

---

---

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA  
CALIDAD DEL AIRE DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA  
REGIONAL DEL ATLÁNTICO – CRA**

**CC6210**  
Versión 00

---

---

Control De Contaminación Ltda.

2022



## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	4
2.	OBJETIVOS .....	5
3.	DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES A MONITOREAR .....	6
4.	DETERMINACIÓN DE LA UBICACIÓN DE NUEVAS ESTACIONES DEL SVCA .....	8
4.1	SELECCIÓN DE LOS LUGARES DE INTERÉS PARA DEFINIR MACRO Y MICRO-LOCALIZACIÓN .....	8
4.2	SELECCIÓN DE LOS CONTAMINANTES DE INTERÉS .....	9
4.3	CONFIGURACIÓN DE UMBRALES DE INTERÉS.....	9
4.4	REVISIÓN Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	9
4.5	REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE .....	9
4.6	REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE DE LOS SVCA .....	10
4.7	CONFIGURACIÓN DE RECEPTORES.....	10
4.8	CORRIDA DEL MODELO DE DISPERSIÓN MEDIANTE LA FUNCIÓN TRESHOLD, PARA IDENTIFICAR LOS PUNTOS CALIENTES (HOTSPOTS).....	10
4.9	SUPERPOSICIÓN DE HOTSPOTS DE TODOS LOS CONTAMINANTES EVALUADOS Y LOS PUNTOS ACTUALES DEL SVCA.....	10
5.	DETERMINACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS A IMPLEMENTAR.....	11
5.1.	ADQUISICIÓN DE LOS DATOS LOCALMENTE. ....	11
5.2.	TRANSMISIÓN DE LOS DATOS A SISTEMA REMOTO.....	11
6.	SELECCIÓN DEL NUEVO MODELO DE ANÁLISIS DE DATOS, BASADO EN BIGDATA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA NUEVA RED.....	12
6.1.	MODELO DE BIG DATA – INTELIGENCIA ARTIFICIAL RECOMENDADO.....	13
6.1.1.	EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA AIREAS BASADO EN BIG DATA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	14
7.	PARAMETRIZACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN .....	16
7.1.	GENERALIDADES DE LA OPERACIÓN .....	16
7.1.1.	ETAPAS DE OPERACIÓN DE UN SVCA AUTOMÁTICO.....	17
7.1.1.1.	TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS.....	18
7.1.1.2.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	19
7.1.1.3.	REPORTE.....	19
7.1.1.4.	ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD.....	20
7.1.1.5.	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS.....	20
7.2.	PLAN DE CALIDAD PARA SVCA.....	20
8.	REDISEÑO DEL SVCA PARA LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO .....	22



8.1.	SELECCIÓN DEL MODELO DE DISPERSIÓN .....	31
9.	ESTACIONES ACTUALES Y PROPUESTAS PARA EL SVCA – CRA .....	32
10.	RECOMENDACIONES.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de flujo para implementación de SVCA .....	7
Figura 2.	Hot Spots PM10 .....	22
Figura 3.	Hot Spots SO <sub>2</sub> .....	23
Figura 4.	Hot Spots NO <sub>2</sub> .....	24
Figura 5.	Excedencias NO <sub>2</sub> 24 horas Galapa.....	24
Figura 6.	Excedencias NO <sub>2</sub> 24 horas Galapa 2 .....	25
Figura 7.	Excedencias NO <sub>2</sub> 24 horas – Soledad.....	25
Figura 8.	Sobreposición <i>Hot Spot</i> en la jurisdicción de la CRA .....	27
Figura 9.	Sobreposición <i>Hot Spot</i> Galapa .....	28
Figura 10.	Sobreposición <i>Hot Spot</i> Soledad .....	29
Figura 11.	Estaciones – SVCA – CRA.....	32
Figura 12.	SVCA actual y puntos sugeridos mediante Hot Spot.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 –	Máxima concentración estimada por modelización - Threshold .....	22
Tabla 2.	Coordenadas Centrales Máximo Número de Excedencias .....	26
Tabla 3.	Coordenadas estaciones SVCA-CRA .....	32
Tabla 4.	Resumen para propuesta SVCA CRA.....	34



## 1. INTRODUCCIÓN

Un modelo de dispersión es una imagen simplificada de la realidad, no contiene todas las características del sistema real, pero contiene características de interés para el manejo de temas específicos o problemas científicos.

Los contaminantes descargados en el aire son transportados grandes distancias por corrientes de aire de gran escala y son dispersados por pequeñas corrientes o turbulencias, las cuales mezclan los contaminantes con aire limpio a una altura determinada sobre la superficie.

La dispersión por viento es un proceso muy complejo debido a la presencia de celdas convectivas (remolinos) de diferentes tamaños en la atmósfera. Por esta razón no existe una teoría exacta que describa la relación entre las concentraciones de contaminantes en el ambiente y los procesos y factores meteorológicos causantes.

De esta forma se define un modelo de dispersión atmosférica como una simulación matemática de los procesos físicos y químicos que gobiernan el transporte, dispersión y transformación de contaminantes en la atmósfera. Es un medio para estimar las concentraciones de contaminación en función de variables como la dirección del viento, con información de entrada acerca de las fuentes emisoras y la naturaleza de la atmósfera.

Los modelos de contaminación del aire son programas de computadora que calculan la concentración del contaminante en función de las condiciones meteorológicas predominantes en una fuente, en intervalos de tiempo establecidos y utilizando como insumos información referente a la tasa de emisión del contaminante, las características de la fuente de emisión, la topografía local, datos meteorológicos del área de interés y en general el ambiente de fondo del contaminante.

Mediante el software de Modelización AERMOD VIEW 9.9.0, se modelizó la dispersión de los contaminantes introducidos a la atmósfera provenientes las fuentes fijas ubicadas dentro de la jurisdicción de la Corporación Regional de Atlántico (CRA), las cuales generan contaminantes tales como Material Particulado Menor a Diez Micras (PM10), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) con el objetivo de evidenciar los sectores de la jurisdicción en los que se generan mayores impactos para definir criterios de macro-localización de dos nuevas estaciones de monitoreo del sistema de vigilancia de la calidad del aire, a partir de técnicas de diseño de umbrales de seguridad.



## 2. OBJETIVOS

- Modelizar la dispersión de los contaminantes generados por las fuentes fijas inventariadas dentro de la jurisdicción de la CRA con el fin de determinar ubicación sugerida para dos estaciones de calidad del aire a incluirse en el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la CRA (SVCA-CRA).
- Determinar el área de alcance de las emisiones teóricas y niveles máximos de excedencias a umbrales de referencia, resultantes del modelo de dispersión de los contaminantes: Material Particulado Menor a Diez Micras (PM10), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) producto de las actividades que generan emisiones de fuentes fijas desarrolladas dentro de la jurisdicción de la CRA.
- Generar mapas de número excedencias que permitan identificar zonas con mayor frecuencia de concentraciones altas de Material Particulado Menor a Diez Micras (PM10), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) para proponer la ubicación de nuevas estaciones para el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la CRA.



### 3. DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES A MONITOREAR

Para avanzar en la determinación de los contaminantes que se desea monitorear para el diseño o rediseño de un sistema de vigilancia o red de monitoreo, es importante definir claramente los objetivos que se desea alcanzar mediante la implementación del mismo. En tal sentido, es preciso indicar que, para el caso de una autoridad ambiental, es indispensable contar con un análisis previo de la problemática asociada a la calidad del aire y que generalmente impacta la salud pública y el derecho fundamental a la salud y al ambiente sano.

Dependiendo de la jurisdicción de la Autoridad Ambiental, en función de las actividades productivas que se desarrollan en el territorio, se presentará mayor acento en la generación de ciertos contaminantes, sumado a los fenómenos meteorológicos de carácter periódico o episódico que ocurren en los territorios, con los respectivos efectos sobre los contaminantes presentes en la zona debido a la presencia de actividades antrópicas. En función de lo anterior, se debe analizar los escenarios críticos de contaminación del aire según los lineamientos dispuestos por las autoridades competentes. Para ello es necesario contar con información primaria y de calidad, que permita tomar decisiones informadas a partir de escenarios reales de operación.

Una metodología básica para la implementación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, es aquella basada en el análisis de las necesidades de monitoreo en función de los inventarios de emisiones contaminantes. A partir de la identificación de la cantidad, intensidad operativa y tipo de fuentes de contaminación del aire, es posible avanzar en la identificación de los posibles impactos generados en la población y el ecosistema circundante; así mismo, es posible implementar herramientas de modelización que permitan estimar la magnitud y las zonas de concentración máxima de ciertos contaminantes en la atmósfera y a partir de esto, diseñar redes de vigilancia que permitan conocer el estado de la calidad del aire de manera permanente, para generar herramientas de gestión asertivas que faciliten el control de la contaminación atmosférica y la implementación de medidas que permitan garantizar el derecho a la salud y a un ambiente sano para la población.

A continuación, se ilustra mediante un diagrama de flujo el procedimiento para implementar o reformular sistemas de vigilancia de la calidad del aire.

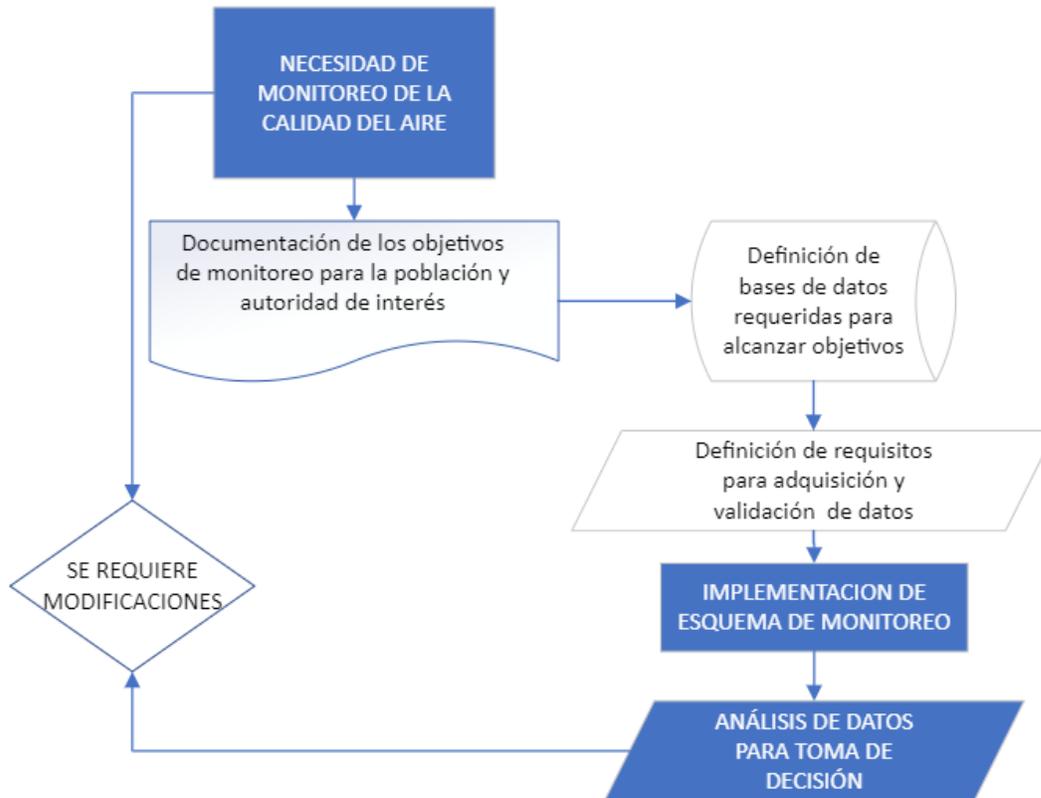


Figura 1. Diagrama de flujo para implementación de SVCA

En armonía con lo anteriormente descrito, para el caso de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico, es indispensable tomar en consideración las funciones de administración y vigilancia de los recursos naturales que le ha sido otorgada como facultad legal, para identificar los objetivos del monitoreo, orientando así la toma de decisión en lo referente a los contaminantes a monitorear, hacia aquellos que tengan mayor presencia en la jurisdicción a partir de las actividades industriales y antrópicas presentes en el territorio y que además han sido catalogados por las autoridades nacionales e internacionales como contaminantes que afectan la salud de la población y los ecosistemas.

De esta manera, al evaluar los inventarios de emisiones contaminantes adelantados en la jurisdicción de la zona de estudio, es posible concluir que aquellos contaminantes que mayor interés y preocupación generan y que motivan la canalización de recursos, con el material particulado PM10 y PM2,5 y los gases Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

#### 4. DETERMINACIÓN DE LA UBICACIÓN DE NUEVAS ESTACIONES DEL SVCA

Existen diversas técnicas de rediseño de sistemas de vigilancia y monitoreo de la calidad del aire, que incluyen metodologías centradas en los resultados de medición directa, metodologías centradas en la implementación de modelos de dispersión a partir de información primaria de inventarios de emisiones y de información secundaria generada a partir de la estimación mediante factores de emisión o balance de masas, así como metodologías mixtas, que combinan resultados de mediciones directas con resultados de herramientas de modelización de diversas naturalezas, en función de las capacidades de las entidades para acceder a los recursos informáticos y a información meteorológica representativa de las áreas de influencia.

La calidad de los resultados obtenidos dependerá, de la calidad de los datos de entrada. Para el caso específico de las técnicas combinadas, será relevante la representatividad de los datos recolectados mediante monitoreos (porcentaje de datos válidos en períodos de tiempo de evaluación definidos) de contaminantes específicos de interés, de los resultados de medición directa de emisiones en las fuentes (inventario de fuentes fijas), de los resultados generados a partir de la elaboración de inventarios de emisiones, así como de la representatividad de la información meteorológica utilizada en la herramienta de modelización para el caso de los modelos refinados como AERMOD y CALPUFF.

Dado lo anterior, es preciso indicar que la técnica de rediseño aplicada para el presente informe, contempla el uso combinado de un modelo refinado de escala local, validado internacionalmente por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos U.S. EPA (por sus siglas en inglés) AERMOD VIEW versión 9.9.0, con resultados de medición directa de monitoreos de fuentes fijas desarrollados en el área de influencia, que se considera como dominio de modelización.

Tomando como referencia el desarrollo científico adelantado por (Mazzeo & Venegas, 2008)<sup>1</sup> en el marco referencial del rediseño de redes de monitoreo de la calidad del aire, se aplicó para el presente estudio la metodología que se describe a continuación:

##### 4.1 Selección de los lugares de interés para definir macro y micro-localización

A partir del análisis del estado actual del sistema de vigilancia de la calidad del aire de la CRA y tomando en consideración la manifiesta necesidad de incorporar en ella, estaciones de monitoreo en los municipios de Soledad y Galapa, se tomó como dominio de interés toda la jurisdicción de la CRA con énfasis en estos dos municipios.

---

<sup>1</sup> Mazzeo, N. A., & Venegas, L. E. (2008). Design of an Air-Quality Surveillance System for Buenos Aires City Integrated by a NOx Monitoring Network and Atmospheric Dispersion Models. *Springer*, 8.

## 4.2 Selección de los contaminantes de interés

para configuración de la herramienta de modelización AERMOD VIEW (Según se ilustró en el acápite anterior). Para la selección de los contaminantes, se tomó como referencia el procedimiento descrito en el capítulo *DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES A MONITOREAR* del presente estudio.

## 4.3 Configuración de umbrales de interés

A partir de las recomendaciones nacionales e internacionales en combinación con los límites máximos permisibles definidos en la Resolución 2254 de 2017, para cada uno de los contaminantes seleccionados.

Para el ejercicio se tomó como umbral de referencia el 50% del valor máximo resultante del modelo de dispersión de las 18 fuentes fijas identificadas en el inventario de emisiones contaminantes, en función de la información disponible para la Autoridad Ambiental. Este criterio de diseño resulta del proceso iterativo de calibración que se siguió, tomando como primer umbral de interés, el valor máximo recomendado por las Organización Mundial de la Salud, en su informe 2021, para cada uno de los contaminantes evaluados en el modelo de dispersión de contaminantes, según se ilustró en el documento 2 - **Informe Modelo de Dispersión** que hace parte integral del presente estudio.

Debido a las limitaciones de la información disponible en el inventario de emisiones, que únicamente contempla las fuentes fijas puntuales (que según inventarios urbanos generados en el distrito capital y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá son responsables del 20% de las emisiones de MP) y que no incorpora las emisiones provenientes de las fuentes de área ni las provenientes de las fuentes móviles terrestres de carretera y fuera de ruta, según contempla la Resolución 762 de 2022 para Colombia, el ejercicio de modelización actual para rediseño del sistema de vigilancia de la calidad del aire, se encuentra desarrollado en función de las fuentes fijas de emisión y es deseable que se actualice una vez inventariadas nuevas fuentes de área y fuentes móviles del área de influencia.

## 4.4 Revisión y validación de la información meteorológica

Según se presentó en el **Anexo 1 - Meteorología** del presente documento, la información meteorológica contempla los resultados del modelo WRF observada durante los períodos 2020, 2021 y 2022 y es representativa de las condiciones reales que presentan las variables meteorológicas en el dominio de modelización.

## 4.5 Revisión de la información disponible

Sobre el particular es preciso indicar que es deseable contar con inventario de fuentes de área y de las fuentes móviles terrestres de la jurisdicción, para alimentar el ejercicio de inventario de emisiones que a su vez es entrada del presente estudio de rediseño del sistema de vigilancia.

#### **4.6 Revisión y análisis de la información disponible de los SVCA**

Se utilizó la información disponible y suministrada por la C.R.A., relacionada con la información de los monitoreos de calidad del aire y emisiones atmosféricas, para comparar en períodos temporales aplicables, el comportamiento de las emisiones de material particulado y de los gases SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> en función de las fuentes fijas de emisión. Sin embargo, es preciso indicar que toda vez que el modelo no consideró las fuentes móviles ni de área presente en la zona, la comparación resultará subvalorada para los resultados del ejercicio de modelización, en contraste con los resultados de monitoreo que si representan los aportes de todas las fuentes locales y el efecto de las fuentes vecinas presentes, en función de los patrones de vientos analizados en el apartado de información meteorológica de los documentos que componen el presente estudio.

#### **4.7 Configuración de receptores**

Para escenario de suelo urbano con número de habitantes de conformidad con los censos oficiales de la zona. Así mismo se consideraron receptores discretos en los puntos de las estaciones del sistema de vigilancia de la calidad del aire para verificación de consistencia de las series temporales de monitoreo y resultados de modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos.

#### **4.8 Corrida del Modelo de Dispersión mediante la función TRESHOLD, para identificar los puntos calientes (HOTSPOTS)**

para cada uno de los contaminantes evaluados, como puntos en los que mayor número de excedencias se presentan en los periodos anuales considerados para el presente estudio. Esto es, a partir del criterio de selección de umbrales descrito previamente, se identificó para cada uno de los contaminantes evaluados, cuáles son los puntos en los que se presentan mayor número de días y horas con valores superiores de contaminación.

#### **4.9 Superposición de HOTSPOTS de todos los contaminantes evaluados y los puntos actuales del SVCA.**

A partir de los resultados obtenidos en el punto anterior, se generan superposiciones de los resultados para los diferentes contaminantes, sumados a la localización de los puntos actuales de monitoreo del SVCA, para identificar las necesidades adicionales de monitoreo. Estos resultados constituyen los insumos para el análisis de rediseño del SVCA de la CRA.

## 5. DETERMINACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS A IMPLEMENTAR

Para la determinación de las tecnologías a implementar para modernizar las actuales y adicionar dos nuevas estaciones automáticas de calidad de aire en el departamento del Atlántico a través de la C.R.A., Se sugiere la actualización de tecnología para la adquisición y transmisión de los datos en tiempo real:

**5.1. Adquisición de los datos localmente:** Para realizar la adquisición de los datos localmente se sugiere implementar un sistema MODBUS RTU, el cual brinda la robustez necesaria para poder almacenar, transmitir y gerenciar los datos entregados por los equipos que componen el SVCA de la Corporación.

Este sistema tiene la capacidad de recoger los datos de cada sensor, equipo, instrumento y/o monitor del sistema y almacenarlos en memoria interna como datos crudos.

**5.2. Transmisión de los datos a sistema remoto: Por medio del enrutamiento y de los datos el sistema MODBUS RTU tiene la facilidad de enviar estos datos a un software a una página web para el correspondiente tratamiento de estos o etapa de gerenciamiento.**

La tecnología MODBUS RTU puede garantizar el envío de datos que estén almacenados en su memoria localmente cuando se restablezca la señal de internet si esta se llegase a perder en algún momento.

Es importante determinar los niveles de validación de los datos estimados para el cumplimiento de las normas vigentes para los SVCA, por tal razón el sistema MODBUS RTU puede configurarse para realizar pre validación de los datos utilizando configuraciones de alarmas, banderas, rutinas de mantenimiento etc, esto con el fin de garantizar una pre validación antes de los metadatos recibidos.

Lo anterior teniendo en cuenta el numeral 7.1.10.17. Validación de datos. Del Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Octubre de 2010.

## 6. SELECCIÓN DEL NUEVO MODELO DE ANÁLISIS DE DATOS, BASADO EN BIGDATA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA NUEVA RED.

El Big Data, al ser una herramienta de análisis de datos a gran escala, representa una oportunidad para democratizar el acceso a la información en temas ambientales, ayudando en los procesos de medición de escenarios y líneas base para la toma de decisiones tanto públicas como privadas.

A principios de la década del 2000, la inmensa cantidad de datos generados por diversas fuentes, principalmente derivados de la masificación de los dispositivos móviles, hizo que los medios tradicionales de almacenamiento y procesamiento, creados en los años ochenta para la recolección selectiva de datos estructurados, resultaran insuficientes (Comisión Europea, 2020). Por lo anterior, la primera referencia al término Big Data consistió en la identificación del reto tecnológico que implicaba la generación de datos cuyo volumen, velocidad y variedad, desafiaba los sistemas tradicionales.

Los datos y la información constituyen un elemento fundamental a la hora de tomar decisiones tanto públicas como privadas. Por ende, los sistemas de información ambiental son estratégicos en la garantía al acceso a la información. Los elementos fundamentales del derecho de acceso a la información son básicamente tres: «[...] (a) el acceso de los ciudadanos a los documentos administrativos (b) el control de los ciudadanos sobre la información de que dispone la Administración relativa a ellos mismos (c) la información administrativa, general y particular [...]» (Sánchez Morón, 1995, p. 31).

El acceso a la información da lugar a una novísima función de las Administraciones Públicas, que comprende dos labores, por un lado, la de formación y, por otro lado, la de información (Guzmán Jiménez, 2021). Por su parte, Betancor Rodríguez (2014) señala la importancia que representa esta actuación administrativa para la protección ambiental y facilita el escenario de ejecución de las decisiones. También, se aprecian esfuerzos de algunas empresas, que de manera voluntaria presentan información ambiental relativa a sus actividades y posibles impactos.

Los datos de relevancia ambiental pueden provenir de diferentes fuentes, como son: "i) Satélites. ii) Sensores. iii) Teléfonos móviles. iv) Aplicaciones móviles. v) Acceso a internet, entre otros" (Amaya-Arias, 2021). Los grandes volúmenes de datos ambientales (meteorológicos, climáticos e hidrometeorológicos[4]) generados por estaciones de monitoreo ambiental, como en el caso del Sistema de Información Ambiental Colombiano (SIAC) son una oportunidad para "describir las variables en el tiempo según la ubicación de las tomas de datos, registrar los cambios ocurridos, conocer el comportamiento de las diferentes medidas, descubrir relaciones entre los datos y patrones en la dinámica de los fenómenos; pero el gran volumen de datos obtenidos exige que se usen herramientas informáticas para su almacenamiento y gestión que permitan tener un mecanismo eficiente de análisis de datos y extracción de información y conocimiento relevante para la toma de decisiones y la generación de alertas tempranas por medio de la predicción de comportamientos." (Hernández Leal, 2016).

El Big Data es, además, un gran desafío para el ejercicio de la profesión jurídica. La innovación y la tecnología no son ajenas al Derecho del Medio Ambiente. La disponibilidad de información y

datos de calidad son esenciales para monitorear impactos ambientales y abordar los problemas y conflictos ambientales. También aparece el concepto de *green data* que son esos datos que ofrecen una oportunidad para realizar los análisis de servicios ecosistémicos o contribuciones de la naturaleza, lo que requiere información de múltiples sectores, a diferentes escalas, con propiedades espaciales y temporales.

Los ejemplos de *green data* o *Big Data* ambiental son diversos y variados. Podríamos analizar cada uno de los recursos naturales o factores de degradación ambiental. Presentaremos tres casos importantes. El primero, el Big Data al servicio de la calidad del aire, el análisis pormenorizado de los datos relacionados con la contaminación atmosférica también permite identificar qué zonas presentan una menor calidad del aire, pudiendo adoptar medidas orientadas a corregir estas deficiencias.

## Bibliografía

Amaya-Arias, A. (2021). Nuevas tecnologías y sostenibilidad ambiental: respuestas desde el Derecho ambiental. En: "Disrupción tecnológica, transformación digital y sociedad. Tomo II, Políticas y públicas y regulación en las tecnologías disruptivas". Universidad Externado de Colombia (pp. 702-732).

Betancor Rodríguez, A. (2014). Derecho ambiental. Madrid: La Ley

Guzmán Jiménez, L.F (2021). Los derechos de acceso a la Justicia Ambiental en el ordenamiento jurídico colombiano y español. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

Hernández Leal, E. (2016). Aplicación de técnicas de análisis de datos y administración de Big Data ambientales, Universidad Nacional de Colombia -Sede Medellín.

Sánchez Morón, M. (1995). El derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente. Revista de Administración Pública, 31-55.

### 6.1. Modelo de BIG DATA – INTELIGENCIA ARTIFICIAL RECOMENDADO

De acuerdo a investigaciones realizadas, se propone el Software AIREAS, de origen español, herramienta basada en Big data e Inteligencia Artificial.

Aireas, es una herramienta web pensada para la realización de análisis automatizados de los datos de calidad de aire recogidos por las estaciones de medida. AIREAS, permite realizar de manera sencilla análisis rigurosos de los datos y publicar automáticamente la información obtenida.

#### Como funciona:

**CARGA DE DATOS:** AIREAS recoge cada hora los datos de calidad de aire y meteorológicos, publicados por las estaciones de las redes automáticas de medida y los incorpora a la base de datos de la aplicación.



**ESTRUCTURACION Y ANALISIS:** Los datos se estructuran y analizan automáticamente, mediante técnicas estadísticas específicas para el análisis de datos de calidad de aire.

**VISUALIZACION DE LA INFORMACION:** Las herramientas de la aplicación permiten visualizar la información de manera interactiva y en tiempo real, facilitando el dialogo con los datos.

**PUBLICACION DE LAS CONCLUSIONES:** Las conclusiones del análisis, pueden convertirse en publicaciones listas para compartir que se actualizan automáticamente cada vez que se visualizan.

### 6.1.1. El Desarrollo de la tecnología AIREAS basado en Big Data e Inteligencia Artificial.

Ref: <https://bigdatamagazine.es/el-ciudadano-necesita-conocer-la-calidad-del-aire-que-respira>.

Con Aireas, una herramienta que convierte en conocimiento los datos sobre contaminación atmosférica, ya es posible. Gracias al uso del Big Data y la Inteligencia Artificial, todo el que esté interesado puede conocer la calidad del aire en su territorio.

Aireas es una plataforma web que realiza un análisis de la información que tienen todas las Comunidades Autónomas. Esta herramienta permite realizar una visualización en minutos, en tiempo real y con la posibilidad de conocer ese diagnóstico de la contaminación de manera permanente, es decir, transforma en conocimiento los datos sobre la contaminación de cada territorio y su evolución.

*"El ciudadano necesita conocer la calidad del aire que respira en el lugar donde vive y trabaja", afirma Luis Hernández, presidente del Observatorio de la Calidad del Aire. "Así nace nuestro Observatorio. Con el único objetivo de dar a conocer a la sociedad los datos que Aireas extrae. Lo único importante para nosotros es saber si el aire es sostenible o no y trasladárselo al ciudadano para que conozca esta información", añade.*

**Aireas, Big Data e IA para medir la calidad del aire.** Esta tecnología permite relacionar de forma automatizada los datos de calidad del aire con las operaciones realizadas en cada momento en el tráfico y emisiones. De esta manera, es posible saber qué actividades están contribuyendo a la contaminación del aire y valorar la efectividad de las medidas correctoras. El objetivo final es, por un lado, encontrar en los datos patrones ocultos de comportamiento; y, por otro, ejecutar de manera automática tareas complejas o rutinarias que en este momento no se pueden realizar o que suponen una inversión grande de tiempo.

*"Los análisis de datos y la Inteligencia Artificial se utilizan para conocer las relaciones de un volumen grande de datos que no puede ser gestionado por herramientas más básicas. Aireas es un ejemplo claro de ello. Una nueva fórmula de aplicación en un campo muy concreto: la calidad del aire", afirma el presidente del Observatorio de la Calidad del Aire.*



El uso de esta tecnología produce un impacto social positivo y favorable sobre el entorno urbano. Además, contribuye a la mejora de la calidad del aire, tanto en las propias ciudades, como en los entornos periurbanos. Este aspecto contribuirá a reducir la conflictividad vinculada a la contaminación atmosférica y contribuirá al desarrollo económico y social de los distintos territorios.

## 7. PARAMETRIZACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN

Para la parametrización de las variables de operación, se deben tener en cuenta los parámetros establecidos para la medición de la calidad del aire y conocidos como parámetros o contaminantes criterio, establecidos por la OMS año 2005.

Estos contaminantes criterio son:

- Partículas suspendidas en el aire PM10 y PM2.5
- Dióxido de Nitrógeno NO<sub>2</sub>
- Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>
- Ozono O<sub>3</sub>
- Monóxido de Carbono CO

En el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Octubre de 2010. Establece la línea base para realizar una parametrización en correspondencia a los objetivos específicos de un SVCA.

Cuando un SVCA cuenta con estaciones automáticas para el monitoreo de los diferentes contaminantes criterio y la descarga de dicha información es realizada a través de comunicación telefónica, radial, satelital, cable u otro sistema de transmisión de datos, se debe garantizar y mantener el correcto funcionamiento del medio de comunicación empleado para evitar que en la transferencia y descarga de datos a la estación central de información, se pierdan registros o sean transferidos de forma errónea, haciendo que el dato quede inválido.

### 7.1. GENERALIDADES DE LA OPERACIÓN.

Los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire automáticos no requieren análisis posterior de la muestra tomada. Por medio de métodos ópticos o eléctricos se analiza la muestra directamente proporcionando datos en tiempo real, de modo que se puedan tomar acciones inmediatas ante la ocurrencia de un evento de concentraciones altas de algún contaminante. En la figura siguiente, se muestran las etapas generales de operación de un SVCA automático. Como se observa, está conformado por tres secciones principales y dos de apoyo: Aseguramiento y Control de la Calidad y Mantenimiento y Calibración de Equipos.



### 7.1.1. Etapas de Operación de un SVCA Automático.

El análisis de la muestra es realizado de manera continua por el equipo, con base en las propiedades físicas o químicas del gas y sus posibles reacciones ante ciertos fenómenos, que generalmente están relacionados con la incidencia de energía en diferentes longitudes de onda. Por esta razón, los analizadores automáticos emplean principalmente métodos ópticos y electrónicos para la determinación de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos. La operación de todo SVCA Automático debe estar amparada bajo un plan que defina cada una de las etapas de ejecución y los responsables del desarrollo de tales etapas, de modo que el proceso se mecanice y se lleve a cabo garantizando la calidad de la información tomada. El mecanismo que garantiza la efectividad del proceso y la calidad de la información es el Plan de Calidad del SVCA el cual debe desarrollarse a lo largo de todo el proceso. Dentro de este plan se debe incluir el mantenimiento preventivo y correctivo, al igual que la calibración; labores que aseguran la operatividad de los equipos y la veracidad en la lectura de las muestras tomadas. En el Plan de Calidad se debe elaborar un flujo detallado del proceso que permita establecer actividades rutinarias y no rutinarias a realizar. Para que el esquema anterior se cumpla, se debe tener en cuenta que cada estación automática deberá tener un sistema de comunicaciones adecuado (teléfono fijo, celular, radio, etc.). De otra forma será necesaria una rutina de recolección de información, que en gran medida anularía las ventajas de la automatización. A continuación, se describen cada una de las etapas de operación para un SVCA Automático.

A continuación, se describen las etapas de un SVCA Automático.

**7.1.1.1. Toma de Muestra y Análisis.** Esta etapa comprende los procedimientos relacionados con la toma de la muestra y su análisis en un SVCA Automático. A continuación, se describen los métodos empleados por los equipos para el análisis de la muestra. Toma de datos en SVCA automáticos. Si bien es cierto que con los analizadores automáticos se reduce la generación de datos erróneos y la cantidad de datos no captados, debido a que existe menor manipulación de la información, es incorrecto pensar que por tal motivo no es necesaria la existencia de procedimientos que aseguren la calidad en la transmisión de datos. De manera interna cada analizador debe realizar procedimientos de traducción de datos a señales análogas (voltajes) y de éstas a señales digitales, las cuales son las que pueden ser visualizadas en el datalogger de cada equipo. Debido a esto, es imperativo que existan programas estrictos de revisión y calibración de los equipos, para garantizar que la señal que se visualiza en el monitor coincida con las salidas eléctricas recibidas y coincida con la información almacenada en la unidad de memoria del analizador, es decir, poder asegurar que el sistema de comunicación no introduce perturbaciones. Finalmente, debe verificarse la consistencia de datos entre el datalogger y el sistema central de información. Se recomienda verificar la consistencia global de toda la cadena de transferencia de datos, registrando en el sistema central los datos generados durante las calibraciones multipunto. Por otro lado, se debe verificar que la distribución de información desde el sistema central de datos a los usuarios finales se realice manteniendo la consistencia de la información generada. Para esto se recomienda comparar periódicamente grupos de datos, escogidos arbitrariamente y obtenidos de cada una de las bases de datos para periodos iguales, verificando que su contenido permanezca sin alteración atribuida a los sistemas de envío y recepción de información. Es posible que existan estaciones donde a pesar de contar con analizadores automáticos, la transmisión de los datos hacia la central de información no puede ser realizada directamente, sino que es almacenada en un procesador, también conocido como CPU (Central Processing Unit) y de ahí descargados en algún medio magnético de almacenamiento de información (USB, CD ó MMC-SD) y trasladado al centro de control. En estos casos, donde la transferencia de datos no es realizada directamente sino a través de medios externos al equipo, se hace necesario que el SVCA considere adicionalmente al programa de mantenimiento del equipo, una cadena de custodia, que garantice.

**7.1.1.2. Procesamiento de la Información.** Esta actividad comprende la validación de los datos y la determinación de factores puntuales que pudieron afectar la medición, a fin de incluirlos en la base de datos. Durante esta etapa se realiza el análisis y la consolidación de los datos para llegar a conclusiones acerca de la calidad del aire dentro del dominio del SVCA. Es en esta etapa donde se deben cumplir los objetivos previstos para el sistema. en el manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, capítulo sobre etapas comunes a todos los SVCA, se muestra la forma en que debe realizarse el procesamiento de la información. Previo al procesamiento de la información se deben enviar los datos al analista desde la estación. Para ello es necesario que existan ciertos dispositivos que se encargarán de la toma del dato desde el analizador, el preprocesamiento, en promedios configurados por el usuario y la transmisión de los datos tal como se muestra en la siguiente figura.



**Proceso de tomas de muestras hasta el procesamiento de la información**

Por lo general en los SVCA el procesamiento de la información se realiza automáticamente a través de un software central que comunica con las estaciones y gestiona la información para que sea transferida y luego analizada con las herramientas propias de dicha aplicación.

**7.1.1.3. Reporte.** El reporte es el resultado de la operación del SVCA que se lleva a la comunidad, dependiendo del SVCA del aire dicho reporte tendrá unas características específicas, como su publicación en página web o a través de informes periódicos.

**7.1.1.4. Aseguramiento y Control de Calidad.** Esta actividad comprende el conjunto de procesos y requerimientos necesarios para garantizar la confiabilidad de la información. El Aseguramiento y Control de la Calidad debe llevarse a cabo a lo largo de todas las etapas de la operación del SVCA. Todo SVCA debe tener un Plan de Calidad implementado que garantice la confiabilidad de la información.

**7.1.1.5. Mantenimiento de Equipos.** Cada SVCA debe tener un programa de mantenimiento preventivo y correctivo. Este programa define las acciones generales a seguir con el fin de evitar fallas en el SVCA e incrementar la confiabilidad de los datos. En el programa de mantenimiento se definen las rutinas de chequeo y limpieza de partes, que aseguran el funcionamiento del sistema, así como también las frecuencias de estas actividades. Es recomendable referirse al manual del fabricante para rutinas de mantenimiento específicas.

El mantenimiento de los equipos garantizará la continuidad en la toma de muestras en el SVCA. Un estricto programa de mantenimiento preventivo y correctivo debe incluirse en el Plan de Calidad del SVCA. De todos los mantenimientos realizados se debe llevar registro de acuerdo a como se especifique en dicho plan. Los SVCA automáticos poseen equipos con la capacidad de realizar pruebas automáticas que diagnostican el estado del equipo.

## 7.2. Plan de Calidad para SVCA.

Para que el Sistema de Vigilancia de la Calidad de Aire funcione en óptimas condiciones, se requiere una serie de parámetros regulados basados en un Plan de Calidad, el cual es un documento donde se detallan todas las actividades relacionadas con la vigilancia, control y medición de los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos. La redacción, elaboración y aprobación del Plan de Calidad debe ser ejecutada antes de iniciar la operación o ajuste de cualquier Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA). El contenido de todo Plan de Calidad debe incluir como mínimo:

**1. Generalidades:** Esta sección está relacionada con la descripción de los objetivos del documento que se presenta, es decir, los objetivos de contar con un plan de calidad. Debe incluir una sección de control del manual y registro donde se debe registrar la fecha de elaboración y las posteriores fechas de modificaciones al documento, en caso que se presenten, y finalmente debe incluir una breve descripción del SVCA que representa (Cantidad de estaciones, tipo de tecnología, ubicación específica y detallada de las mismas, objetivos de los monitoreos del SVCA, entre otras).

**2. Estructura y Responsabilidad:** Se debe definir el organigrama del programa de monitoreo y seguimiento de calidad del aire, al cual obedece la creación del respectivo SVCA; en esta sección se deberán incluir los cargos y las responsabilidades de todas las personas que participen en la ejecución del proyecto.



3. **Objetivos de Aseguramiento de Calidad:** Presentación de los objetivos del SVCA, los objetivos de calidad y los objetivos de control de calidad en términos precisión, exactitud e integridad.
4. **Procedimientos de Medición:** Descripción detallada de los métodos y procedimientos de medición que se emplearán en la operación del SVCA.
5. **Cadena de Custodia:** Descripción detallada de los procedimientos de empaque, marcado y transporte de las muestras o reportes de los equipos.
6. **Procedimientos de Revisión y Calibración:** Descripción de los procesos de calibración de los equipos.
7. **Análisis de Datos, Validación y Reporte:** Descripción detallada de los procesos a realizar por el personal del SVCA, relacionado con los análisis, validación y elaboración de informes.
8. **Control de Calidad Interno:** Definición de los procedimientos para el control de calidad como por ejemplo el chequeo de calidad en el pesaje y otras actividades relacionadas con el monitoreo de la calidad del aire.
9. **Auditorías de Desempeño del Sistema:** Definición del desarrollo de las posibles auditorías al SVCA durante su operación (evaluación del cumplimiento de objetivos, evaluación de la capacidad del personal que opera el SVCA, evaluación de operación interna y evaluación de desempeño).
10. **Mantenimiento Preventivo:** Definición de las acciones para los mantenimientos preventivos de los equipos que hacen parte del SVCA.
11. **Reportes de Aseguramiento de Calidad:** Definición del tipo y contenido de los informes que serán presentados a la dirección del SVCA, en el momento de realizarse algún tipo de auditoría.

## 8. REDISEÑO DEL SVCA PARA LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO

Una vez aplicada la técnica de rediseño descrita en el presente informe, a continuación, se ilustra gráficamente el resultado de la superposición de HOT SPOTS que indican las macro-localizaciones sugeridas para las nuevas estaciones de monitoreo del sistema de vigilancia de la calidad del aire de la CRA. Adicionalmente, de cara a los resultados obtenidos, se presenta el análisis de las estaciones de fondo recomendadas para el dominio de modelización en función de la ubicación actual y ubicación futura sugeridas para las dos estaciones adicionales, según resultados de ejercicios y requerimientos de la autoridad ambiental de la jurisdicción.

Para el caso de PM10 se obtuvo la siguiente salida gráfica al configurar un umbral del 50% de la máxima concentración obtenida en la ejecución del modelo de dispersión del inventario de fuentes fijas puntuales.

Tabla 1 – Máxima concentración estimada por modelización - Threshold

Contaminante	Máxima concentración estimada ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Mitad de máxima concentración (Threshold) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
PM10 – 24 Horas	19,86	10
SO <sub>2</sub> – 24 Horas	13,98	7
NO <sub>2</sub> – 24 Horas	13,45	6



Figura 2. Hot Spots PM10

Tal como se observa en la Figura 2, se obtuvo un punto de macro-localización en la cercanía del municipio de Galapa. Se observa que para esta ubicación se espera la ocurrencia de por lo menos 178 excedencias en el período 24 horas para el threshold establecido de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , esto es, más de 178 días del año se sobrepasará el umbral de seguridad seleccionado. En tal sentido, este hotspot es uno de los puntos sensibles a tener en cuenta para la ubicación de equipos de monitoreo de PM10. Así mismo, a continuación, se presentan los *hotspots* obtenidos para los contaminantes  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ , respectivamente.

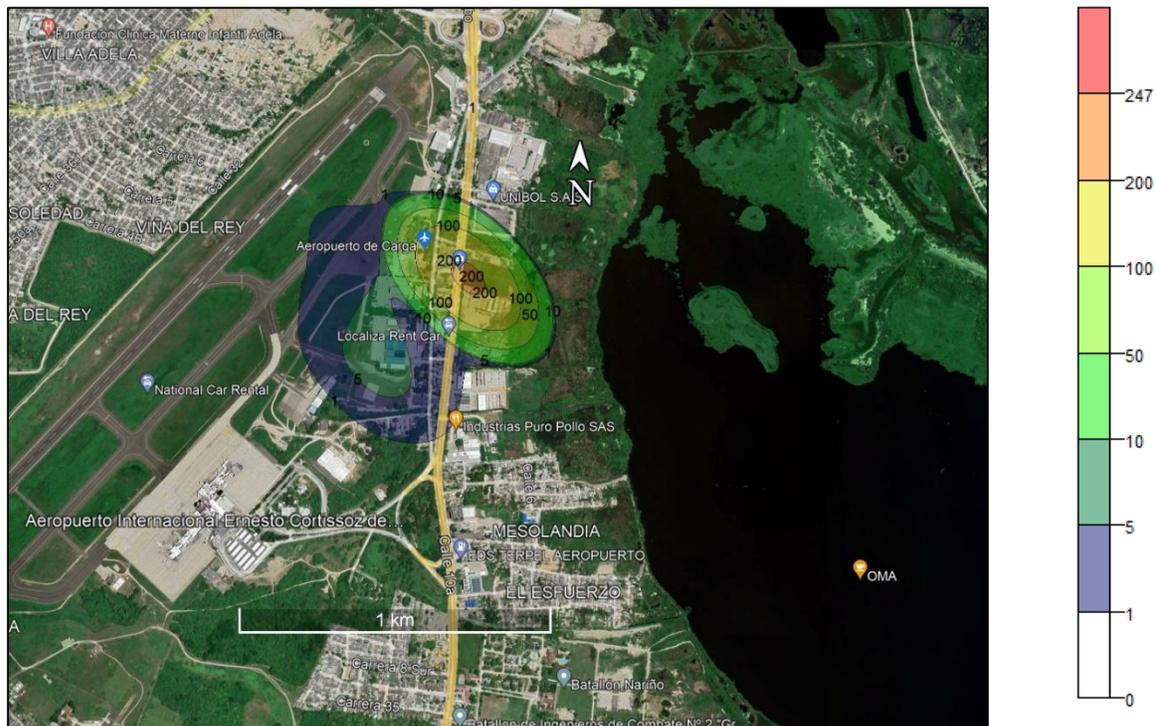


Figura 3. Hot Spots  $\text{SO}_2$

Para el caso de  $\text{SO}_2$  se obtuvo en la salida gráfica un *hotspot* en la cercanía del municipio de Soledad, en el que se prevé la ocurrencia de más de 200 violaciones al umbral de seguridad configurado, lo que indica que por lo menos en 200 ocasiones se sobrepasa el límite definido, durante un período anual. Esta situación sugiere la necesidad de monitorear la zona de interés en esta macro-localización.

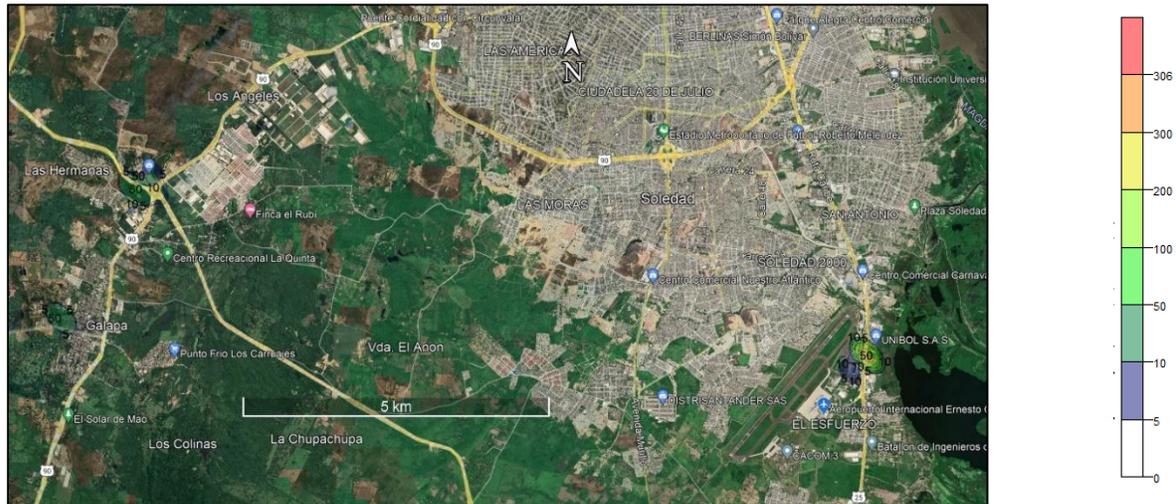


Figura 4. Hot Spots NO<sub>2</sub>

Análogamente, para el caso de NO<sub>2</sub> se obtuvo en la Figura 4, 3 *hotspots* en la cercanía de los municipios de Galapa y Soledad, con la ocurrencia de más de 300 sobrepasos al umbral de seguridad considerado para la modelización (50% del máximo obtenido para el modelo de dispersión de las 18 fuentes fijas inventariadas, 6 µg/m<sup>3</sup>).

Adicionalmente, Para el caso de NO<sub>2</sub> se obtuvo como resultado 3 puntos calientes distribuidos entre los municipios de Soledad y de Galapa. A continuación se presenta de manera detallada cada uno de ellos.

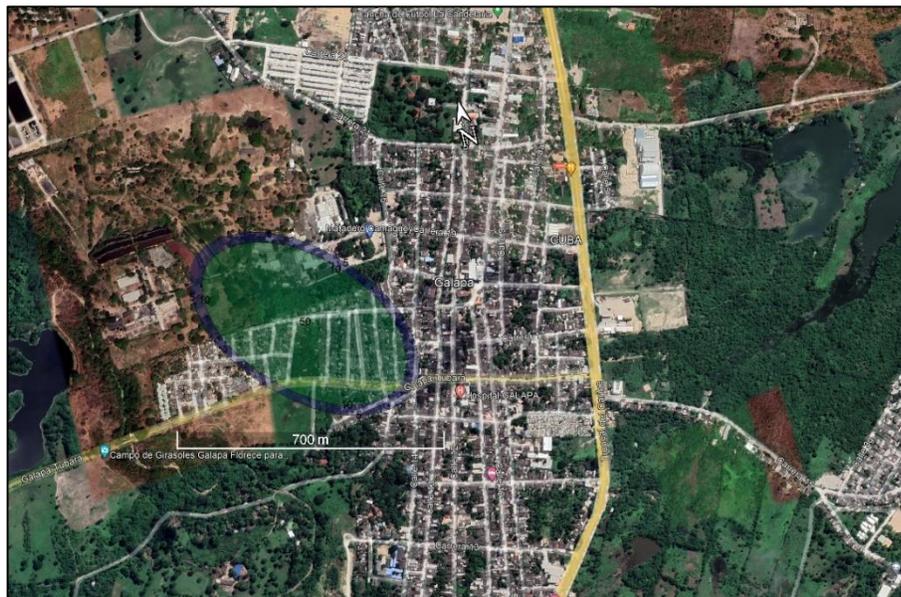


Figura 5. Excedencias NO<sub>2</sub> 24 horas Galapa.

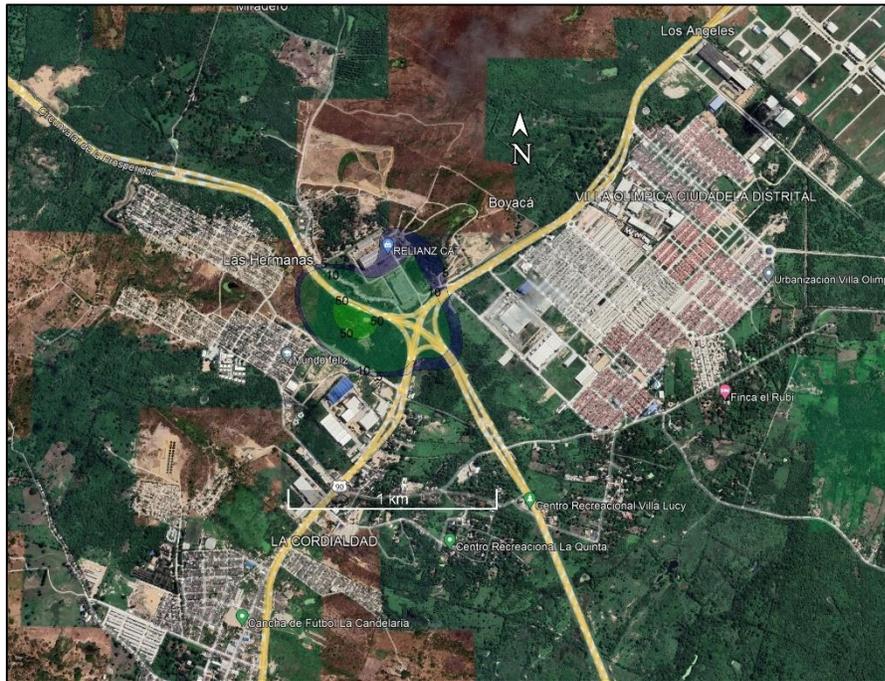


Figura 6. Excedencias NO<sub>2</sub> 24 horas Galapa 2

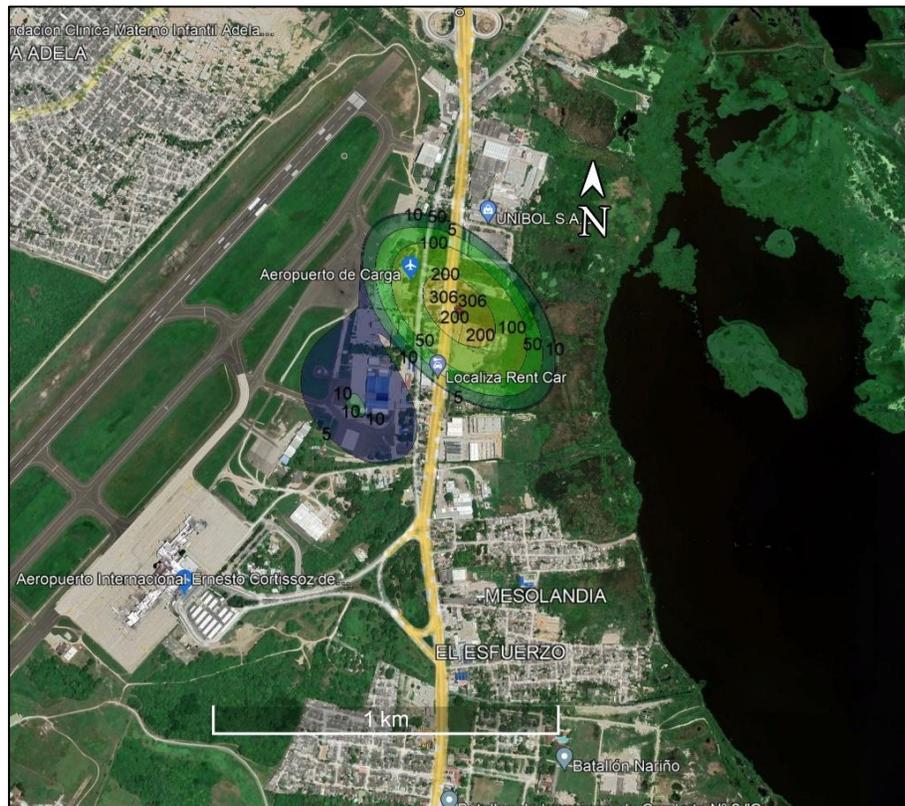


Figura 7. Excedencias NO<sub>2</sub> 24 horas – Soledad

A partir de lo anteriormente descrito, se adelantó un ejercicio de superposición de los *hotspots* obtenidos para los diferentes contaminantes a fin de identificar intersecciones potenciales que permitan definir micro-localizaciones para los diversos contaminantes, en los que se encuentre viable instalar estaciones de monitoreo multi-contaminantes (PM10 y gases NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) a fin de optimizar los recursos disponibles para la actualización y rediseño del sistema de vigilancia de la calidad del aire.

Tabla 2. Coordenadas Centrales Máximo Número de Excedencias

Punto	Coordenadas*	
PM10	Y	2763086,74
	X	4793516,63
SO <sub>2</sub>	Y	2762403,01
	X	4806711,1
NO <sub>2</sub> Suroriente	Y	2762403,01
	X	4806711,1
NO <sub>2</sub> Suroccidente	Y	2763084,65
	X	4793515,91
NO <sub>2</sub> Centro	Y	2765183,06
	X	4794744,5

\* Sistema de coordenadas Nacional CTM12

Es preciso indicar que las coordenadas que se presentan en la tabla corresponden a las coordenadas en los que ocurre la mayor cantidad de excedencias en el año a partir de la información disponible, que se encuentra enfocada en las emisiones provenientes de fuentes fijas y no contempla los efectos de actividades tales como fuentes de área (actividades de explotación minera) ni la circulación de vehículos por las vías de la jurisdicción o emisiones generadas por fuentes móviles fuera de carretera.

A continuación, se ilustra el resultado del ejercicio de superposición de excedencias y se indica el área de macro-localización sugerida para las dos estaciones adicionales del SVCA de la CRA. Es preciso indicar, que es deseable que este ejercicio se amplie incorporando las fuentes móviles y fuentes de área presentes en la región, especialmente aquellas actividades relacionadas con la minería y movimiento de carbón. De esta manera, el SVCA será más representativo del inventario regional de emisiones contaminantes.



Figura 8. Sobreposición *Hot Spot* en la jurisdicción de la CRA

Con lo anterior se concluye el procesamiento gráfico de la técnica de rediseño aplicada, a partir de la cual se obtuvo coordenadas de macro-localización de conformidad con los criterios de diseño previamente expuestos y que consideran dentro de sus limitaciones, la escasez en la información del inventario de emisiones contaminantes, que contempla únicamente alguna de las fuentes fijas de operación en la jurisdicción. A continuación, se detallan los aspectos técnicos de la herramienta de modelización utilizada y se presenta síntesis de resultados y conclusiones.

Se logra evidenciar que la sobreposición de los hotspot de los contaminantes PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> se presentan en los municipios de Galapa y Soledad confirmando la necesidad de ampliar el SVCA a estos municipios, de igual forma, la ubicación de los hotspot provee información fundamental para la futura aplicación de criterios de micro-localización que permita determinar la ubicación final de las 2 nuevas estaciones. A continuación, se presentan la ubicación detallada de los hotspot en los municipios de Malambo y Soledad.



**Figura 9. Sobreposición *Hot Spot* Galapa**

Como se puede observar en la Figura 9 el mayor número de excedencias para PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub> se presentan al costado occidental del municipio de Galapa en una zona con diferentes usos de suelo, entre los cuales se tiene residencial, comercial e industrial. Siendo esta la zona recomendada para la ubicación de la estación en el municipio. A continuación, se presenta el área detallada de excedencias para el municipio de Soledad.

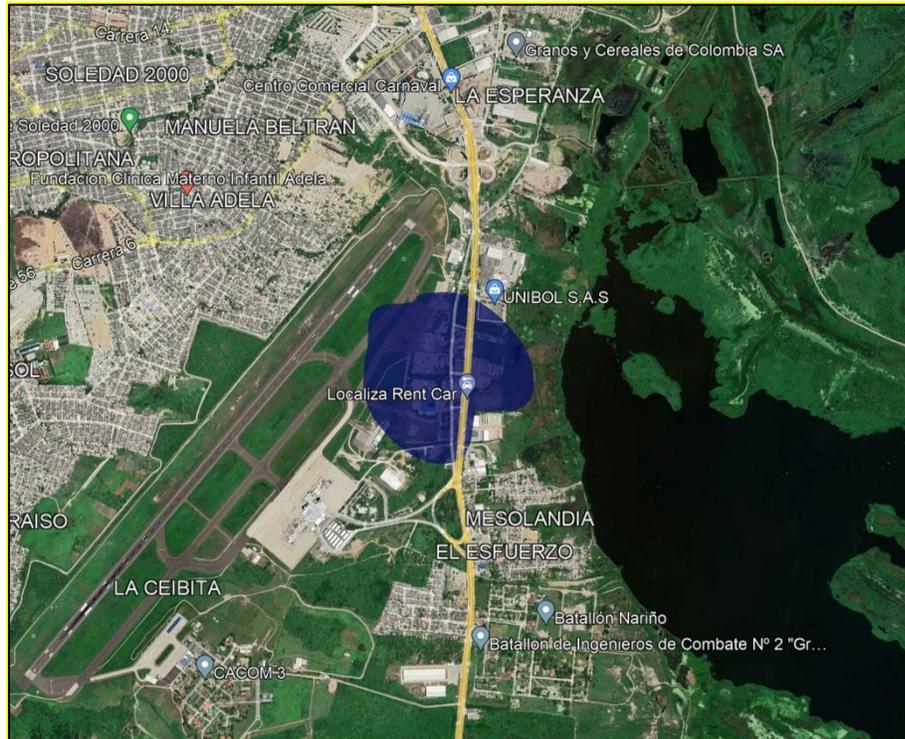


Figura 10. Sobreposición *Hot Spot* Soledad

Al analizar las excedencias en el municipio de Soledad estas se presentan al costado suroriental del municipio en cercanías al Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz, siendo esta un área de interés que puede aportar información relevante para la calidad del aire de la zona asociada a la operación del aeropuerto.

Finalmente, en cuanto a las áreas de excedencias y la ubicación final definida para las 2 estaciones es importante recalcar que se recomienda realizar visitas de campo para confirmar los criterios de micro-localización definidos en el *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la Calidad del aire, manual de diseño de sistemas de Vigilancia de la calidad del aire*, de octubre 2010, del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, numeral 6.4 - Criterios *De Micro Localización De Los Sitios De Vigilancia* los cuales se resumirán posteriormente en el numeral 9.

A continuación, se describen las características del modelo empleado para la determinación de las excedencias para el propósito de rediseño objeto de estudio en el presente informe.

<b>Nombre del proyecto</b>	Corporación Autónoma Regional Del Atlántico – CRA
<b>Departamento</b>	ATLÁNTICO
<b>Tipo de modelo</b>	Dispersión Gausseana – aire
<b>Herramienta de Modelización</b>	Aermod View versión 9.9.0
<b>Actividad principal modelizada</b>	Emisiones de fuentes fijas puntuales
<b>Altura de sobre nivel del mar</b>	Nivel del suelo (42 msnm)
<b>Radio de Modelización</b>	15 Km
<b>Información meteorológica</b>	Modelo WRF años 2020, 2021, 2022
<b>Contaminantes modelizados</b>	PM10, SO <sub>2</sub> y NO <sub>2</sub>
<b>Normatividad aplicable</b>	Resolución 2254 de 2017- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
<b>Anexos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mapas de concentración (kml)</li> <li>2. Mapas de concentración (shp)</li> <li>3. Mapas de terreno (hgt, KML)</li> <li>4. Meteorología (sam, .sfc, .pfl, .au)</li> <li>5. Receptores (xls)</li> <li>6. Archivo de fuentes (xls)</li> <li>7. Archivos de concentración (xls)</li> <li>8. Datos SVCA – CRA</li> <li>9. Análisis datos SVCA - CRA</li> </ol>

El actual informe se realizó para los siguientes años de modelización:

- Modelo de dispersión de contaminantes para el Año 2020
- Modelo de dispersión de contaminantes para el Año 2021
- Modelo de dispersión de contaminantes para el Año 2022
- Modelo de dispersión de contaminantes para los Años 2020 a 2022

## 8.1. Selección Del Modelo De Dispersión

Se utilizó un modelo de dispersión validado internacionalmente para la determinación de la dispersión gaussiana de la pluma contaminante, en un dominio de modelización menor a 50Km. Tomando en consideración que la información disponible corresponde a fuentes puntuales de emisión y que no se considera un efecto costero en función del análisis de la superficie presentado en el capítulo de información meteorológica del presente estudio, se encuentra que el modelo AERMOD VIEW, que es un modelo refinado que incorpora las condiciones de elevación de terreno en confluencia con las condiciones meteorológicas representativas del dominio de modelización mediante la herramienta AERMET.

La dispersión Gaussiana permite establecer la dispersión de los contaminantes emitidos desde fuentes puntuales, y asume una distribución gaussiana dentro de la pluma generadora. La fórmula de Gauss - Plume se deriva suponiendo condiciones "de estado estacionario". Es decir, las fórmulas de dispersión de pluma gaussiana no dependen del tiempo, aunque sí representan un promedio de tiempo de conjunto. Se supone que las condiciones meteorológicas se mantienen constantes durante la dispersión de la fuente al receptor, que es efectivamente instantánea. Las emisiones y las condiciones meteorológicas pueden variar de una hora a otra, pero los cálculos de los modelos en cada hora son independientes de los de otras horas. Debido a esta derivación matemática, es común referirse a modelos de Gauss -plume como modelos de dispersión de estado estacionario. En la práctica, sin embargo, las características de la pluma cambian con el tiempo, ya que dependen de las emisiones y el cambio de las condiciones meteorológicas. Una consecuencia de la formulación de pluma es que cada hora el penacho se extiende instantáneamente hasta el infinito.

El modelo AERMOD VIEW ha sido validado por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos, USEPA -por sus siglas en inglés- para su aplicación en esquemas de permiso y licenciamiento ambiental para proyectos industriales y procesos productivos según la normatividad ambiental de ese país. Sobre la materia, en Colombia no se ha adoptado o validado ningún modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos para los ejercicios de modelización con propósitos permisivos, sin embargo, se considera pertinente aplicar un modelo validado por la USEPA una vez confirmada la pertinencia técnica de aplicación del mismo, según las necesidades del presente estudio.

## 9. ESTACIONES ACTUALES Y PROPUESTAS PARA EL SVCA – CRA

Como receptores discretos dentro del área de modelización se establecieron 7 estaciones del SVCA de la CRA, a continuación, se presentan las coordenadas de las estaciones, estas se encuentran distribuidas en los municipios de Malambo, Puerto Colombia y Soledad.

Tabla 3. Coordenadas estaciones SVCA-CRA

Estaciones SVCA-CRA	Geográficas		*Magna Sirgas	
	Norte	Oeste	Norte	Este
Malambo – PIMSA	10° 49' 53,17" N	74° 46' 11,84" W	2.755.473,292	4.806.582,859
Malambo – Secretaría tránsito	10° 51' 42,16" N	74° 46' 25,97" W	2.758.823,434	4.806.173,324
Soledad – Policía Hipódromo	10° 55' 38,88" N	74° 46' 17,81" W	2.766.092,901	4.806.463,576
Soledad – EDUMAS	10° 55' 15,75" N	74° 48' 49,04" W	2.765.409,677	4.801.868,780
Puerto Colombia – Alcaldía	10° 59' 16,79" N	74° 57' 34,01" W	2.772.913,492	4.785.980,511
Puerto Colombia – Bomberos	11° 0' 43,27" N	74° 56' 23,97" W	2.775.556,206	4.788.123,464
Soledad – Granabastos	10° 53' 13,92" N	74° 48' 10,56" W	2.761.660,591	4.803.014,579

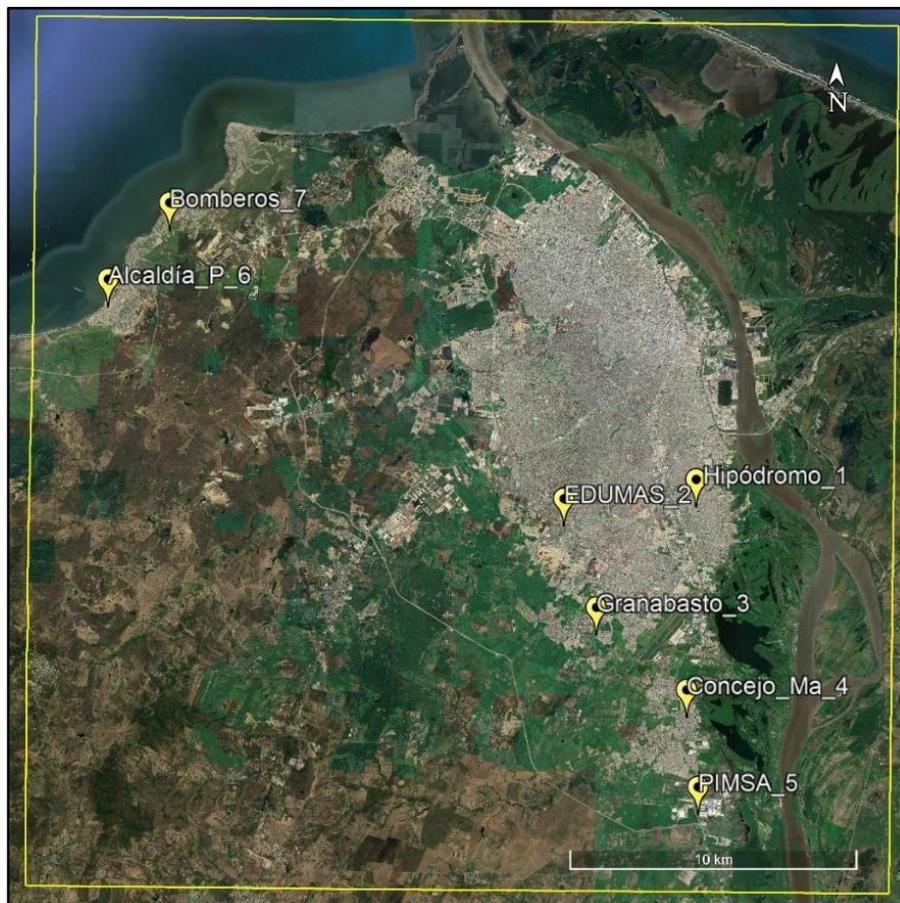


Figura 11. Estaciones – SVCA – CRA

En la Figura 11 se presenta la distribución geográfica de las estaciones del SVCA de la CRA abarcando gran parte de la jurisdicción. A partir de lo anterior, se ilustra en la siguiente figura la localización de los puntos calientes o hotspots hallados mediante la metodología descrita en el presente documento, en combinación con los puntos de monitoreo actualmente instalados en el sistema de vigilancia de la calidad del aire de la CRA.

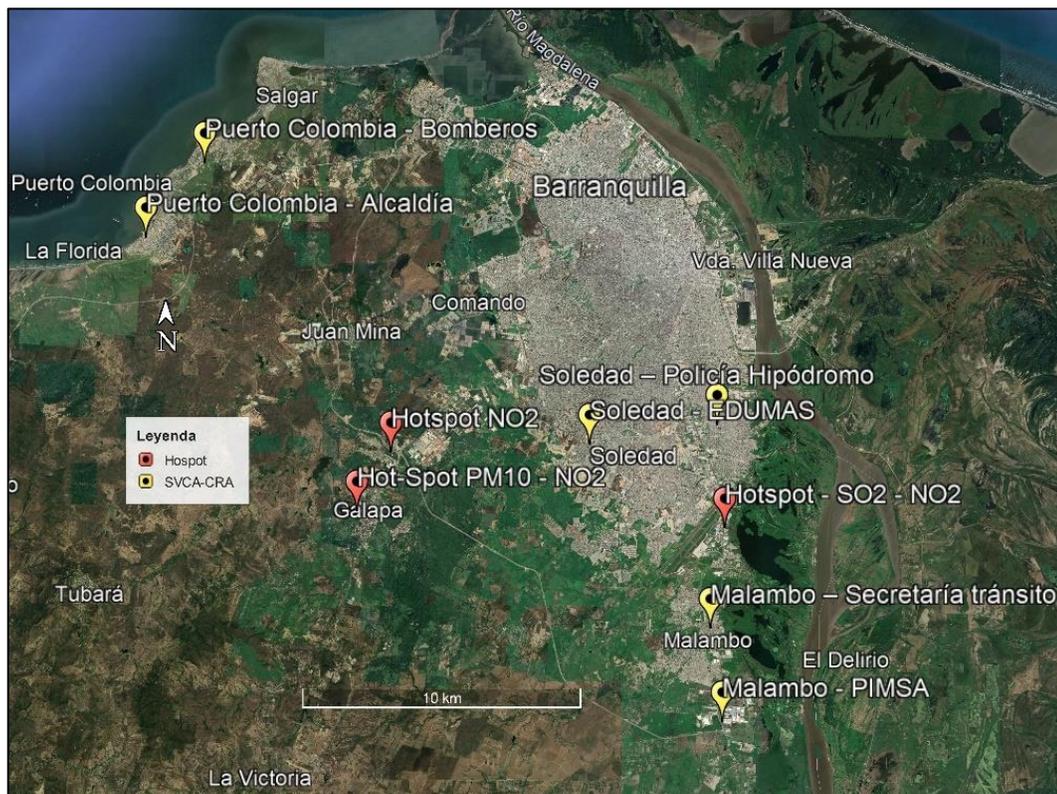


Figura 12. SVCA actual y puntos sugeridos mediante Hot Spot

Al evaluar los resultados obtenidos mediante modelización (hotspot) junto con la ubicación actual de las estaciones del SVCA-CRA se evidencia la necesidad de fortalecer las mediciones de PM10 y NO<sub>2</sub> en el municipio de Galapa y las mediciones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> en el municipio de Soledad.

Adicionalmente, se evidencia la ausencia de estaciones de monitoreo en los límites entre la ciudad de Barranquilla y el municipio de Galapa lo cual no permite conocer el aporte de las fuentes de emisión ubicadas en barranquilla al SVCA de la CRA y a los municipios vecinos.

Se recomienda la ubicación de una estación de tipo fondo entre Barranquilla y Galapa que atienda los requisitos de estación de fondo para PM10 según *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la Calidad del aire, manual de diseño de sistemas de Vigilancia de la calidad del aire*, de octubre 2010, del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.

A continuación, se presentan los criterios de micro-localización más relevantes que pueden delimitar las áreas de macro-localización determinadas mediante modelización, estas se encuentran establecidas en el *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la Calidad del aire, manual de diseño de sistemas de Vigilancia de la calidad del aire*, de octubre 2010, del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, numeral 6.4 - *Criterios De Micro Localización De Los Sitios De Vigilancia*.

#### Aspectos generales:

- Condiciones de Seguridad
- Exposición de los toma-muestras y sensores
- Condiciones de Logística
- Consideraciones visuales y arquitectónicas

#### Aspectos específicos

- Los tomamuestras no deben estar localizados cerca de las salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones de edificios.
- Se deben evitar también zonas de parqueo, depósitos de químicos o de combustibles.
- No se recomienda emplear generadores eléctricos para las estaciones.
- Se deben evitar sitios muy cercanos a acumulaciones o almacenamiento de residuos sólidos o líquidos.
- Los sitios de vigilancia de PST y PM10 deben estar alejados de carreteras sin pavimento, campos deportivos, lotes sin vegetación que los cubra o cualquier fuente emisora de material particulado que pueda alterar la medición.

#### Adicionalmente tener en cuenta:

- Distancia a fuentes menores
- Distancia a vías
- Altura de los tomamuestras respecto a obstáculos y edificios

A continuación, se resume la propuesta del rediseño del SVCA de la CRA con base en la ubicación actual y la ubicación de las 2 estaciones nuevas en los municipios de Galapa y Soledad. Esto teniendo en cuenta que la ubicación de las estaciones actuales permite obtener información de puntos relevantes para la calidad del aire de la jurisdicción y que ya se cuenta con información histórica que permitirá ampliar la representatividad temporal del SVCA CRA.

Tabla 4. Resumen para propuesta SVCA CRA

Estaciones SVCA-CRA	Ubicación	Contaminantes	Tecnología	Tipo de estación
Malambo – PIMSA	Actual	PM10: (Tabla 9 – Manual Diseño SVCA)	Automática	Suburbana
Malambo – Secretaría tránsito	Actual	PM10: (Tabla 9 – Manual Diseño SVCA)	Automática	Urbana
Soledad – Policía Hipódromo	Actual	PM10: (Tabla 9 – Manual Diseño SVCA)	Automática	Urbana

<b>Soledad – EDUMAS</b>	Actual	PM10, O <sub>3</sub> : (Tabla 9 – Manual Diseño SVCA)	Automática	Urbana
<b>Puerto Colombia – Alcaldía</b>	Actual	PM10: (Tabla 9 – Manual Diseño SVCA)	Automática	Urbana
<b>Puerto Colombia – Bomberos</b>	Actual	PM10: (Tabla 9 – Manual Diseño SVCA)	Automática	Suburbana
<b>Soledad – Granabastos</b>	Actual	PM10: (Tabla 9 – Manual Diseño SVCA)	Automática	Suburbana
<b>Galapa – Nueva</b>	Según análisis de excedencias (Figura 9)	PM10, NO <sub>2</sub> : Según análisis de excedencias (Figura 2, Figura 4)	Automática	Suburbana Industrial
<b>Soledad - Nueva</b>	Según análisis de excedencias (Figura 10)	PM10, O <sub>3</sub> : (Tabla 9 – Descripción SVCA Tipo III – Manual Diseño SVCA) SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> : Según análisis de excedencias (Figura 3)	Automática	Suburbana industrial

## 10. RECOMENDACIONES

- Con base en los resultados obtenidos mediante el análisis de puntos calientes o hotspot se confirma la que la inclusión de 2 estaciones de calidad del aire el SVCA de la CRA en los municipios de Galapa y Soledad fortalecerían el seguimiento a la calidad del aire por parte de la Corporación Autónoma Regional de Atlántico, los resultados arrojan que es necesaria pero no debe limitarse a la medición de PM10 y NO<sub>2</sub> en el municipio de Galapa junto con la medición de SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> en el municipio de Soledad. Esto teniendo en cuenta los análisis de excedencias de PM10, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> (Figura 9, Figura 10) junto con los criterios del Manual de diseño de SCVA.
- Adicionalmente, se recomienda la aplicación de criterios de micro-localización detallados para la ubicación final de las estaciones toda vez que si bien el análisis de puntos calientes sugiere una ubicación esta no tiene en cuenta todos los criterios necesarios para el establecimiento de estaciones de calidad del aire como son seguridad, logística, arquitectónicas, entre otras.
- Finalmente, se recomienda evaluar la inclusión de una estación de fondo que permita conocer el estado de la calidad del aire en los límites entre la ciudad de Barranquilla y el municipio de Galapa, esto teniendo en cuenta la dirección predominante del viento y los posibles aportes de la ciudad al municipio.