC), servicios o terciario (TER), metalmecánico (MMC) y cerámico (CVL).

En cuanto al material particulado, también se presenta un dato atípico para el sector de Faenado (FAE), puesto que una de sus fuentes fijas obtuvo un valor de 442,11 mg/m³ en 2016, lo que generó un incremento considerable en el promedio de todo el sector industrial. Pero son los sectores, de mayor a menor, asfaltos (ASF), otros (OTR), faenado (FAE), textiles (TXT) y maderas (MAD), los más generadores de este contaminante.

Finalmente, se puede decir, que los sectores papel (PAP), cueros (CUR) y plásticos (PCE) son los que han venido generando menos emisiones atmosféricas.

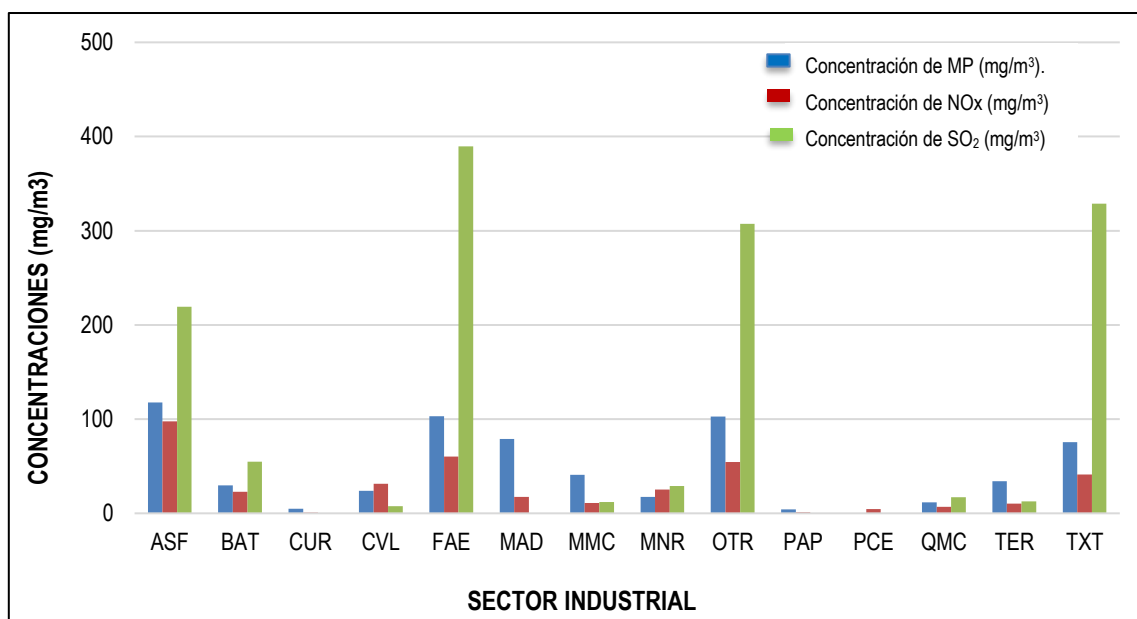


Figura 9. Emisiones por sector industrial durante los últimos 5 años (2013-2018) y 2019 a la fecha.

Nuevamente, en la figura 10 se observa que los contaminantes más emitidos en la jurisdicción de CORNARE son el SO₂ y en segundo lugar el Material Particulado. Rionegro es el municipio que más Material particulado y dióxidos de azufre ha generado durante los últimos cinco (5) años, junto con Guarne, Marinilla y el Carmén de Viboral, todos pertenecientes a la regional Valles de San Nicolás. En cuanto a las concentraciones de SO₂, se encontró que es el contaminante de mayores cantidades en toda la jurisdicción, exceptuando a los municipios de El Retiro, Puerto Triunfo y Sonsón, donde se emiten en menores proporciones.

En el municipio del Retiro se presentan bajas concentraciones en todos los contaminantes, especialmente en SO₂, debido a que allí se ubican empresas que en sus procesos productivos utilizan biomasa y GLP, combustibles que como se mencionó antes generan bajos niveles de dicho contaminante; y en Santo Domingo, aunque el combustible predominante es el carbón, se genera muy poca cantidad de emisiones, particularmente de material particulado y NOx.

En Abejorral, a pesar de que solo se ubica la actividad productiva realizada por Cementos Argos, se encuentran niveles considerables en las emisiones, si bien dan cumplimiento a la norma, es necesario que se implementen medidas que permitan reducir las emisiones de NOx principalmente, ya que son las más altas después de Rionegro, seguidas por el municipio de Sonsón, donde se instalan las industrias mineras, en su mayoría (ver figura 10).

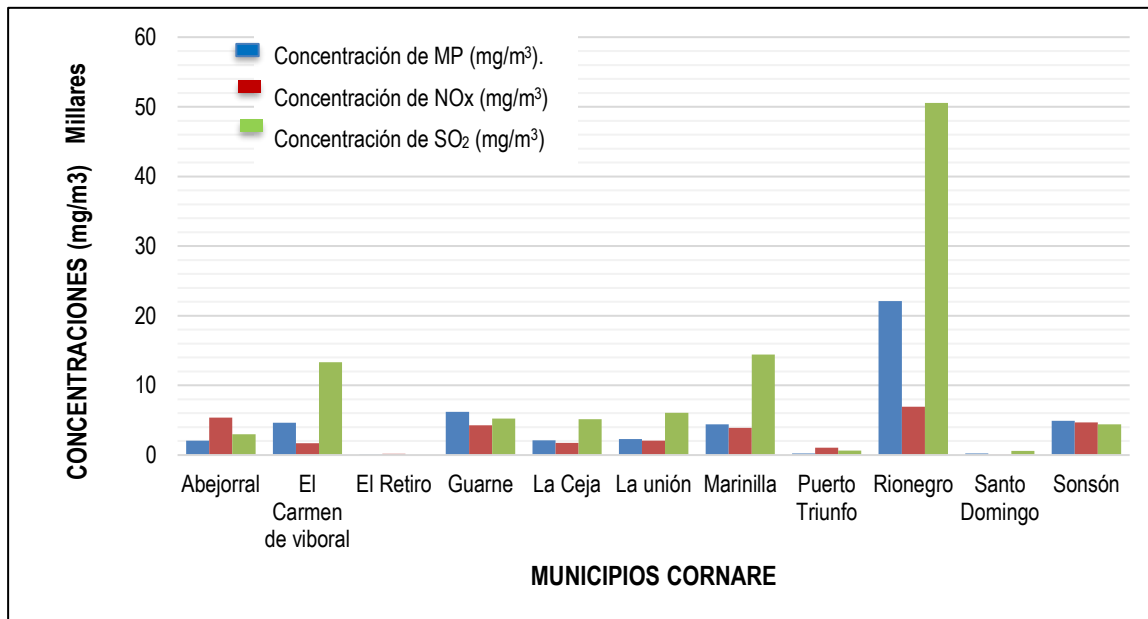


Figura 10. Emisiones por municipio durante los últimos 5 años (2013-2018) y 2019 a la fecha.

5.3. Variación de las emisiones de contaminantes criterio (Material particulado, Óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre) a lo largo de los últimos cinco (5) años.

Al cuantificar el porcentaje de variación que han presentado las emisiones en cada fuente fija en el periodo de tiempo ya mencionado, se encontró que de manera general se ha reducido la contaminación del aire causada por los procesos industriales, particularmente, la reducción más significativa se presenta para el contaminante material particulado, siendo el sector de asfaltos (ASF) y metalmecánico (MMC) los de mayores reducciones como se muestra en la figura 11.

Aunque en general, las emisiones de óxidos de nitrógeno han disminuido, en las industrias productoras de papel o aquellas que lo usan como materia prima (PAP) se observa un incremento del 6% y en el sector plásticos (PCE), aparentemente, también se observaría un aumento, sin embargo, este hecho responde a que las empresas clasificadas dentro de este sector son nuevas en la jurisdicción, motivo por el cual, solo cuentan con una medición directa de contaminantes lo que no permite realizar ningún tipo de comparación.

A pesar de que en la figura 9 se evidencia en el sector de beneficio de porcinos y bovinos (FAE) emisiones generadas de SO₂ muy altas, durante los últimos cinco (5) años estas industrias vienen disminuyendo los niveles en más del 100% (ver figura 11), pasando de 1548,733 mg/m³ a 399,015 mg/m³. No obstante, las reducciones de este contaminante son, en general, muy pequeñas, siendo el sector el clasificado como otros (OTR) – 24%, asfaltos (ASF) – 20%, y minero (MNR) – 4%, los de mayor reducción.

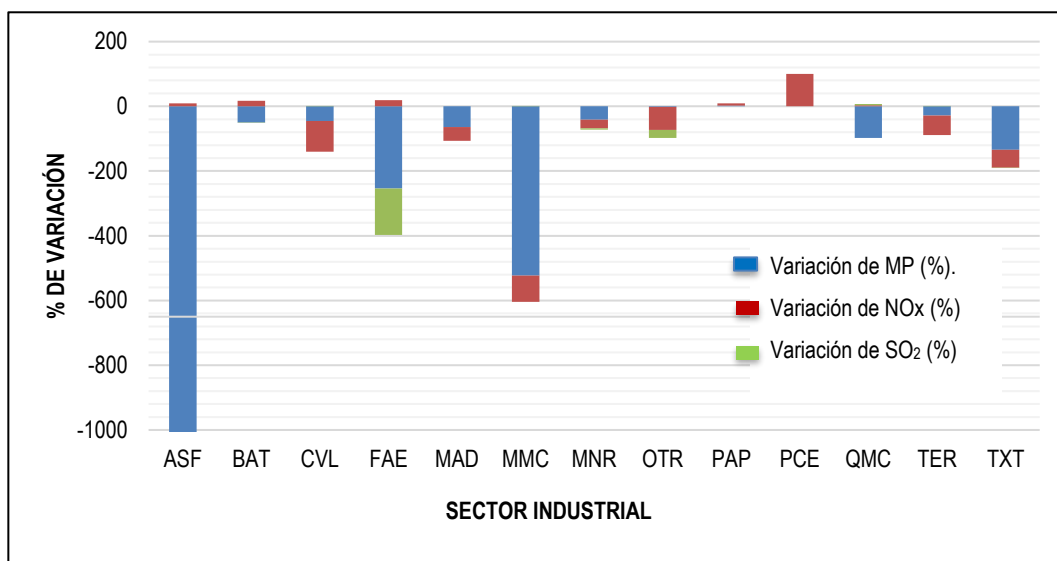


Figura 11. Variación por sector económico.

En cuanto a las variaciones en las emisiones generadas en cada regional, es fundamental especificar que las fuentes fijas ubicadas geográficamente en la regional Páramo al hacer parte de la zona calera y minera de la jurisdicción, fueron incluidas dentro de la regional Bosques. Por tanto, en adelante, dentro de éste informe para efectos de ubicación, serán tenidos en cuenta dentro de las empresas atendidas por la regional Bosques.

En cuanto al material particulado, se presentó una reducción en todas las regionales, pero la reducción ha sido más significativa en las regionales Valles de San Nicolás (84,8%) y Bosques (25%), donde se ubican la gran mayoría de fuentes fijas, lo cual indica que se vienen utilizando sistemas de control de polvos eficientes que contribuyen a mantener en buen estado la calidad del aire de la zona. De igual manera ocurre para el contaminante Óxidos de Nitrógeno, con reducciones de 97% en la regional Bosques y de 49% en Valles de San Nicolás.

Solamente se encontraron aumentos en las regionales Porce-Nús y Valles de San Nicolás para el contaminante SO₂ en un porcentaje de 37,5% y 2,6%, respectivamente. La figura 12 muestra que las emisiones de SO₂ son las que han disminuido en menor medida, lo que concuerda con que actualmente, es el contaminante más generado en la jurisdicción de CORNARE.

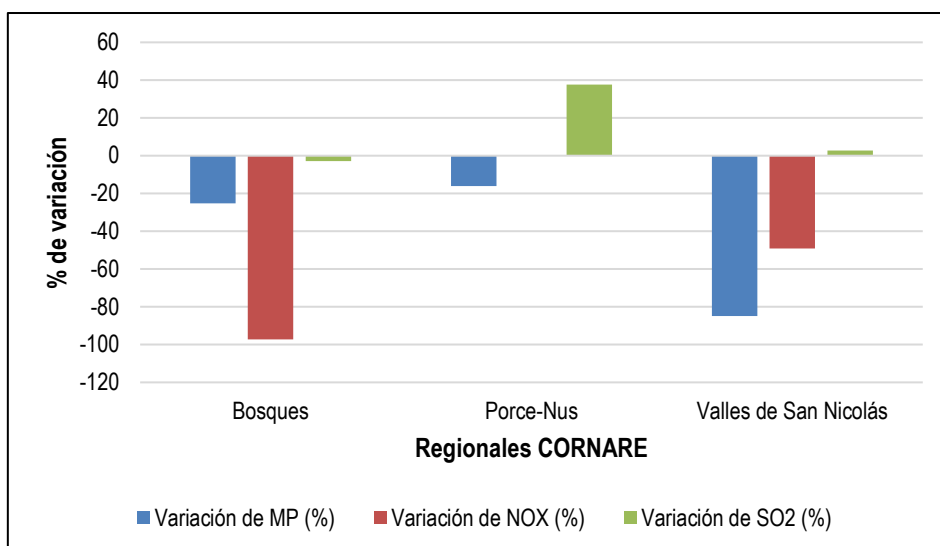


Figura 12. Variación de emisiones por regional CORNARE

Lo mencionado hasta ahora se confirma en la figura 13, donde se plasma que los municipios de Rionegro, Guarne, la Ceja integrados en la regional Valles de San Nicolás y Puerto Triunfo de la regional Bosques son los que mayores reducciones han tenido de material particulado. Adicionalmente, se puede ver que en el municipio de Rionegro, Marinilla y el Retiro ha aumentado la emisión de SO₂ en aproximadamente un 9%, 25% y 16%. Por otro lado, el municipio donde más han disminuido las emisiones de SO₂ es La Unión con un 19,7% seguido de La Ceja con un 17%

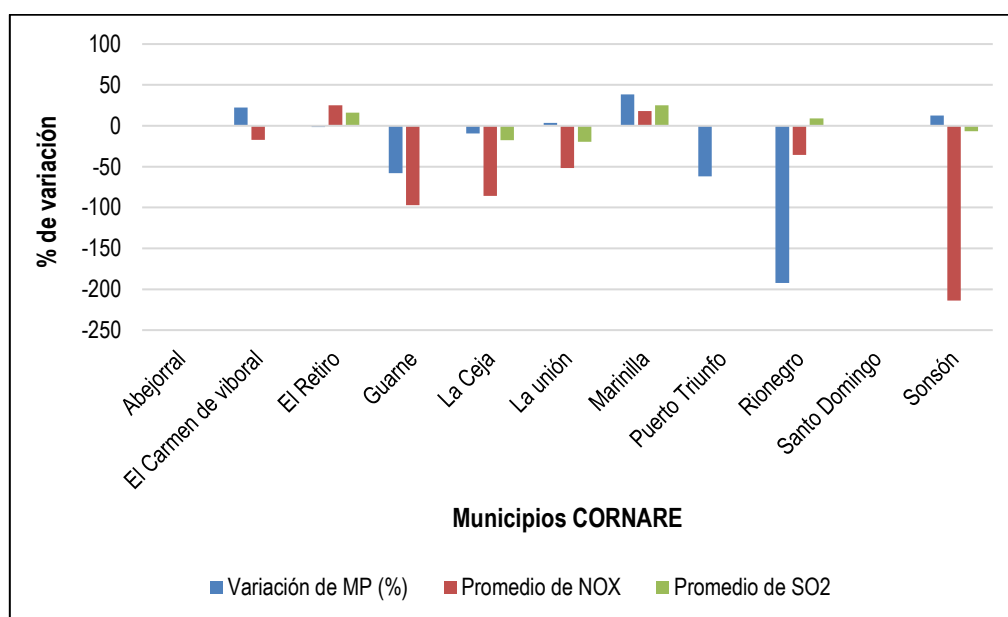


Figura 13. Variación de las emisiones por municipio

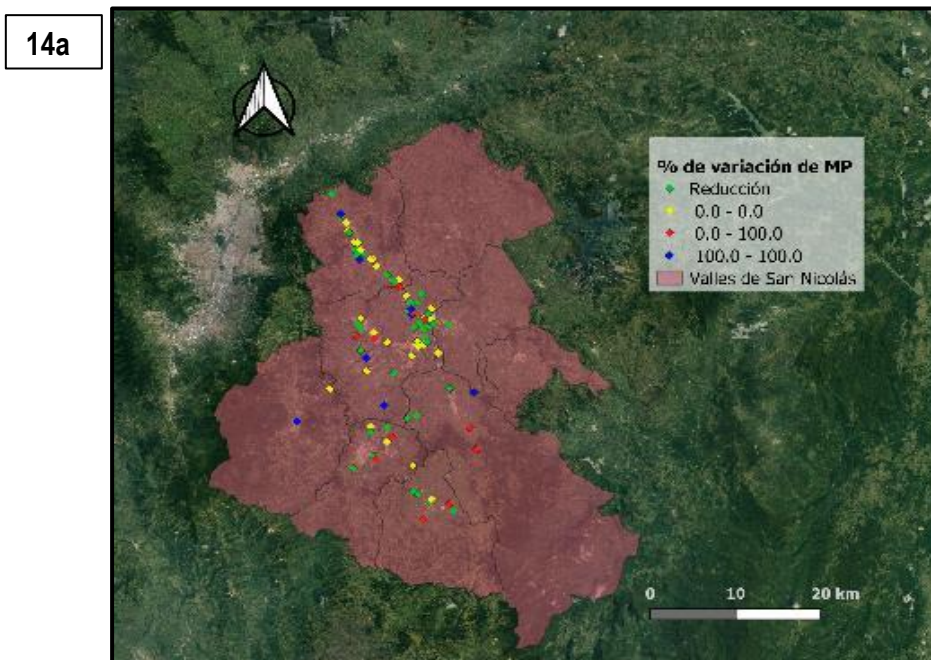
5.4. Georreferenciación de las fuentes fijas, donde se muestran las variaciones en las emisiones de las industrias durante los últimos cinco (5) años.

Para tener una visión más clara de cómo fue el comportamiento de las emisiones de los contaminantes criterio que se vienen analizando durante todo el documento y que son generadas por cada industria dentro de la jurisdicción CORNARE durante los últimos cinco (5) años, se construyeron una serie de mapas que permiten identificar aquellas industrias que han aumentado sus emisiones y al mismo tiempo

su ubicación, para así priorizar el control y monitoreo de las mismas, mediante una escala de colores “semáforo” donde el color **rojo** simboliza los incrementos, el **verde** las reducciones y el **amarillo** indica que la fuente fija no requiere medir determinado contaminante puesto que según lo estipulado en la normativa ambiental vigente no se exige. En **azul** se representan aquellas industrias nuevas que no tienen las suficientes mediciones para realizar una comparación significativa. Aquí, es importante mencionar, que el color amarillo necesita de un cuidado especial, dado que es posible que la fuente fija sí requiera medir, pero aún no lo ha hecho, en este caso se deberá acceder directamente a la base de datos, para verificar el cumplimiento de las frecuencias de medición establecidas para cada una según el cálculo de unidades de contaminación – UCA.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las regionales Valles de San Nicolás y Bosques. En la región Porce-Nús sólo se ubica una empresa perteneciente al sector químico, para la cual se encontró una disminución en material particulado.

Como se observa en la figura 14, **en** la regional Valles de San Nicolás han disminuido en su mayoría las emisiones de material particulado, no obstante, a pesar de que el promedio para toda la regional indica que han disminuido sus emisiones de NOx y SO₂, algunas de las industrias, si bien dan cumplimiento a la normativa ambiental, presentan incrementos, por lo que se recomienda hacer una revisión más exhaustiva para determinar la causa de este comportamiento y evitar que continúen en alza.



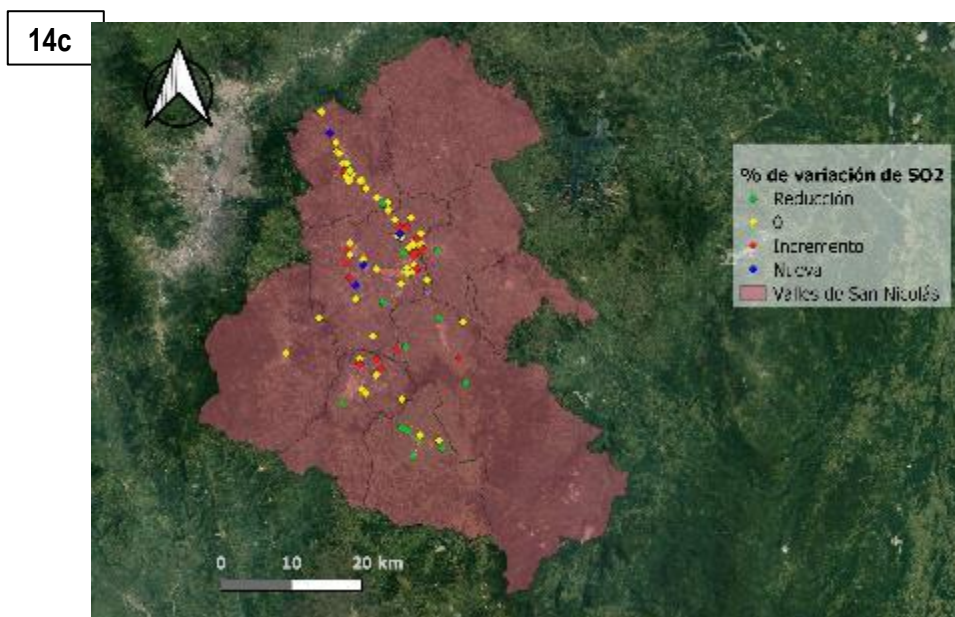
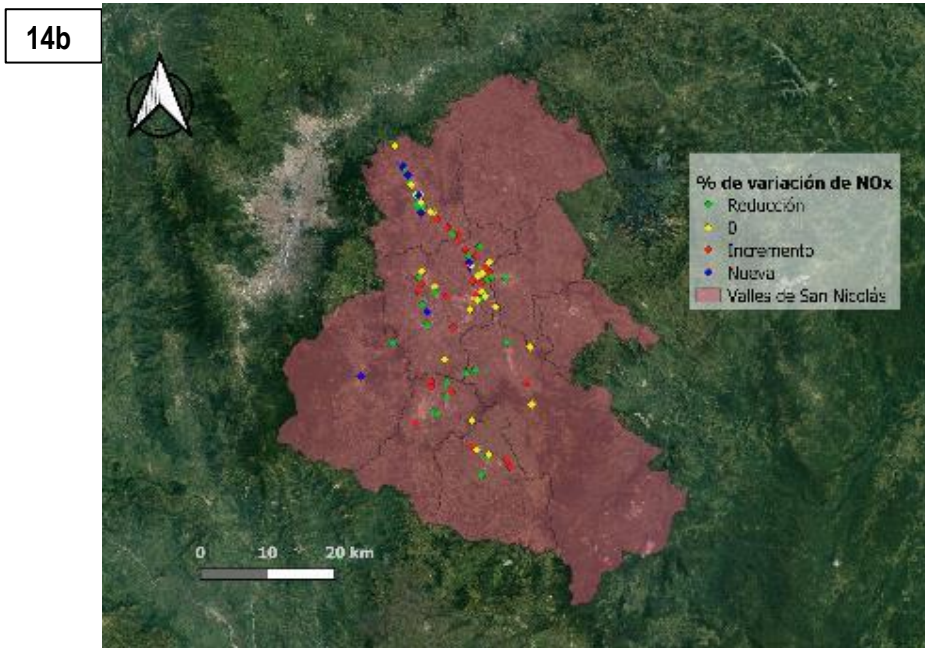
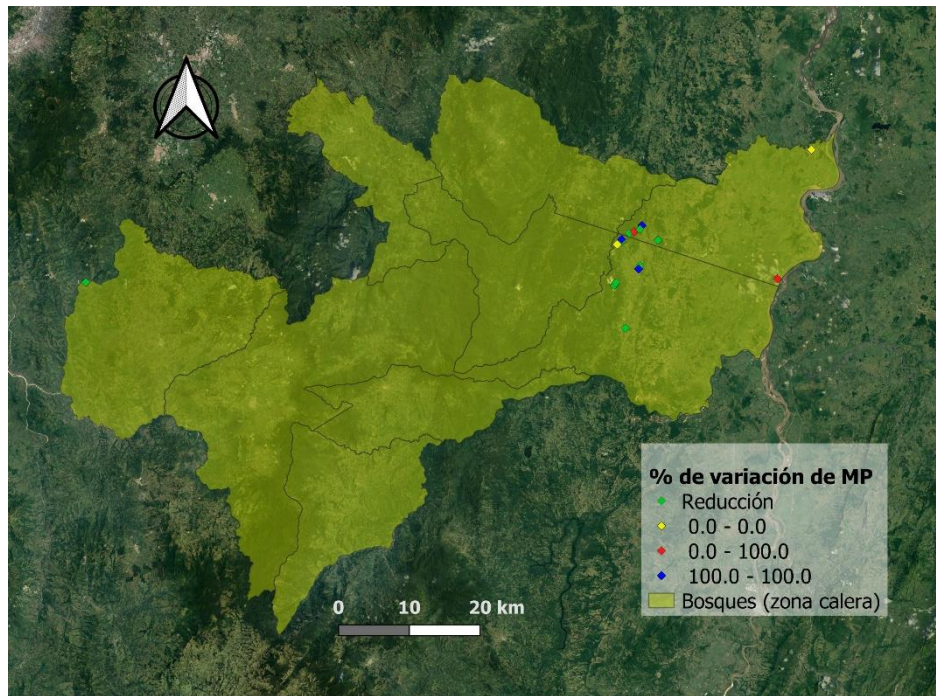


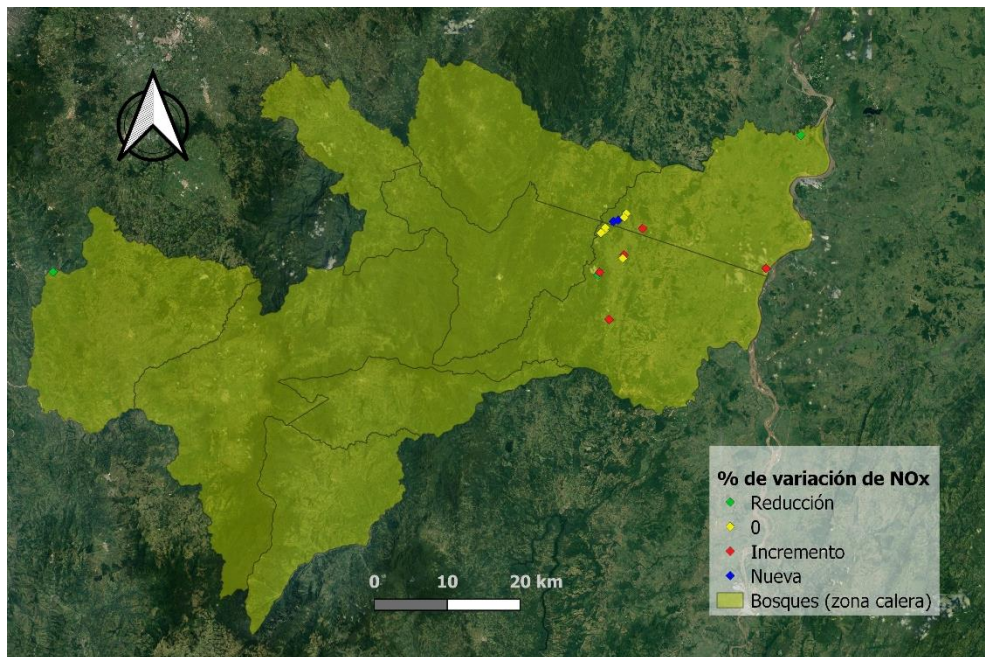
Figura 14. Valles de san Nicolás. a) Material Particulado-MP. b) Óxidos de nitrógeno-NOx. c) Dióxidos de azufre-SO₂.

De igual manera ocurre en la regional Bosques, donde se observa que las industrias allí asentadas, en general, han disminuido las emisiones de material particulado y SO₂, mientras que las concentraciones de NOx presentan un aumento considerable en las industrias que desarrollan sus actividades allí, las cuales pertenecen en su mayoría al sector minero y asfaltos, este último ha tenido un leve incremento de este contaminante, aunque el promedio de la región presente disminución (Ver Figura 15).

15a



15b



15c

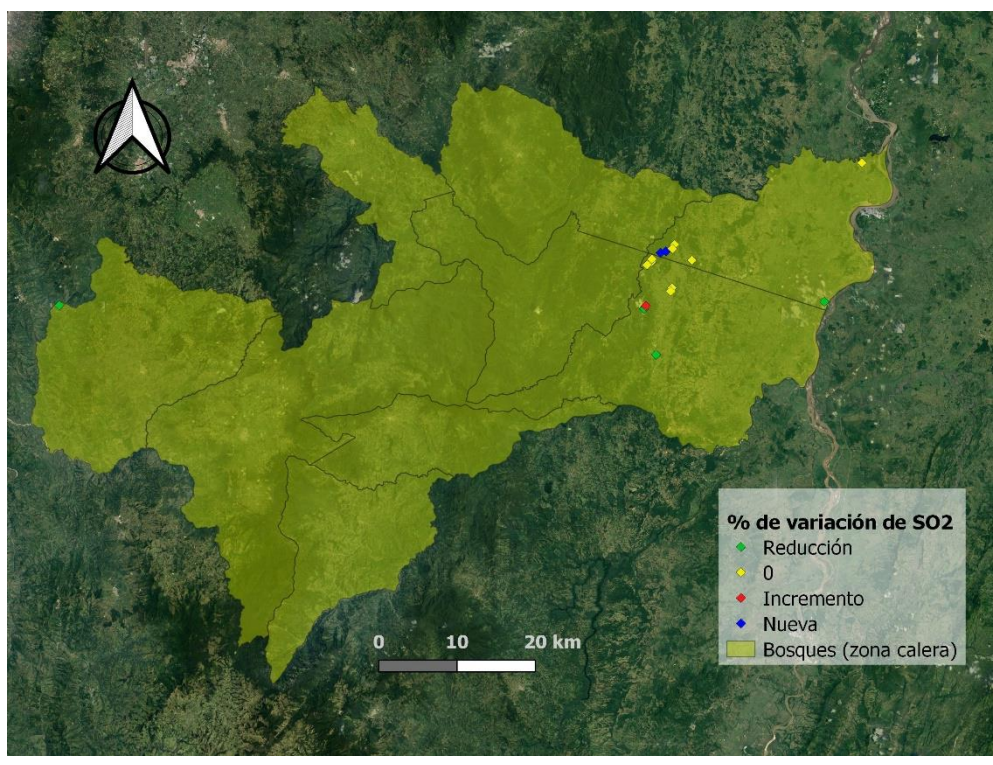


Figura 15. Bosques. a) Material Particulado-MP. b) Óxidos de nitrógeno-NOx. c) Dióxidos de azufre-SO₂

6. CONCLUSIONES

Teniendo como base la actualización del inventario de fuentes fijas existentes en la jurisdicción CORNARE realizado en el año 2015, no se encontraron variaciones significativas en la cantidad de industrias que poseen chimeneas objeto de control y seguimiento por parte de la Corporación, pues actualmente operan 130 empresas que cuentan con 455 fuentes fijas, de las cuales solo 350 se encuentran en funcionamiento. Cabe anotar que la región tiene una tendencia hacia el crecimiento del sector industrial por las condiciones favorables que encuentran en sus municipios. Algunas empresas se encuentran en procesos de construcción y/o traslado de sus instalaciones hacia el oriente Antioqueño, por lo que se recomienda que el inventario realizado en este trabajo sea constantemente revisado y alimentado, buscando tener un conocimiento amplio del entorno en el que la corporación desarrolla sus funciones.

Se encontró que el aporte de las industrias a la calidad del aire en los 26 municipios de la jurisdicción CORNARE, en general, es bajo lo que ayuda a mantener la calidad de vida y la salud de los ecosistemas. Sin embargo, de los contaminantes tratados en este estudio se evidenció que el dióxido de azufre (SO₂) requiere especial atención, ya que es el contaminante más generado en la jurisdicción.

Así mismo, referente al óxido de nitrógeno (NOx), aunque se encontró que es uno de los contaminantes emitidos en menor cantidad, también se pudo evidenciar que viene aumentando en el tiempo, situación que, en parte, puede deberse a la migración hacia combustibles y tecnologías más limpias para la

producción, como lo es el gas natural. Este hecho, conlleva una responsabilidad a la Corporación, quien en el ejercicio como autoridad ambiental tiene el deber de acompañar y promover estos procesos, pero también, monitorearlos y hacer un control eficaz de los mismos.

El contaminante material particulado, a pesar de estar involucrado en gran medida dentro de los procesos productivos y/o de servicios, con el paso del tiempo ha venido disminuyendo, de lo cual se puede inferir que las medidas aplicadas desde cada empresa, como la incorporación de sistemas de control que retienen las partículas generadas, han sido efectivas. Lo que, además, da cabida a la introducción de la economía circular, puesto que los residuos que allí se originan, llamados cenizas y escoria, podrían ser incorporados nuevamente en la cadena productiva de otros sectores y/o productos.

Por otro lado, se evidenció que existen significativos niveles de compuestos orgánicos volátiles (VOC) que son emitidos por las fuentes fijas de la jurisdicción, especialmente por los sectores industriales Químico (QMC) y plásticos (PCE), sumado a esto, como no existe en la actualidad normativa referente al control de estos contaminantes, se recomienda realizar un estudio mucho más detallado acerca de su comportamiento, su nivel de toxicidad y sobre qué medidas podrían evitar que sigan en aumento dentro de la jurisdicción.

Finalmente, se concluye que, los planes de control especial y priorización liderados por la Corporación han sido efectivos, lo que constituye esta gestión en acciones preventivas para el mantenimiento de una buena calidad del aire en la jurisdicción de CORNARE.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antonio, J., & Barba, G. (2016). *Escuela Politécnica Nacional Facultad De Ingeniería Química Y Agroindustria. Determinación De La Relación Entre El Desempeño Energético De Fuentes Fijas De Combustión Y Sus Emisiones Gaseosas Proyecto Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Químico Q.* Retrieved from <http://192.188.57.199/bitstream/15000/16805/1/CD-7388.pdf>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2019). *Cómo se contamina el aire.* Retrieved from <https://www.metropol.gov.co/ambientales/calidad-del-aire/generalidades/cómo-se-contamina-el-aire>
- Ciro Londoño, L. A. (2018). *Metodología para Caracterizar Espacio Temporalmente la Concentración de Material Particulado en Valles Intramontanos con Información Escasa.* Retrieved from http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/9413/1/LondoñoCiro_2018_MetodologiaMaterialParticulado.pdf
- CORNARE - UPB. (2015). *Estudio De La Dispersión De Contaminantes Atmosféricos En La Jurisdicción De Cornare.*
- Cuesta-Santos, O., Sosa Pérez, C., Iraola Ramirez, C., Yosdany González, J., Nuñez Caraballo, V., Fonte Hernández, A., ... Portal Castillo, D. (1988). *Inventario Nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas. Revista Cubana de Meteorología* (Vol. 23). Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba. Retrieved from <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/238/233>
- DANE, D. A. N. de E. (2018). *Boletín técnico Cuentas Departamentales 2017.* Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2015/Bol_dptal_2017preliminar.pdf
- DANE, D. A. N. de E. (2019). *Boletín Técnico Producto Interno Bruto (PIB) IV Trimestre de 2018.* Bogotá DC, Colombia. Retrieved from <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas->
- EPA. (2014). *2014 National Emissions Inventory Report.* Retrieved from <https://gispub.epa.gov/neireport/2014/>
- Franco R., J. F. (2012). *Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: Caso de estudio Bogotá. Revista EAN.* Universidad EAN. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602012000100013
- Gil, E., & Maya, R. D. (1997). *Revista Facultad de Ingeniería. Revista Facultad de Ingeniería.* Universidad de Antioquia. Retrieved from <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/325735/20783069>
- Lu, C., Wang, X., Li, R., Gu, R., Zhang, Y., Li, W., ... Wang, W. (2019). Emissions of fine particulate nitrated phenols from residential coal combustion in China. *Atmospheric Environment*, 203, 10–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.01.047>
- MADS, M. de A. y D. S. (2017). *INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.* Bogotá DC,

Colombia. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (Resolución 909 del 5 de junio de 2008).. Colombia.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2019). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Retrieved from [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Prieto Flores, M. E. et al, Moreno Jiménez, A., Gómez Barroso, D., Cañada Torrecilla, R., & Martínez Suárez, P. (2017). *Contaminación del aire, mortalidad cardiovascular y grupos vulnerables en Madrid: Un estudio exploratorio desde la perspectiva de la justicia ambiental. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* (Vol. 21). Univ. Retrieved from <http://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/18008/20722>

Santovenia Díaz, J., Tarragó Montalvo, C., & Cañedo Andalia, R. (2009). Sistemas de información geográfica para la gestión de la información. *ACIMED*, 20(5), 72–75. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009001100007

Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EFECTOS EN LA SALUD RESPIRATORIA EN EL NIÑO. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111–118. <https://doi.org/10.1016/J.RMCLC.2016.12.003>

Yanacallo Anchatuña, A. L., & Castro Quezada, L. M. (2018). *UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA ÁREA ADMINISTRATIVA Consecuencias del crecimiento económico sobre el medio ambiente*. Retrieved from [http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/23086/1/Anchatuña Yanacallo Ana Lucia_Trabajo de Fin de Titulación.pdf](http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/23086/1/Anchatuña%20Yanacallo%20Ana%20Lucia_Trabajo%20de%20Fin%20de%20Titulación.pdf)