



Autoridad Nacional
de Licencias Ambientales



2026

GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE **MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS** DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS

Elaboró:

Jaime Andrés Fajardo Rodríguez
Contratista

Revisó:

Juan Pablo Ayala Robayo
Líder Técnico grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo


Aprobó:

Oscar Alexander Varila Quiroga
Coordinador grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo

Jorge Alberto Sanabria Morales

Subdirector Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales



	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

1. Introducción

El desarrollo del país a través de diferentes proyectos, obras o actividades (POA's) cada vez más relevantes y ambiciosas, hace que el estado actual y futuro de los recursos naturales sea de gran importancia en aras de lograr un desarrollo sostenible. Lo que ha llevado desde diferentes sectores a la implementación de modelaciones numéricas de los recursos naturales con un enfoque ambiental, que permiten simular los cambios que podrían presentarse en la cantidad y calidad del recurso como resultado de la ejecución de POA's en un área o región del territorio.

La modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos es una herramienta que permite dimensionar el impacto denominado: "Alteración de la concentración de contaminantes criterio y o sustancias tóxicas en el aire" según la Estandarización y jerarquización de impactos ambientales de proyectos licenciados por ANLA; esto mediante la determinación de la acumulación, extensión, magnitud, sinergia y duración de las emisiones atmosféricas generadas en las diferentes etapas de un proyecto. Lo anterior, hace de la modelación un insumo vital en la determinación del área de influencia atmosférica, valoración ambiental, evaluación de impactos ambientales y soporte para la consolidación de los programas de manejo ambiental y programa de seguimiento y monitoreo ambiental.

Aunque la guía de referencia de modelización de dispersión de contaminantes atmosféricos se encuentra en elaboración por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE) a corte de septiembre 2025, es importante establecer que, existen diferentes instrumentos normativos que indican su uso como lo establece el parágrafo 2 del artículo 2.2.5.1.7.4. asociado al trámite o solicitud del permiso del Decreto 1076 de 2015, donde se solicitan estudios técnicos de dispersión obligatorios para la toma de decisiones asociadas al impacto de la calidad del aire; el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, acogido mediante la Resolución 2154 de 2010 del MADS, como una herramienta de diagnóstico y como un componente dinámico mismo del sistema de vigilancia según su tipo; y la Metodología General para la Evaluación y Presentación de Estudios Ambientales (MGEPEA) acogida en su última versión por la Resolución 1402 de 2018 de la ANLA que brinda lineamientos generales.

Conforme a lo anterior, se presenta esta guía que contiene orientaciones y recomendaciones de lo que se consideran buenas prácticas de modelación de la dispersión contaminantes atmosféricos para el Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo del Estado de los Recursos Naturales de la ANLA (GRCM) Subdirección para la Evaluación de Licencias Ambientales (SELA) y la Subdirección para el Seguimiento de Licencias Ambientales (SSLA), construida a través de la recopilación de los diferentes estudios presentados por parte de usuarios externos que allegan o radican estos modelos como herramienta para la toma de decisiones en el impacto ambiental generado por los Proyectos, Obras o Actividades (POA's) y la experiencia, conocimiento, formación y capacitación del equipo.

2. Objetivo

2.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer buenas prácticas para la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos, mediante lineamientos técnicos, criterios mínimos de información y procedimientos estandarizados, con el fin de garantizar resultados trazables, comparables y útiles para la evaluación ambiental de la ANLA y su adopción por actores externos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Unificar criterios y requisitos de datos para la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos incluyendo reglas de calidad, representatividad y control, así como la adecuada espacialización y temporalidad, a fin de asegurar insumos comparables y trazables.
2. Estandarizar los criterios de configuración del modelo de dispersión considerando las guías internacionales y enfocando su aplicación al licenciamiento ambiental, con el propósito de fortalecer el rigor técnico y la reproducibilidad.
3. Definir los entregables de los modelos necesarios para la toma de decisiones, precisando estructura y formatos, metadatos, contenidos técnicos y trazabilidad de resultados, de manera que se facilite la revisión, el uso y la integración de los productos por parte de la ANLA.

3. Alcance

Esta guía contiene lineamientos sobre buenas prácticas de modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos desarrollada por el Centro de Monitoreo del Estado de los Recursos Naturales de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (CM), que establece recomendaciones o elementos de interés para la revisión de modelos de usuarios externos que allegan o radican a esta Autoridad Ambiental durante las diferentes etapas del licenciamiento ambiental como herramienta de evaluación para la toma de decisiones en relación con los posibles impactos ambientales que los POA's pueden generar en el recurso.

Esta guía constituye un instrumento complementario a la Guía Nacional de Modelización de la Calidad del Aire, que será expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente). Su finalidad es fortalecer y unificar los criterios de revisión aplicados por los profesionales de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y, al mismo tiempo, brindar lineamientos a los usuarios externos para optimizar la presentación en los estudios de dispersión; con ello se busca garantizar que los estudios de modelación ambiental cumplan con los requisitos establecidos y eviten la generación de requerimientos de información adicional durante los procesos de evaluación o seguimiento.

Es importante establecer que, si el Minambiente expide la Guía de Modelización de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos, este documento se ajustará a lo establecido en ella.

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA</p> <p>EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

4. Definiciones

AERMAP: Preprocesador de terreno del sistema AERMOD que procesa datos de elevación digital y genera información sobre la ubicación y altura de los receptores y las fuentes para el modelo de dispersión.

AERMAP: Preprocesador de topografía para AERMOD que calcula alturas efectivas y de receptores.

AERMET: Preprocesador meteorológico del sistema AERMOD que organiza y procesa los datos meteorológicos de superficie y de perfil vertical para calcular parámetros de la capa límite atmosférica necesarios para la modelación.

AERMET: Preprocesador meteorológico de AERMOD que genera series y parámetros de capa límite.

AERMOD: Modelo de dispersión de estado estacionario (pluma gaussiana) recomendado por la US-EPA y la legislación local, que incorpora conceptos de la capa límite planetaria para simular la dispersión de contaminantes en el aire.

AERMOD: Modelo regulatorio gaussiano para estimar concentraciones de contaminantes a escala local.

AERSURFACE: Herramienta que deriva rugosidad, albedo y fracción de vegetación a partir de coberturas de suelo.

ALOS PALSAR: Conjunto satelital que provee datos de elevación y coberturas terrestres.

Altura de mezcla: Altura de la atmósfera por encima de la superficie terrestre donde se produce una mezcla vertical vigorosa de los contaminantes debido a la turbulencia térmica o mecánica.

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

AP-42: Compilación de factores de emisión publicada por la US-EPA.

Calma: Condición meteorológica en la que la velocidad del viento es inferior al umbral de arranque del anemómetro o es registrada como cero, lo cual afecta la dispersión de contaminantes.

CALPUFF: Sistema no estacionario de modelación atmosférica (CALMET-CALPUFF-CALPOST).

Capa Límite Planetaria (PBL): Parte inferior de la troposfera que está directamente influenciada por la superficie de la Tierra y responde a los forzamientos de la superficie con una escala de tiempo de una hora o menos.

CFD: Dinámica de fluidos computacional para resolver numéricamente campos de flujo y transporte.

Concentración de fondo: Nivel de contaminación existente en el aire ambiente antes de considerar el aporte de la fuente específica que se está modelando.

Condiciones meteorológicas: Descripción de las variables atmosféricas (velocidad y dirección del viento, temperatura, nubosidad, radiación solar) en cada hora simulada dentro del dominio del modelo.

Copernicus: Programa europeo que ofrece datos globales de elevación y coberturas terrestres.

Discretización espacial (Malla de receptores): División del dominio de estudio en puntos específicos (receptores) organizados en mallas cartesianas o polares, o ubicados en puntos discretos de interés, donde el modelo calculará las concentraciones.

Discretización temporal: División del periodo de modelación en incrementos finitos, generalmente de una hora, para los cálculos de dispersión.

Dominio del modelo: Área geográfica delimitada en la que se calculan las concentraciones de contaminantes y que abarca tanto las fuentes de emisión como los receptores de impacto.

Downwash (Lavado por edificios): Fenómeno aerodinámico en el que la pluma de contaminantes es arrastrada hacia abajo en la estela turbulenta creada por un edificio o estructura cercana, aumentando las concentraciones a nivel del suelo.

Estabilidad atmosférica: Medida de la tendencia de la atmósfera a resistir o favorecer el movimiento vertical del aire; es crucial para determinar qué tan rápido se dispersan los contaminantes.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

IEMA: Inventario de Emisiones Atmosféricas.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia.

Isoconcentración (Isolínea): Línea en un mapa que une puntos con la misma concentración de un contaminante, utilizada para visualizar la pluma de dispersión.

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA</p> <p>EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

Longitud de Monin-Obukhov: Parámetro con dimensiones de longitud que caracteriza la estabilidad de la capa superficial atmosférica, relacionando la producción de turbulencia mecánica (fricción) con la producción de turbulencia térmica (flotabilidad).

Longitud de rugosidad superficial: Altura teórica en la que la velocidad del viento se hace cero debido a la fricción con los obstáculos de la superficie (árboles, edificios, terreno).

MAG: Estructura geoespacial para organizar y almacenar entradas, escenarios y resultados de la modelación.

MDCA: Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos.

MGEPEA: Metodología General para la Evaluación y Presentación de Estudios Ambientales.

MinAmbiente: Denominaciones del Ministerio de Ambiente de Colombia en distintas épocas.

MMIF: Programa de interfaz que traduce salidas de WRF a variables compatibles con modelos de dispersión.

Modelo conceptual: Representación simplificada de la realidad que define las fuentes de emisión, las características del terreno, la meteorología del sitio y los receptores sensibles para configurar la simulación matemática.

PFL / SFC: Archivos de perfiles verticales y de superficie para preprocesamiento meteorológico.

POA: Proyectos, Obras o Actividades.

Preprocesador BPIP-PRIME: Herramienta utilizada para calcular los parámetros de proyección de edificios necesarios para simular los efectos de downwash en AERMOD.

Ráster: Datos matriciales georreferenciados usados para representar variables espaciales.

Régimen estacionario: Suposición del modelo AERMOD en la que las condiciones de emisión y meteorología se consideran constantes durante un intervalo de tiempo específico (generalmente una hora) para el cálculo de la pluma.

SHP: Formato geoespacial ESRI Shapefile para capas vectoriales.

Simulación: Proceso computacional mediante el cual el modelo AERMOD estima la concentración de contaminantes en el aire basándose en leyes físicas, datos meteorológicos y características de las emisiones.

SISAIRE: Sistema nacional de información de calidad del aire administrado por el IDEAM.

SRTM: Misión satelital que provee modelos digitales de elevación global.

SVCA: Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire.

US-EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Validación del modelo: Evaluación de la capacidad del modelo para reproducir condiciones observadas, generalmente comparando los resultados modelados con datos de estaciones de monitoreo de calidad del aire reales.

WRF: Modelo meteorológico mesoscalar Weather Research and Forecasting.

5. Normativa

Tipo	Número	Fecha	Epígrafe	Artículos
Resolución	2254	01-11-2017	Por la cual se adoptan las normas de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.	Todo el documento

6. Documentos Asociados

Nombre
NA

7. Desarrollo

En este capítulo se presentan los criterios, condiciones y/o suposiciones que son consideradas buenas prácticas en el desarrollo de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos teniendo en cuenta un análisis normativo, recomendaciones de la United States Environmental Protection Agency (US-EPA), la experiencia en la evaluación integral de los estudios ambientales y el conocimiento proyectos en sus diferentes etapas de licenciamiento y el conocimiento de los profesionales especialistas del componente atmosférico de la ANLA.

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA</p> <p>EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

7.1. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA MODELACION

El objetivo y el alcance de la modelación deben definirse de manera específica y medible, garantizando que sean coherentes con el propósito del estudio. El modelo debe construirse para responder a los objetivos particulares del proyecto. En este sentido, cuando la modelación esté destinada a su presentación ante las Autoridades Ambientales, debe enfocarse en representar de forma integrada la dinámica atmosférica, las condiciones del terreno y las emisiones asociadas al desarrollo de proyectos, obras o actividades en la zona de estudio. Las predicciones generadas deben ser lo suficientemente sólidas y confiables para permitir la evaluación de impactos, la delimitación del área de influencia y la definición de medidas de manejo ambiental apropiadas. De esta manera, se facilita a la ANLA la toma de decisiones informadas frente a los posibles efectos sobre el recurso.

Los objetivos del modelo deben establecerse claramente antes de que comience el desarrollo de este, debido a que juegan un papel importante en el desarrollo de las diferentes fases de modelación relacionadas con la definición del dominio, construcción de la malla, entre otros; a fin de garantizar que el modelo resultante sea adecuado para su propósito.

Dentro de las diferentes etapas de licenciamiento ambiental o cambios menores solicitados de POA's, es importante considerar los siguientes alcances:

EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE PROYECTOS.

En los procesos de evaluación ambiental, que se puede dar para una licencia nueva, modificación de licencia, permisos de emisiones o para un cambio menor de algún otro instrumento, los objetivos a lograr con el desarrollo del modelo deben permitir como mínimo:

- Realizar una valoración objetiva y conservadora de los atributos relacionados con la Acumulación, Magnitud, Intensidad, sinergia y/o la extensión del impacto en calidad del aire, entendido como el aumento de la concentración de cualquiera de los contaminantes regulados por la Resolución MADS 2254 de 2017, o requerido por algún otro instrumento como los Términos de Referencia, en cada uno de los tiempos de exposición dados.
- Delimitar la Unidad mínima de análisis del impacto "Alteración de la concentración de contaminantes criterio y o sustancias tóxicas en el aire" según la Estandarización y jerarquización de impactos ambientales de proyectos licenciados por ANLA, identificando los lugares en donde el deterioro de este pueda ser significativo.
- Determinar la viabilidad o no de un permiso de emisiones atmosféricas, o la posible autorización de fuentes significativas de contaminación atmosférica.

En el caso del seguimiento a los POA's, a diferencia de la etapa de evaluación, lo más importante es estimar de forma conservadora (utilizando supuestos que tiendan a no subestimar los aportes de la actividad) y al mismo tiempo lo más realista posible los aportes propios de la actividad en los receptores sensibles y en los puntos de monitoreo. Por tanto, los objetivos a lograr con el desarrollo del modelo deben permitir, como mínimo:

Realizar una estimación objetiva y conservadora de los aportes y la extensión actual del impacto en calidad del aire durante el periodo de seguimiento establecido según acto administrativo de cada proyecto, entendido como el aumento de la concentración de cualquiera de los contaminantes regulados por la Resolución MADS 2254 de 2017 en sus respectivos tiempos de exposición.

Estimar y evaluar la efectividad de las medidas de manejo ambiental, mediante el uso de modelaciones de dispersión atmosférica que permitan comparar escenarios con y sin la implementación de dichas medidas. De esta forma, el modelo se convierte en una herramienta para simular reducciones en emisiones, proyectar su efecto en receptores sensibles y puntos de monitoreo, y verificar si las concentraciones estimadas cumplen con los estándares normativos de calidad del aire.

REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS.

En el caso de requerimientos específicos formulados por los profesionales de la ANLA, los objetivos del modelo deben estructurarse de manera que den respuesta directa a dichas solicitudes. Dado que las peticiones de modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos pueden obedecer a una amplia variedad de propósitos, es necesario analizarlas y atenderlas caso por caso. Como criterio mínimo, se establece que la representación del modelo sea conservadora, entendida como una aproximación precautoria que evite tanto la subestimación como la sobreestimación de los resultados.

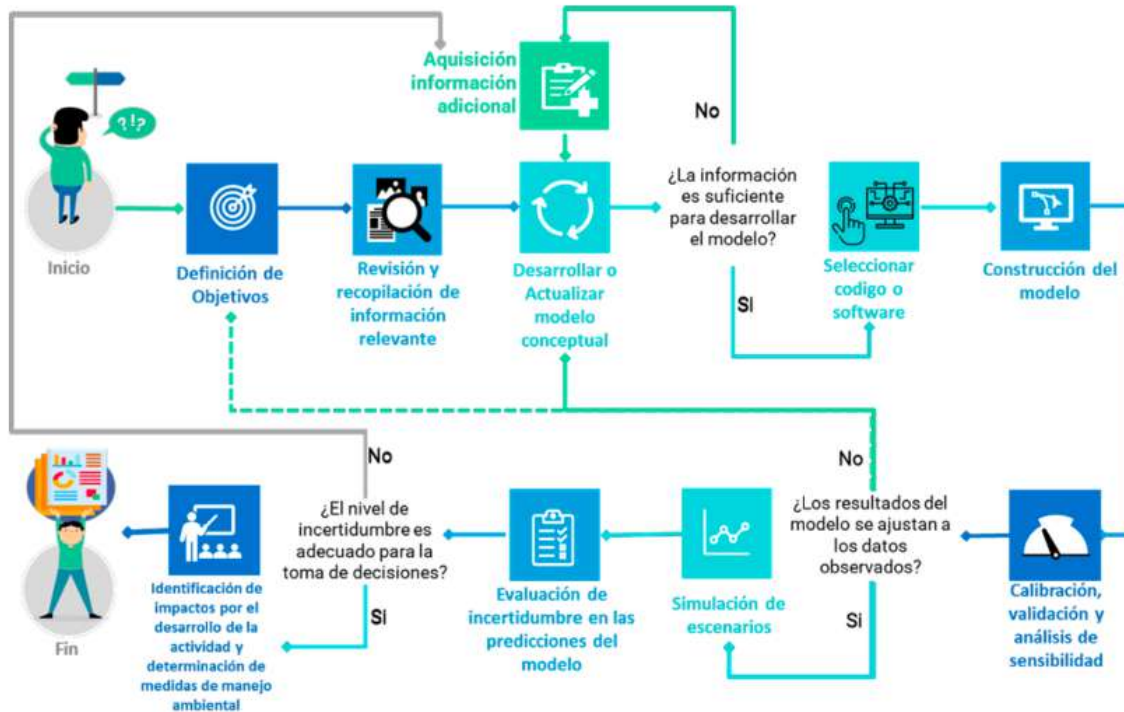
7.2. INVESTIGACION PRELIMINAR.

Para la realización del Modelo dispersión de contaminantes atmosféricos (MDCA) se debe realizar la recopilación de información primaria y/o secundaria para la caracterización de las condiciones de entorno al proyecto, condiciones de emisiones y aportes y el estado de la calidad del aire.

En la Figura 5.1, se presenta el diagrama de flujo que resume los pasos generales para el desarrollo de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos; desde la definición de objetivos y la recopilación de información, pasando por la actualización del modelo conceptual y la construcción del modelo, hasta la calibración, validación y evaluación de incertidumbre y escenarios.

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

Figura 7.1 Diagrama de flujo de modelado de dispersión de contaminantes atmosféricos.



Fuente ANLA, 2025.

7.3. MODELO ATMOSFERICO CONCEPTUAL

El modelo conceptual atmosférico es principalmente una representación cualitativa y simplificada del sistema de dispersión en tres dimensiones que incluye las condiciones de las fuentes de emisión, la meteorología y las características del terreno. Este modelo sintetiza información sobre las condiciones básicas del transporte, difusión y transformación de los contaminantes en la atmósfera y sus relaciones con la topografía, el uso del suelo y los receptores sensibles.

Se realiza con base en el análisis e interpretación de información meteorológica, topográfica, de usos del suelo y del inventario de emisiones, y permite tener una visión del comportamiento de las plumas de contaminación y su impacto en la calidad del aire de un área dada a la escala deseada. El modelo conceptual puede incluir alguna información o análisis cuantitativos (como rosas de vientos o perfiles de elevación), que ayudan a comprender el sistema, siendo una de las partes más importantes para la configuración del modelo de dispersión.

En estos términos, se considera una buena práctica incluir un diagrama esquemático de lo que se pretende representar con el modelo, en lo posible por cada escenario, dicho diagrama puede apoyarse en la distribución espacial de las fuentes según su ubicación geográfica, incluyendo los procesos, perfiles de emisiones y suposiciones más importantes, limitaciones de cálculo, representación de las fuentes, factores de emisión empleados y fuentes de información que fueron incluidas en la modelación.


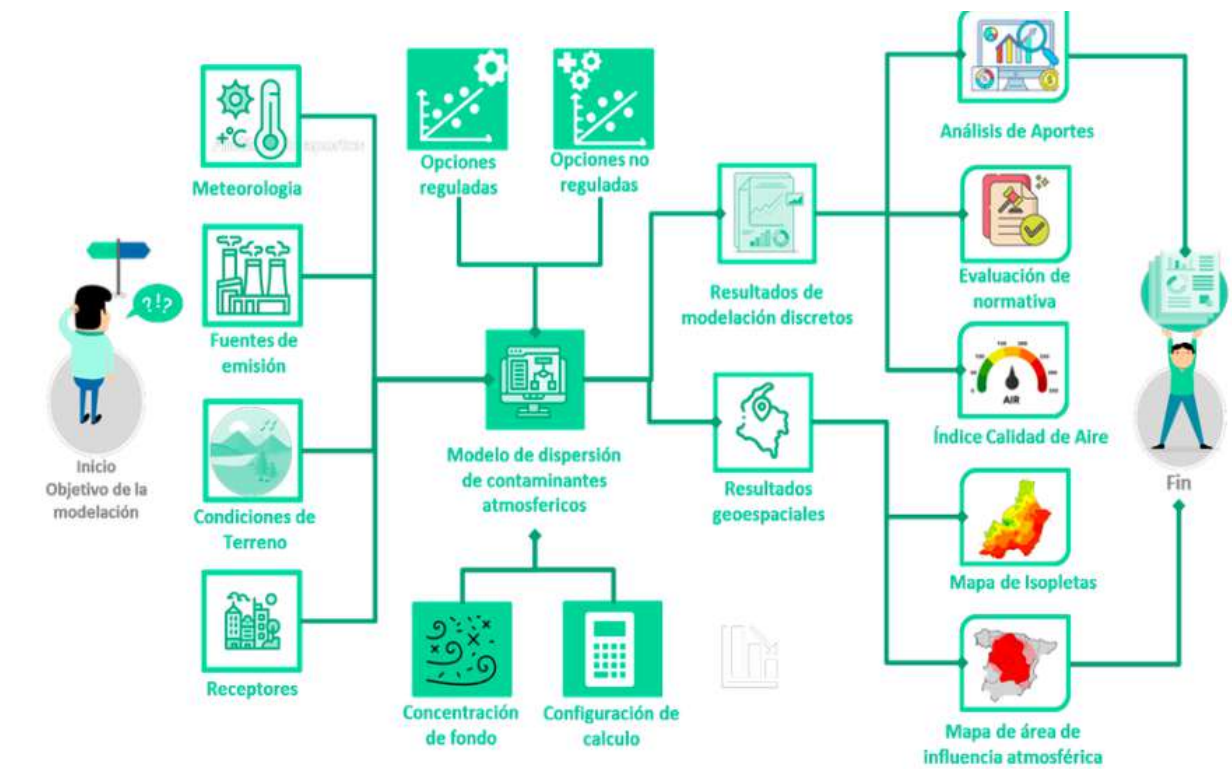
 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA	Fecha	12-05-2026
	EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Versión	1
		Código	IR-GU-14

Figura 7.2 Diagrama conceptual de modelado de dispersión de contaminantes atmosféricos.



Fuente ANLA, 2025.

En la figura 5.2 se presenta el diagrama conceptual donde se puede evidenciar, de forma generalizada, el proceso de modelado que se recomienda tener de referencia para esquematizar los datos de entrada (color verde), configuración del proceso de modelado (color azul), datos de salida y resultados (color naranja) y el análisis de sensibilidad (color amarillo).

7.3.1 Definición de los procesos y variables a simular


La elaboración del Modelo dispersión de contaminantes atmosféricos (MDCA) requiere abstraer la complejidad del sistema real a un esquema manejable, sin omitir los procesos físicos que gobiernan el transporte y difusión de los contaminantes. La premisa básica establece que cualquier fenómeno identificado como significativo en el área de influencia ya sea por topografía, meteorología o fuentes—debe tener su representación en los algoritmos de AERMOD.

Los componentes esenciales que integran el MDCA garantizan la representatividad de la simulación incluyen el dominio topográfico del área estudio (procesado mediante terreno digital), la caracterización física de la superficie (usos del suelo que definen la fricción y reflectividad), la dinámica de la atmósfera local (estabilidad y perfiles de viento), la representación del inventario de emisiones y condiciones de operación de los POA's y la correcta distribución espacial de los receptores para capturar los impactos máximos en la calidad del aire.

7.4. SELECCIÓN Y DESARROLLO DEL MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS.

De acuerdo con lo descrito en el “Capítulo 6.7.2 Modelo de dispersión” de la resolución 1402 de 2018 por la cual se adopta la “Metodología General Para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales” del Minambiente; se especifican los principales lineamientos para desarrollar modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos, que se detallan a continuación:

- Formulación del problema a resolver mediante la simulación: procedimiento que conlleva la selección de los procesos a representar y de las escalas y resoluciones a las que se hará la representación. En esta fase se identifican también las fuentes y receptores de interés y se elige el método más adecuado para su representación.
- Selección y validación de los datos de entrada: procedimiento estándar dentro del proceso experimental que resulta de suma importancia en razón a que la disponibilidad de los datos es con frecuencia uno de los criterios decisivos en la formulación o selección del modelo matemático. Se deben describir los criterios de selección y validación utilizados.
- Formalización del modelo matemático: etapa durante la cual se formulan las ecuaciones diferenciales que representan el proceso, se selecciona la aproximación matemática para la representación del problema (Gaussiana, Lagrangiana, Euleriana) y se define el modelo computacional que mejor represente el problema. En esta etapa se justifican los criterios tenidos en cuenta para la selección del modelo computacional, así como las configuraciones y parametrizaciones utilizadas.
- Se deben emplear la formalización del modelo matemático: etapa durante la cual se formulan las ecuaciones diferenciales que representan el proceso, se selecciona la aproximación matemática para la representación del problema (Gaussiana, Lagrangiana, Euleriana).

 <p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA</p> <p>EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

En complemento a lo anterior, en la legislación colombianas adoptan las metodologías, lineamientos y/o métodos de la United States Environmental Protection Agency (US-EPA); resaltando en términos de modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos lo siguiente:

En el Parágrafo 3 del artículo 6 de la resolución 2254 de 2017 del Minambiente, menciona que las modelaciones de contaminantes atmosféricos deben basarse los lineamientos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA).

“...

Las autoridades ambientales que usen modelos de dispersión de contaminantes deberán basarse en los modelos recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) mientras el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adopta la Guía Nacional de Modelización de Calidad del Aire

....”

En la definición o diseño de Sistemas De Vigilancia De La Calidad Del Aire - SVCA según el Manual de Diseño de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, acogido mediante Resolución 2154 de 2010 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), establece el uso de herramientas de modelación en un enfoque preliminar (4.4.5):

“...

AERMOD: Es un modelo de dispersión de pluma de estado estable que usa distribución Gaussiana en la vertical y la horizontal para condiciones estables y en la horizontal para condiciones convectivas. La distribución de la concentración vertical para condiciones convectivas resulta de asumir una función de densidad de probabilidad bi-Gaussiana de la velocidad vertical

...”

Respecto al trámite de permiso de emisiones atmosféricas en el parágrafo 2 del artículo 2.2.5.1.7.4. del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015 del Minambiente, indica:

“...

PARÁGRAFO 2. Requerirán, además, la presentación de estudios técnicos de dispersión, como información obligatoria, por la naturaleza o impacto de la obra o actividad proyectada, las solicitudes de permisos de emisión atmosférica para refinerías de petróleos, fábricas de cementos, plantas químicas y petroquímicas, siderúrgicas, quemas abiertas controladas en actividades agroindustriales y plantas termoeléctricas. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecerá los criterios y factores a partir de los cuales los incineradores, minas y canteras requerirán estudios técnicos de dispersión y regulará los demás casos en que la presentación de dichos estudios sea requerida

...”

Consideraciones adicionales para la aplicación de Buenas Prácticas de Ingeniería (BPI), determinación altura de chimenea del protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas acogido por la resolución 760 de 2010 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

“...

La aplicación de buenas prácticas de ingeniería para la determinación de la altura de la chimenea, considera adicionalmente el análisis del impacto que generan las fuentes de emisión de contaminantes individualmente en la calidad del aire de la zona en la cual se encuentran ubicadas. En este sentido, define que es considerada una buena práctica la altura del ducto o punto de descarga que demuestre mediante la aplicación de modelos de dispersión que permite la dispersión de los contaminantes y que además las emisiones


...”

En este sentido y teniendo en cuenta la recomendación de la US-EPA dentro de los lineamientos de la Guideline on Air Quality Models (Apéndice W)1, se contempla el uso del modelo AERMOD, buena práctica en el desarrollo de estudios de dispersión aplicados en el análisis de la calidad del aire.

Según el protocolo para el diseño y monitoreo de la calidad del aire acogido mediante Resolución 2154 de 2010 por el MAVDT2, se define que AERMOD es un modelo de dispersión de pluma de estado estable que usa distribución Gaussiana en la vertical y la horizontal para condiciones estables y en la horizontal para condiciones convectivas. La distribución de la concentración vertical para condiciones convectivas resulta de asumir una función de densidad de probabilidad bi-Gaussiana de la velocidad vertical que incorpora conceptos comunes acerca de la dispersión en terrenos complejos.

Es de tener en cuenta que la US-EPA cuenta con modelos alternativos, los cuales pueden usarse en aplicaciones regulatorias de los Estados Unidos con justificación caso por caso de la autoridad que, encargada de la revisión, uno de estos modelos alternativos es el sistema de modelación CALPUFF, el cual antes del 2017 era un modelo recomendado y luego de dicho año paso a ser un modelo alternativo.

Teniendo en cuenta los tipos de modelos, para los casos en que se presenta variación espaciotemporal de las condiciones meteorológicas, cuando la topografía es muy compleja o cuando el dominio de modelación supera las limitaciones de AERMOD (principalmente diseñado para escalas locales hasta distancias de 50 km), se considera una buena práctica evaluar modelos

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

alternativos más adecuados a dichas condiciones. Sin embargo, cuando el área de estudio corresponde a escenarios locales, con condiciones meteorológicas relativamente homogéneas y terrenos poco accidentados, AERMOD resulta una herramienta robusta, reconocida a nivel regulatorio y apropiada para estimar la dispersión de contaminantes primarios provenientes de fuentes puntuales, de área o de volumen.

En este sentido, se recomienda complementar o sustituir AERMOD con otros modelos según las características del proyecto: CALPUFF, cuando se requiere mayor flexibilidad en la representación de terrenos montañosos, dominios mayores o variaciones significativas en la meteorología; CMAQ o WRF-Chem, cuando el objetivo es modelar contaminantes secundarios y procesos fotoquímicos como la formación de ozono o material particulado secundario a escala regional; y modelos de dinámica de fluidos computacional (CFD), cuando se trata de entornos urbanos complejos con presencia de edificaciones que influyen de manera significativa en la dispersión. Estas prácticas permiten seleccionar la herramienta más adecuada en función de la escala espacial, temporal y la complejidad de los fenómenos atmosféricos que se desean representar, garantizando así resultados más representativos y útiles para la gestión de la calidad del aire.

Conforme a lo anterior, se recomienda seleccionar otros modelos alternativos, en función de las necesidades y del entorno del proyecto, siempre que estén avalados por la US-EPA u otra autoridad ambiental internacional reconocida y cuenten con procesos de validación.

Finalmente, independiente del modelo de dispersión de contaminantes que se seleccione, se considera una buena práctica ejecutar el modelo con las opciones por defecto o regulatorias³ para el organismo que lo desarrolló, mencionando las opciones seleccionadas. Para las opciones no regulatorias que se seleccionen deberán acompañarse de un análisis de sensibilidad para verificar su correcto uso y aplicación y su empleo se debe sustentar de manera técnicamente adecuada. (+)

7.4.1 Representatividad de procesos.

El(los) proceso(s) a representar vía modelación deben ser acordes con:

- La descripción del proyecto: es importante que las actividades que se pretenden contemplar en ejercicios de modelación sean representadas en relación de las fuentes de contaminación atmosférica que contemplen un riguroso inventario de emisiones y su ubicación espacial sean cercanas a la realidad en tamaño, tipo de emisión, altura de descarga de emisiones, entre otros.
- El estado de avance del proyecto en los procesos de seguimiento: Es importante que en el modelo que se presente según exigencias o necesidades de la etapa de seguimiento tenga en cuenta los valores reales y trazables de producción que lleven a la estimación de emisiones que ha realizado el proyecto durante el periodo de reporte e incluya en el modelo las fuentes que han estado activas.

Para otros tipos de modelos, como la evaluación de sistemas de control de emisiones, el diseño y rediseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire (SVCA), o la determinación de la altura óptima de chimeneas, entre otros, es fundamental que estén alineados con los criterios y objetivos específicos que correspondan de cada estudio.

Se considera una buena práctica representar las fuentes en los modelos considerando que:


- Las fuentes ingresadas en las capas del Modelo de Almacenamiento de Datos Geográficos (MAG) relacionadas con la infraestructura del proyecto, tanto la existente como la que es o será intervenida, sean llevadas al modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos en la misma forma geométrica (largo, ancho, altura de descarga) o con una cobertura geográfica espacial lo más cercana posible a la real.
- Representar las fuentes lineales tipo vías como fuentes sucesivas de área o volumen, sin embargo, deben ser lo suficientemente cortas para representar adecuadamente el trazado de las vías a usar por el proyecto; adicional a lo anterior se considera una buena práctica que las dimensiones de las fuentes que representan las vías sean calculadas según la guía de la EPA Haul Road Workgroup Final Report Submission to EPA-OAQPS de marzo de 20124, o la que la actualice).

De igual forma, se considera una buena práctica el uso de perfiles de emisión que corresponden a la discriminación de las jornadas de operación por fuente o grupo de fuentes de forma horaria o mensual que representen adecuadamente su comportamiento en el tiempo; esta información de los horarios de operación será trazable y verificable con registros oficiales de operación de la actividad modelada.

Lo señalado como buena práctica en el párrafo anterior no podrá utilizarse para modificar artificialmente las concentraciones, por ejemplo, solicitando operación continua de 24 horas o empleando perfiles de emisión que no correspondan a la realidad. La autorización, licencia o permiso de las fuentes se otorgará únicamente para las horas y tiempos efectivamente evaluados en el modelo.

En los casos de minería a cielo abierto, se considera una buena práctica incluir los tajos de explotación como fuentes tipo PIT5, dado que esta fuente solo puede incluirse de forma rectangular girada cierto ángulo, donde el área que cubre el rectángulo debe ser igual al área de la forma del PIT a representar, la profundidad deberá basarse en la capacidad real del PIT suponiéndolo rectangular y en caso de no conocerse, no contar con la información o tener una altura variable se establece que la altura de descarga podrá ser situada en la mitad de la altura total de la explotación. El rectángulo debe ubicarse coincidiendo los centroides y el ángulo de orientación de las áreas debe ser el mismo, se recomienda configurar la altura de la fuente para que esta quede bajo el terreno y no sobre este.

Finalmente, para evaluar el impacto individualizado por tipo o grupo de fuentes semejantes (como vías, áreas de explotación, fuentes fijas puntuales o fuentes fijas dispersas), se considera una buena práctica configurar en los modelos agrupaciones específicas que permitan identificar y discriminar los aportes de cada conjunto. Esto facilita determinar cuáles procesos u operaciones generan mayor impacto y, por ende, son más susceptibles de originar emisiones atmosféricas significativas.

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

7.4.2. Dominio de modelación.

Definir un dominio o área de modelación que cubra la totalidad de las fuentes, receptores sensibles, centros poblados y representatividad espacial de la información meteorológica para el cumplimiento de los objetivos del modelo y que a su vez permita obtener curvas de concentraciones (isopletras) que presenten excedencias normativas. En caso de presentarse algún sobre paso de la norma, la isopletra debe presentarse sin interrumpir su alcance.

7.4.3. Inventario de emisiones atmosféricas.

El inventario de emisiones atmosféricas (IEMA) es la principal fuente de información del modelo de dispersión, por lo tanto, la consolidación del IEMA debe realizarse con la mayor precisión posible relacionando las condiciones operacionales de las fuentes y la selección de la metodología de medición o estimación, asimismo, se puede inferir que el nivel de error de los resultados del modelo es proporcional a la construcción inadecuada del IEMA.

Basado en esto, se considera buena práctica estimar las emisiones basadas en datos de las siguientes fuentes de información:

- Medición directa: Datos de mediciones directas por pitometrías o estudios isocinéticos de la propia fuente, mediciones directas de fuentes fijas puntuales que tengan características similares de operación, producción, combustible y sistemas de control de emisiones.
- Balances de masa siempre y cuando se sigan los principios descritos en la GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS Publicada por el MADS "https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf".
- Estimación por factores de emisión: Se debe contemplar datos operacionales que describan el proceso de emisión que se asocian a los siguientes factores de emisión:

o Factores de emisión del AP42 de la US-EPA "https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors".

o Factores de emisión del NPI del gobierno de Australia "https://www.dcceew.gov.au/environment/protection/npi/reporting/industry-reporting-materials/emission-estimation-technique-manuals"

o Factores de emisión del EMEP de la Unión Europea en su versión más actualizada disponible "http://efdb.apps.eea.europa.eu/source=%7B%22query%22%3A%7B%22match_all%22%3A%7B%7D%7D%2C%22display_type%22%3A%22tabular%22%7D"

Es una buena práctica que al elegir la fuente de información para la estimación de emisiones esta se use fielmente a las disposiciones de la metodología elegida, como por ejemplo, para el caso de la estimación de las emisiones de las vías sin pavimentar se debe contemplar las ecuaciones que representen el tipo de flujo vehicular como los coeficientes dentro de los rangos en los que fueron tipificadas por actividad para los cuales su incertidumbre es conocida; adicionalmente, la estimación debe reflejar una condición conservadora la estimación buscando disminuir o considerar la menor incertidumbre posible "Uso la información de un tipo de fuente para representar otra similar en emisiones".

El IEMA/IEMA (Expediente de Información de Modelación Atmosférica) es un archivo que puede estar en forma de base de datos y contiene todos los cálculos, documento editable, y trazable, sin embargo, se considera una buena práctica que este sea presentado, analizado y explicado en el documento de reporte de la modelación con ayuda de figuras y tablas resumen que faciliten su interpretación y su inclusión en el modelo.

Se considera una buena práctica la realización del inventario de emisiones atmosféricas con base en la GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS Publicada por el MADS "https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf" en lo posible empleando la metodología bottom up, partiendo de los procesos susceptibles de generar emisiones atmosféricas y avanzando hacia la identificación de las fuentes y actividades específicas a modelar.


Se considera una buena práctica seguir el Anexo 1 del presente documento para la construcción del inventario de emisiones atmosféricas, el cual tiene una estructura de "base de datos" básica, que incluye varias hojas que deben ser enlazadas entre sí y que incluyen la actividad a licenciar o licenciada, fuente de emisión, proceso susceptible de generar la emisión, factor de emisión, fuente del factor de emisión, nivel de actividad y tasas de emisión en diferentes unidades.

El inventario de emisiones debe ser lo más completo posible, sin embargo, es probable que para ciertos procesos no se encuentre información para la estimación de las emisiones, en dichos casos se considera una buena práctica realizar supuestos u homologaciones que deben estar adecuadamente justificadas, en caso de no optar por esta práctica se deberá especificar de igual forma por qué no es recomendable y justificar su no inclusión en el inventario.

Finalmente, esta información debe ser alimentada o contemplada en el Modelo de Almacenamiento de Datos Geográficos (MAG) en sus diferentes capas donde se especifica características de las fuentes y su cálculo de emisión.

7.4.4 Meteorología.

La meteorología empleada en el proceso de modelación de calidad del aire debe ser representativa espacial y temporalmente del lugar donde se encuentran las fuentes y en el dominio de modelación, las variables de mayor interés en su representatividad son:

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

- Velocidad y dirección del viento.
- Temperatura.
- Presión barométrica.
- Precipitación.
- Nubosidad.
- Radiación solar.

Se considera una buena práctica incluir, como mínimo, en el modelo la meteorología del año inmediatamente anterior, cubriendo un periodo completo del 1 de enero al 31 de diciembre, de manera que sea posible estimar concentraciones anuales o para tiempos de exposición inferiores. No obstante, se recomienda contemplar períodos adicionales que permitan capturar mejor la variabilidad climática y evaluar condiciones críticas de dispersión, tales como las asociadas a fenómenos extremos como El Niño o La Niña. De esta forma, se fortalecen las estimaciones del modelo al incluir escenarios representativos tanto de condiciones promedio como de situaciones que pueden incrementar significativamente las concentraciones de contaminantes en receptores sensibles.

Para caso en los cuales los objetivos del modelo de dispersión atmosférica requieran comparaciones multianuales de resultados se considera una buena práctica incluir la meteorología específica para cada año a evaluar.

Para los proyectos que tienen la obligación de instalar estaciones y realizar el monitoreo de variables meteorológicas, y que además cuentan con el aval o autorización del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se consideran como buenas prácticas lo siguiente:

- Utilizar como información de superficie los datos captados por la estación, incluyendo un reporte de calidad de los registros obtenidos, respaldado en las calibraciones y verificaciones periódicas realizadas a los sensores empleados.
- Usar información de altura que provenga de modelación WRF siempre y cuando se encuentre dentro del dominio y que corresponda a la temporalidad de la información de superficie.
- Utilizar datos propios de uso del suelo de la zona con una antigüedad no mayor a tres años, transformados desde el Sistema Nacional Corine Land Cover a las categorías requeridas por el preprocesador AERMET (o el que corresponda según el sistema de modelación seleccionado). Esta conversión es fundamental para garantizar que AERMET pueda caracterizar adecuadamente la rugosidad, el albedo y el índice de cobertura vegetal de la superficie, parámetros esenciales para la estimación de la estructura de la capa límite atmosférica y el posterior cálculo de la dispersión.
- Usar datos públicos de uso del suelo o coberturas de no más de 5 años de antigüedad, debido que en el caso de Colombia el territorio es muy variable en espacial cuando se presentan alteraciones por variabilidad climática.
- Usar las configuraciones recomendadas por el ente desarrollador del modelo para el preprocesador meteorológico según el sistema de modelación seleccionado.

Para los proyectos o fuentes que se ubican cerca de estaciones meteorológicas automáticas del IDEAM se consideran buenas prácticas las mismas que se listaron para los proyectos que cuentan con la obligación de instalar estaciones y monitorear variables meteorológicas, teniendo en cuenta las siguientes especificaciones sobre las estaciones del IDEAM, asimismo, en concordancia con lo establecido en el Appendix W - Guideline on Air Quality Models de la US-EPA, y conforme a buenas prácticas adoptadas en guías técnicas de modelación de calidad del aire, las estaciones meteorológicas deben ubicarse a distancias que aseguren representatividad de las condiciones locales: hasta 12 km en terreno plano rural, 4 km en terreno montañoso rural y 1 km en terreno plano urbano.

En Los proyectos que no cuentan con la obligación de medir variables meteorológicas y no cuentan con estaciones del IDEAM cercanas se considera una buena práctica usar información producto de modelación WRF que cumpla con las recomendaciones de post-procesamiento del ente desarrollador del modelo, como por ejemplo el documento "Guidance on the Use of the Mesoscale Model Interface Program (MMIF) for AERMOD Applications" de la EPA y que esta tenga como resolución máxima 4-6 kilómetros en terrenos montañosos y para terrenos planos como máximo una resolución de 9-12 kilómetros de resolución.


Nota: es importante aclarar que la escala espacial de la meteorología indica que a una mayor distancia genera una menor resolución de análisis. Adicionalmente, se considera una buena práctica que la coordenada de ejecución del modelo WRF se encuentre lo más cerca posible a la zona de desarrollo del proyecto a modelar, o como mínimo, debe localizarse encontrar en el dominio de modelación.

Para asegurar la representatividad de la información generada por el modelo WRF, se considera una buena práctica realizar una comparación cualitativa o cuantitativa en los siguientes casos:

- Cuando se disponga de registros meteorológicos de estaciones propias del proyecto y, adicionalmente, frente a la información proveniente de estaciones del IDEAM ubicadas en la zona de influencia. Esta comparación permite evaluar la coherencia entre los campos meteorológicos simulados y los datos observados, identificar posibles desviaciones en variables clave (como temperatura, dirección y velocidad del viento, precipitación y radiación solar) y garantizar que los insumos del modelo reflejen de manera adecuada las condiciones locales. De este modo, se fortalece la confianza en los resultados de dispersión y se aporta trazabilidad en el proceso de validación de la modelación.
- Cuantitativa: Cuando se presenten estaciones meteorológicas del IDEAM (con datos para las variables en común con el modelo WRF) en el área de influencia y dentro del dominio de modelación WRF.

Comparación cuantitativa se refiere al uso de estadísticos de desempeño de modelación que contemplen rangos de aceptación como Sesgo, Raíz del error cuadrático medio (RSME), Error Absoluto Medio (MAE), desviación estándar (SD), Desviación del error promedio, coeficientes de correlación (Pearson y Spearman).

Cualitativa: Cuando no se presenten estaciones meteorológicas del IDEAM (con datos para las variables en común con el modelo WRF) en el área de influencia y dentro del dominio de modelación WRF.

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

La comparación cualitativa consiste en verificar que los perfiles horarios, diarios o mensuales —según la información disponible— presenten comportamientos similares. Esto implica que los valores medios, mínimos y máximos, así como las tendencias en los perfiles de las variables de mayor interés, sean consistentes entre las series comparadas.

7.4.5. Topografía

Se considera una buena práctica que, en los proyectos de minería a cielo abierto, se utilice en la fase de seguimiento la topografía real obtenida de la zona de explotación, conforme al alcance minero en curso. En cambio, para la fase de evaluación, resulta recomendable emplear la topografía proyectada en los diseños mineros, a fin de representar adecuadamente las condiciones futuras del área de intervención.

Esta información debe estar en armonía con las escalas de trabajo, captura y área mínima cartografiada solicitada en los términos de referencia o en la MGEPEA resaltando lo siguiente:

Uso de información pública satelital de los proyectos SRTM, AlosPalsar y Copernicus global en la mayor resolución posible y la versión más actualizada disponible.

- Completar la información obtenida de levantamiento topográfico de los POA's con información local de fuentes de consulta pública.
- Realizar una comparación de los datos topográficos con la información de curvas de nivel del IGAC en la menor escala disponible, sujeto a disponibilidad de información representativa.

7.4.6. Concentración de fondo

Al respecto de la concentración de fondo se considera una buena práctica lo siguiente:

- Emplear la concentración anual medida en campo por una estación que cumpla los requisitos para este tiempo de exposición según lo establecido 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 y cumpla las características de estación de fondo.
- En complemento a lo anterior, se recomienda consultar el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire reportado en el Sistema Nacional de Calidad del Aire (SISAIRE) del IDEAM, priorizando las estaciones más cercanas al proyecto. Esta información permite complementar las series de tiempo obtenidas en las campañas de monitoreo asociadas a los POA's, proporcionando un insumo histórico adicional que enriquece el análisis de tendencias y facilita la interpretación de los resultados de modelación y seguimiento.

o Para representar el impacto en los tiempos de exposición se contempla para tiempos de exposición anuales, la inclusión de un único valor representativo del año equivalente a la mediana de la serie anual que cumpla con la representatividad temporal dada por el protocolo de calidad del aire, de una estación ubicada para tal fin, dentro del área de influencia física o dentro del dominio o área de modelación.

o Para tiempos de exposición 24 horas y horarios, se debe realizar el análisis de las variaciones temporales de forma mensual empleando la medida de la serie de datos de calidad del aire.

- Cuando se disponga únicamente de datos de campañas de monitoreo con equipos manuales y automáticos, para representar el impacto en cualquier tiempo de exposición, se recomienda la inclusión de un único valor representativo equivalente a la mediana de la serie del o de los periodos de monitoreo.

Se considera una buena práctica la inclusión de los perfiles de variación mensual o diario, basados en datos de modelos globales siempre y cuando se conserven las medianas monitoreadas.

En caso de no contar con la información requerida para establecer una concentración de fondo según lo establecido en la normatividad aplicable como los manuales de Diseño y Operación de SVCA se podrán emplear valores de fondo que se consideren conservadores, que no subestimen o sobreestimen las condiciones de la calidad del aire de la zona a modelar. Se hace necesario justificar técnicamente la concentración de fondo empleada mediante análisis estadísticos, espaciales, de direcciones del viento entre otras.

7.4.7. Sistemas de control de emisiones.

Se considera una buena práctica emplear eficiencias en los sistemas de control de emisiones que se encuentren técnicamente justificados mediante fichas técnicas del sistema de control, estudios de referencia, académicos o científicos, mediciones de campo o hagan parte de factores de emisión de fuentes reconocidas. De igual forma, se considera una buena práctica aportar de manera detallada la información empleada en la estimación de la disminución de las emisiones junto con la fuente bibliográfica o fichas técnicas que indiquen el porcentaje de eficiencia empleado.

7.4.8. Malla de cálculo y receptores.

Establecer la malla de receptores representativa para los objetivos del modelo es importante por dos razones, primero para la distribución espacial, una malla muy gruesa puede causar que un modelo no represente adecuadamente los máximos de concentración cerca de las fuentes o en el punto de impacto, segundo una malla muy fina puede aumentar demasiado los tiempos de cálculo de cada modelo y cuando se corren diferentes escenarios puede hacer el proceso de modelación costoso computacionalmente. Por lo anterior se considera una buena práctica incluir mallas de diferente densidad según la distancia a las fuentes, adicionalmente, se considera una buena práctica el uso de la siguiente configuración de la malla de receptores.


	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

Tabla 7.1 Densidad de malla según distancia a fuentes

Tipo	Distancia a fuente	Distancia entre puntos
Fina	0 - 500 metros	Min 50 m Max 100 m
Media	500 – 1500 metros	Min 150 m Max 250 m
Gruesa	Mas de 1500 metros	Máximo 500 m

Fuente ANLA, 2025.

Sin embargo, existen proyectos como trazados viales, líneas de energía que dificultan el uso de mallas anidadas o en bloques por no tener un dominio centrado definido, para estos casos, se recomienda contemplar el uso de mallas regulares o mallas cuadráticas que depende de la resolución o haciendo una prueba de disminución o aumento en concentraciones por usar mallas regulares más finas.

Es recomendable ubicar la malla de receptores a 0 metros sobre el nivel del terreno o a una altura que se considere representativa de los receptores. Además, se sugiere que la altura máxima de la malla de receptores sea de 2 metros sobre el nivel del terreno. En caso de emplear alturas superiores a 2 metros, será necesario justificar su uso y evaluar las implicaciones en las concentraciones finales mediante un análisis de sensibilidad.

En las fuentes fijas puntuales con alturas de emisión por significativas que superen áreas industriales, como por ejemplo las chimeneas de centrales termoeléctricas o chimeneas con altas cargas de emisión (operando con combustibles sólidos o líquidos), donde el punto de impacto se puede dar varios cientos de metros de la fuente, donde el penacho impacta el suelo según el modelo, se considera una buena práctica incluir una malla fina (con una altura a nivel de piso metros o la altura que sea objeto de estudio previamente justificada) en dicha ubicación de impacto a fin de mejorar la representatividad espacial.

Es de aclarar que el tipo de malla de receptores debe permitir el cumplimiento de los objetivos del modelo de dispersión y tener en cuenta el tipo de terreno, el tipo de fuentes a modelar, en muchos casos una malla de receptores podrá ser compuesta por varias mallas a diferentes distancias de los receptores y de las fuentes o enfocadas en zonas pobladas, el uso de este tipo de mallas deberá ser justificado técnicamente.

Se considera buena práctica no disponer receptores directamente sobre las fuentes de área, fuentes fijas puntuales o fuentes lineales.

Al respecto de los receptores sensibles es una buena práctica incluir como receptores discretos, que pueden ser obtenidos en las capas del MAG (Equipamiento", "SitiInteresCultural" y/o el tejido urbano de "CoberturaTierra"), especificando la altura de referencia y en el caso de los puntos de medición de calidad del aire la altura de toma de muestra especificada en el informe de monitoreo:

- Los centros educativos.
- Los centros de atención en salud.
- Los parques principales o alcaldías que son indicativos de concentración de población.
- Las iglesias y/o lugares de culto.
- Los salones de las juntas de acción comunal.
- Sitios de recreación y deporte.
- El centroide de los polígonos de la capa de coberturas correspondientes a Tejido Urbano Continuo y Tejido Urbano Discontinuo.
- Los puntos de monitoreo de calidad del aire.
- Otros que se puedan considerar relevantes según la ubicación del proyecto como viviendas o grupos de viviendas entre otros.

Es recomendable utilizar las alturas reales o lo más cercanas posible a estas, para los receptores sensibles, ya que el uso de alturas alejadas de la realidad puede generar concentraciones poco representativas. En caso de no disponer de este dato, se sugiere emplear una altura entre 0 y 2 metros como máximo "Environmental Protection Agency, Office of Environmental Enforcement (OEE) Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4), 2019. Pág. 32".

7.5. CALIBRACIÓN, VALIDACIÓN Y/O ANALISIS DE SENSIBILIDAD


En relación con la calibración y/o validación de los modelos de dispersión atmosférica a la que hace referencia el Título III, numeral 6.7.2 de la MGEPEA, es importante destacar su articulación con los lineamientos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) . De acuerdo con lo estipulado en el Apéndice W de la Guideline on Air Quality Models, el ejercicio de calibración de modelos regulatorios presenta beneficios limitados y cuestionables, razón por la cual no debe realizarse en el marco de las aplicaciones oficiales. En su lugar, se promueve el uso de metodologías estandarizadas, la adecuada caracterización de datos de entrada y la validación mediante comparaciones consistentes con información observacional, con el fin de garantizar transparencia, trazabilidad y confiabilidad en los resultados de la modelación.

Por lo tanto y teniendo en cuenta lo anterior, no se hará la solicitud de la calibración, sin embargo, se deberá validar la información meteorológica y la información de elevación de terreno (modelo digital de terreno), comparando con los datos primarios y de calidad de aire si existe una serie representativa.

7.5.1 Análisis de sensibilidad

Se considera una buena práctica incluir un análisis de sensibilidad del modelo como mínimo cuando:

Cuando en el inventario de emisiones se identifica una variable que se asume de forma no conservadora con el potencial de subestimar

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

el impacto o la magnitud real de las emisiones, o que no corresponde a un proceso similar debe ser llevado a análisis de sensibilidad.

Para el caso en el que se estimen las emisiones a partir de factores de emisión que empleen ecuaciones empíricas y que a su vez asuman parámetros o bibliografía, a falta de información primaria. Se debe garantizar que los valores asumidos para las variables de cálculo representen la realidad de la fuente de emisión como las condiciones ambientales, de terreno, operativas, y aquellas adicionales que apliquen; para este caso, se considera una buena práctica establecer el siguiente análisis de sensibilidad:

o Elaborar un listado de las variables de cálculo que son asumidas y que cuenta con la estimación por ecuaciones empíricas de la metodología de la EPA-AP 42 o bibliografía de referencia. Por ejemplo, estimación de emisiones por resuspensión en vías pavimentadas (AP42 13.2.1) y vías sin pavimentar (AP42 13.2.2).

o Del listado anterior, identificar los parámetros que componen la ecuación que, matemáticamente, generen variación significativa al cálculo de las tasas de emisión

o Para cada uno de los parámetros identificados en el paso anterior, deberá realizarse el análisis correspondiente, manteniendo constantes todos los demás parámetros cuyo valor no se encuentre soportado en información primaria.

o Realizar el cálculo de emisiones con el parámetro que estableció el usuario y con el máximo valor referenciado en la metodología de la EPA seleccionada.

Conforme a lo anterior, se presenta el siguiente ejemplo: para las emisiones por resuspensión vehicular en una vía industrial sin pavimentar para una planta de procesamiento de arenas y gravas se emplean los lineamientos de la EPA AP42 - Unpaved " <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf> Roads que establece la siguiente ecuación empírica.

$$E = k * (s/12)^a * (W/3)^b \quad 1a$$

Donde:

- E =Factor de emisión de material particulado (lb/VMT)
- s =Porcentaje de limos (finos) en la superficie (%)
- W =peso promedio de vehículos (toneladas)

Dada la ecuación y el interés de estimar las emisiones de PM2.5 se obtiene las siguientes variables:

Información obtenida de fuentes primarias:

- W = Peso promedio de vehículos que corresponden a 20 toneladas.
- Información de parámetros constantes obtenida de la guía de referencia "Ver EPA-AP42 13.2.2-2".
- K= 0.15 (ver Figura 7.3).
- a= 0.9 (ver Figura 7.3).
- b= 0.45 (ver Figura 7.3).

Figura 7.3 identificación de coeficientes o parámetros fijos.

Table 13.2.2-2. CONSTANTS FOR EQUATIONS 1a AND 1b

Constant	Industrial Roads (Equation 1a)			Public Roads (Equation 1b)		
	PM-2.5	PM-10	PM-30*	PM-2.5	PM-10	PM-30*
k (lb/VMT)	0.15	1.5	4.9	0.18	1.8	6.0
a	0.9	0.9	0.7	1	1	1
b	0.45	0.45	0.45	-	-	-
c	-	-	-	0.2	0.2	0.3
d	-	-	-	0.5	0.5	0.3
Quality Rating	B	B	B	B	B	B

Fuente: EPA AP42 13.2.2-2, 2004

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

Como se indicó en el paso (b), el parámetro “porcentaje de limos (finos) en la superficie” corresponde al término de la ecuación que introduce variabilidad en el cálculo de emisiones, dado que no se dispone de un valor constante sino de rangos típicos establecidos en los lineamientos para el desarrollo del factor de emisión.

Figura 7.4 identificación de parámetro(s) variables.

Table 13.2.2-1. TYPICAL SILT CONTENT VALUES OF SURFACE MATERIAL ON INDUSTRIAL UNPAVED ROADS*

Industry	Road Use Or Surface Material	Plant Sites	No. Of Samples	Silt Content (%)	
				Range	Mean
Copper smelting	Plant road	1	3	16 - 19	17
Iron and steel production	Plant road	19	135	0.2 - 19	6.0
Sand and gravel processing	Plant road	1	3	4.1 - 6.0	4.8
	Material storage area	1	1	-	7.1
Stone quarrying and processing	Plant road	2	10	2.4 - 16	10
Haul road to/from pit	Haul road to/from pit	4	20	5.0-15	8.3
		1	8	2.4 - 7.1	4.3
Taconite mining and processing	Service road	1	8	2.4 - 7.1	4.3
		1	12	3.9 - 9.7	5.8
Western surface coal mining	Haul road to/from pit	3	21	2.8 - 18	8.4
		2	2	4.9 - 5.3	5.1
		3	10	7.2 - 25	17
Construction sites	Scrapper route	2	5	18 - 29	24
		7	20	0.56-23	8.5
Lumber sawmills	Log yards	2	2	4.8-12	8.4
Municipal solid waste landfills	Disposal routes	4	20	2.2 - 21	6.4

Se puede emplear un valor para el parámetro que, generalmente, se encuentra dentro de rango y que debe ser justificado; Para este caso se toma el valor medio que corresponde a un % 10.

De forma análoga, se debe realizar el cálculo del factor de emisión con el máximo valor de parámetro que corresponde a un % de 16.

Fuente: ANLA, 2025 con información tomada de AP42 13.2.2-2, 2004.

Finalmente, se realizan los respectivos cálculos de emisión y se modela cada situación (valor asumido por el usuario y el valor máximo de la referencia seleccionada) en conjunto con todas las fuentes contempladas en el estudio para identificar la diferencia de las concentraciones máximas obtenidas en un receptor de referencia y estimar la sensibilidad del modelo a estas variaciones.

Cuando se usan configuraciones no incluidas por defecto o que no sean regulatorias para el ente desarrollador según el modelo seleccionado, esto debe ser llevado a análisis de sensibilidad, por ejemplo:

Para las modelaciones que contemplen la deposición seca y húmeda de las partículas en sus diferentes procesos se considera una buena práctica aportar el soporte técnico la determinación de las fracciones y densidad de las partículas seleccionadas para cada fuente.

Se considera una buena práctica que el análisis de sensibilidad incluya, de manera explícita, el contaminante que resulte más crítico en cada uno de los tiempos de exposición establecidos por la normatividad. Asimismo, se debe verificar cómo responde el modelo frente a cambios en la distribución espacial de las emisiones y en las concentraciones predichas en receptores sensibles, tanto cercanos como lejanos a las fuentes. Como soporte, el informe debe entregar una descripción clara de los escenarios evaluados, las variables modificadas, la justificación técnica de los rangos o valores empleados y la comparación de los resultados obtenidos frente al escenario base. De igual forma, deben incluirse tablas, gráficas e indicadores que permitan evidenciar las diferencias en las concentraciones modeladas y la relevancia de cada parámetro analizado. Este soporte es esencial para garantizar la trazabilidad del proceso y la transparencia de los supuestos adoptados.

7.6 ESCENARIOS DE MODELACION.


El modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos puede contener tantos escenarios como el usuario considere para cumplir los objetivos propendiendo siempre por ser lo más detallado posible; esto puede diferir si el proyecto se encuentra en etapa de evaluación o en seguimiento. Por lo tanto, se discrimina las buenas prácticas de modelación conforme a las diferentes etapas de licenciamiento de un proyecto:

7.6.1 Evaluación.

Según la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (2018) MGEPEA se debe modelar el escenario de línea base (sin proyecto) y el escenario con proyecto sin medidas de manejo ambiental y con medidas de manejo ambiental, en este sentido debe entenderse que el proyecto involucra diferentes fases como lo establece la definición de alcance del POA's presentada en la MGEPEA:

“Alcance del proyecto, obra o actividad "Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), (2018). Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, pág. 18": incluye la planeación, emplazamiento, instalación, construcción, montaje, operación, mantenimiento, desmantelamiento, finalización y/o terminación de todas las acciones, actividades e infraestructura relacionada y asociada con las etapas de desarrollo”.

Respecto al escenario de línea base se considera una buena práctica incluirlo si se cuenta con la información del inventario de emisiones formal de todo tipo de fuentes de la zona por parte de la autoridad ambiental y si esta lo suministra de forma que pueda ser llevado a modelación de calidad del aire de forma adecuada; también se considera una buena práctica tomar el resultado de la modelación de calidad del aire de las autoridades para su jurisdicción siempre y cuando este incluya la mayoría de fuentes y procesos

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

que se presentan en la zona, y contenga resultados en los tiempos de exposición dados por la Resolución 2254 de 2017 para cada contaminante modelado.

Lo anterior debe ser demostrado por la sociedad con comunicaciones a las autoridades ambientales competentes o consultando en los portales de información web de estas como lo define la MGEPEA del 2018.

Si no se cuenta con la información mencionada previamente, es recomendable utilizar como referencia los valores de concentración presentados en la caracterización de la línea base, considerando su cobertura espacial. Sin embargo, esta práctica no es aplicable a los procesos de modificación de licencia en los que el usuario ya ha realizado actividades o cuenta con actividades previamente aprobadas. En estos casos, el objetivo es evidenciar los cambios en los impactos actuales o en los ya autorizados.

Respecto al escenario con proyecto se considera una buena práctica presentarlo por cada una de las fases del proyecto en donde se evidencie la posible afectación a la calidad del aire, dado que esto permitiría evidenciar qué procesos, en dónde y en qué magnitud se presentará el impacto en cada una de las fases.

También si el usuario lo desea puede presentar un solo escenario con proyecto si este representa un estado crítico atendiendo a los descritos en la MGEPEA "Ibíd, pág. 191":

“Cuando exista un alto nivel de incertidumbre acerca de la magnitud y/o alcance de algún impacto del proyecto sobre el ambiente, se deben realizar y describir predicciones para el escenario más crítico posible, el cual incorpora los impactos más importantes que hayan ocurrido históricamente por el desarrollo de la actividad objeto de estudio; consecuentemente, este tipo de impactos deben ser valorados con el mayor valor posible de significancia.”

Por tanto, dicho escenario crítico debe estar adecuadamente sustentado, descrito y su inclusión será considerada como una buena práctica abordando caso a caso por parte del profesional que realiza la revisión del modelo. Los siguientes son algunos ejemplos de casos críticos, que pueden ser simulados de forma individual:

- Suponer que todas las fuentes en las diferentes etapas del proyecto funcionan al tiempo y durante todas las etapas o fases del proyecto considerando sus cronogramas de ejecución.
- Para proyectos con duración inferior a un año, incluir todas las fuentes susceptibles de generar emisiones atmosféricas, pero suponer emisiones variables al largo del año que evalúen su impacto según el cronograma.
- Suponer que para una etapa o fase del proyecto, por ejemplo, donde se presentan la mayor cantidad de interacciones en la matriz de impactos y actividades, corresponde al caso crítico.
- Identificar el detalle de cada etapa del proyecto para determinar el criterio de modelación donde se presenta la mayor cantidad de movimiento, uso, aprovechamiento o explotación de materiales según el cronograma del proyecto es donde se presentará el caso crítico.
- Suponer que el momento en donde se presentará la mayor cercanía con receptores sensibles es un caso crítico.
- Suponer la capacidad máxima de operación de cada etapa del proyecto como nivel de actividad para la estimación de las emisiones es un caso crítico.
- Incluir dentro de los insumos anteriores la simulación bajo condiciones climáticas que reduzcan la dispersión o incrementen las concentraciones de fondo, como por ejemplo durante los periodos en que se haya registrado el fenómeno de El Niño.

Es de tener en cuenta que según lo descrito por la MGEPEA “Cabe aclarar que la valoración de impactos para el escenario con proyecto mide el grado con el cual una actividad genera un cambio en un parámetro ambiental sin que medie ningún tipo de manejo, es decir, estima la significancia inherente al impacto.” Por lo cual siempre se debe presentar el (los) escenario(s) con proyecto sin y con medidas de manejo o control, las medidas de manejo deben estar acordes con lo presentado en la ficha de manejo a ser aprobada y los porcentajes de eficiencia empleados deben estar debidamente soportados mediante ficha técnica del sistema de control, soportes bibliográficos o experimentales realizados a la(s) fuente(s) objeto de estudio.

Recomendaciones especiales para el sector de hidrocarburos.

Para el sector de hidrocarburos donde la ubicación final de la infraestructura dependerá de la zonificación aprobada, se considera buena práctica ubicar las fuentes según los diseños presentados en el capítulo de descripción del proyecto de acuerdo con la zonificación propuesta presentando un escenario crítico que involucre bien sea la construcción y operación unida, o la construcción y operación por separado. La autoridad entiende que ese escenario será de apoyo para la evaluación a fin de identificar:

- Posibles distancias a receptores sensibles en donde el impacto en calidad del aire pueda ser relevante.
- Posibles valores esperados en inmediaciones de las fuentes a implantar.


Pero podría no ser la forma en que se dará la construcción y operación del proyecto, lo cual dependerá de la zonificación aprobada, por lo tanto, los aspectos reales de aportes al impacto se presentaran durante el seguimiento.

7.6.2. Seguimiento

Es recomendable incluir un escenario que refleje de manera fiel el avance del proyecto durante el período de seguimiento. Este escenario debe presentarse tanto con medidas de control como sin ellas. Las medidas de control incorporadas deben corresponder exclusivamente a aquellas implementadas y registradas en las fichas ICA del período correspondiente.

7.6.3. Otro

El usuario podrá presentar otros escenarios para evaluación o seguimiento que considere dan cumplimiento a los objetivos planteados o a los requerimientos que realice la autoridad, estos deberán estar adecuadamente descritos. Por ejemplo, modelación de escenario

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

de riesgo por liberación de emisiones para evaluar el plan de contingencias.

7.7. ANALISIS DE RESULTADOS Y VIABILIDAD AMBIENTAL

Existen tres aspectos importantes en los cuales el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos interactúa con los Estudios de Impacto Ambiental (E.I.A) durante la etapa de evaluación del licenciamiento ambiental, i) La valoración del impacto, ii) la delimitación del área de influencia y iii) el establecimiento de medidas de manejo, al respecto de cada una de estas se considera buena práctica lo siguiente:

i) Valoración del impacto: dentro de la valoración del impacto por alteración a la calidad del aire, el modelo aporta dos atributos, la magnitud (o intensidad) y la extensión " Es de tener en cuenta la diferenciación entre los atributos y la significancia del impacto, la significancia se calcula a partir de varios atributos dos de los cuales (Magnitud o intensidad extensión) dependen del modelo y los demás atributos dependerán de la metodología usada, como por ejemplo la duración del impacto, su periodicidad, entre otras, que al unirse en una expresión matemática dada, dan lugar a la significancia". Al respecto de la magnitud se considera una buena práctica la comparación de los resultados del modelo de calidad del aire incluida concentración de fondo en todos sus escenarios con todos los estándares permisibles dados por la normatividad vigente en cada uno de sus tiempos de exposición y además la comparación con el valor de concentración de fondo o con los niveles de línea base, de tal forma que:

- a. Si en algún receptor sensible identificado se sobrepasa la norma, la magnitud o intensidad del impacto es catalogada como alta.
- b. Si la concentración de línea base es aumentada en más de un 25% en cualquiera de los receptores sensibles sin sobrepasar la norma, la magnitud o intensidad del impacto es catalogada como media.
- c. Si la concentración de línea base es aumentada en menos de un 25% en cualquiera de los receptores sensibles sin sobrepasar la norma, el impacto es catalogado como de magnitud o intensidad baja.

ii) Límite del Área de influencia: para la delimitación del área de influencia debe tenerse en cuenta que esta se delimita únicamente si el impacto logra una significancia superior a baja, para la delimitación del área se tendrá en cuenta la isopleta incluida concentración de fondo equivalente al tiempo de exposición anual o al tiempo de mayor exposición de los contaminantes.

iii) Medidas de manejo: La propuesta de las medidas de manejo en la respectiva ficha deben darse en primera instancia sobre los tipos de fuentes que contribuyan más a la alteración de la calidad del aire, por lo tanto, se considera una buena práctica atender primero los impactos para tiempos de exposición de mayor duración, si esto reduce el impacto en el tiempo corto de exposición se puede proponer la inclusión de estaciones de monitoreo adicionales en dichos puntos para constatar si el valor en el tiempo corto de exposición se presenta o no durante el desarrollo del proyecto soportado con ejercicios de modelación, de tal forma que si es necesario se aumenten temporalmente o se adicionen nuevas medidas que sean necesarias para mantener las concentraciones dentro de los límites normativos en los receptores sensibles de consideración ambiental, identificando posibles fugas, trasvases, vertimientos, etc.

7.8. PRESENTACION DE LA INFORMACIÓN

Es esencial que el reporte de modelación sea transparente, preciso e incluya todos los componentes necesarios para ser revisado, debe describir la base del modelo, los supuestos clave, el enfoque de la modelación, las limitaciones, los resultados, conclusiones y recomendaciones del estudio. Los archivos de la modelación deben incluir los análisis de datos documentados, los datos de modelación y los archivos del software o código utilizado. Es importante que el archivo del modelo se lleve a cabo de tal manera que el modelo pueda ser reproducido si es necesario para su revisión y/o perfeccionamiento.

Incluir información relevante para la revisión es un aspecto importante dentro de las buenas prácticas, si esta es suficiente, clara y sucinta, facilita el proceso de revisión de la información por parte de los profesionales y especialistas de la ANLA y disminuye la solicitud de requerimientos de información adicional.

Por otro lado, los datos deben almacenarse acorde a la estructura definida en el Modelo de Almacenamiento Geográfico de esta Autoridad Ambiental, diseñada para la presentación de modelos numéricos del recurso hídrico subterráneo, a partir del momento en que este sea acogido a través de acto administrativo.

7.8.1. Documento o reporte de modelación.

Se considera una buena práctica presentar el reporte de modelación contemplando como mínimo en los siguientes capítulos y secciones:

- Objetivos: Donde se plasmen los objetivos de la modelación que se presenta.
- Introducción:
- Generalidades: Capítulo donde se explique el contexto del proyecto, los alcances y limitaciones que se tengan, la metodología, el sistema de modelación a usar, la bibliografía que se cite o resuma para dar cumplimiento a las buenas prácticas sobre el sistema de modelación usado.
- Datos de entrada: Capítulo que describe los datos de entrada de forma clara y sucinta, de forma que el evaluador pueda entender la fuente y el procesamiento entre otros aspectos.

o Meteorología: Sección dedicada a presentar los datos meteorológicos, su validación y su procesamiento, incluyendo la fuente de los datos de uso del suelo y que se explique las variables que serán o no (de forma justificada) llevadas a análisis de sensibilidad.

o Topografía: Sección que describe la fuente del modelo digital de terreno, su resolución y como es la topografía de la zona, así como la forma en que esta fue procesada.

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA</p> <p>EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

o Receptores sensibles: Se debe incluir una tabla y figura georreferenciando los receptores sensibles a ser incluidos en el modelo.

o Inventario de emisiones: Sección que describe como fue realizado el inventario de emisiones, con énfasis en las suposiciones y perfiles ingresados. En caso de usar perfiles de emisión variables estos deben quedar claros en esta sección.

- Escenario(s): Sección que describe detalladamente que representa cada escenario, las fuentes incluidas y los procesos llevados a modelación.
- Fuentes: sección que describe como fueron llevadas las fuentes del proyecto al modelo es decir sus características (Lineal, puntual, poligonal, dimensiones, etc...) y cuales procesos se evalúan en cada una de ellas.
- Suposiciones: Presentar las suposiciones justificadas en que se basa la estimación del inventario y la tasa de emisión que fue llevada al modelo en g/s.
- Factores de emisión: Presentar los factores de emisión usados, como estos fueron estimados y justificar su uso, así como presentar la fuente de donde fueron tomados.
- Controles: se deben describir adecuadamente las medidas de control usadas o implementadas y como se estima la eficiencia de estas.
- Tasas de emisión: Presentar las tasas de emisión en kg o tonelada por periodo (en caso de escenarios inferiores a un año) o en kg o tonelada por año, así como en g/s para cada fuente o grupo de fuentes incluida en el modelo, así como un análisis del inventario apoyado en tablas y figuras.

o Concentración de fondo: presentar una justificación de cuál fue la concentración de fondo usada por cada contaminante y tiempo de exposición, así como el por qué esta se considera adecuada dentro de los objetivos de modelación.

- Datos de salida:

o Concentración en receptores sensibles: Sección para incluir apoyados en figuras y tablas un análisis de los resultados predichos por el modelo incluyendo concentración de fondo y comparando con la norma correspondiente al tiempo de exposición dado, esto se debe presentar para todos los escenarios incluidos en el modelo con y sin control.

o Distribuciones espaciales: de igual forma que en la sección anterior presentar las figuras de los resultados predichos por el modelo procurando usar la misma escala para los resultados con control y sin control y que una de las isopletas represente la norma para el tiempo de exposición dado por la normatividad, de forma se permita su adecuada evaluación.

- Análisis de Sensibilidad: Capitulo para presentar el análisis de sensibilidad de cada una de las variables o desviaciones que se hayan asumido en el desarrollo del modelo.
- Conclusiones y recomendaciones: Capitulo para concluir sobre los resultados del modelo haciendo énfasis en como esto interactúa con el EIA o con los requerimientos realizados por la ANLA.
- Bibliografía

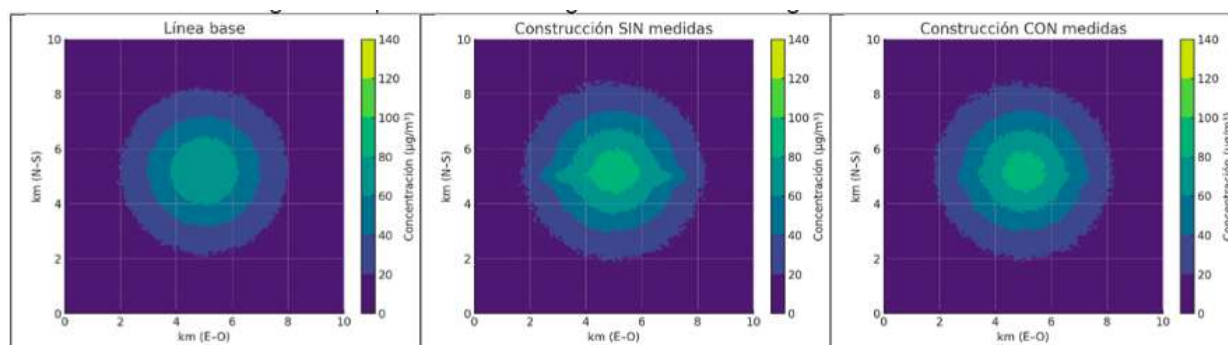
El usuario podrá agregar, modificar o reordenar las secciones de acuerdo con los propósitos de la presentación y el objetivo del modelo. No obstante, si el profesional revisor de la ANLA lo considera pertinente, la omisión de alguna sección podrá ser motivo de requerimiento de información adicional.

7.8.1.1 Interpretación de las salidas gráficas

Se considera una buena práctica de modelación de la dispersión atmosférica que las salidas gráficas (mapas de isopletas, imágenes raster) en armonía con las escalas de presentación mínimas solicitadas en los términos de referencia, MGEPEA o documentos similares que permitan evidenciar las máximas concentraciones estimadas de cada contaminante junto con el adecuado uso de:


Escalas de colores para que permitan identificar el grado de alteración a los niveles de calidad del aire mediante el uso de colores asociados a la magnitud de este. Emplear los mismos rangos de concentración para representar las isopletas de un mismo contaminante en los diferentes escenarios a modela, por ejemplo:

Figura 7.5 Representación salida gráfica con mismos rangos de concentración.



Fuente ANLA, 2025

En caso de presentarse excedencias normativas se considera una buena práctica resaltar la isopleta que representa el límite permisible de cada tiempo de exposición para cada contaminante modelado y se precisa que se debe presentar las isopletas a partir del límite

 <p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA</p> <p>EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

hasta la máxima concentración estimada. En concordancia con lo anterior no se considera una buena práctica emplear el límite permisible como valor máximo de la escala de concentraciones toda vez que esto puede generar interpretaciones erróneas de la magnitud del impacto a la alteración de los niveles de la calidad del aire.

7.8.2. Archivos del modelo (Ejecutables)

Para garantizar la transparencia, trazabilidad y reproducibilidad de la modelación de calidad del aire realizada con el sistema AERMOD, es fundamental realizar una entrega estructurada de la información digital. A continuación, se detallan los requerimientos técnicos para la presentación de los archivos de entrada (inputs) y salida (outputs), organizados de tal manera que permitan a la autoridad evaluadora verificar la configuración del modelo, validar los preprocesamientos meteorológicos y topográficos, y corroborar los resultados de concentración obtenidos.

7.8.2.1 Datos de entrada

Se considera una buena práctica incluir todos los archivos de entrada al sistema de modelación y sus preprocesadores, tanto meteorológicos, topográficos, usos del suelo y configuraciones entre otros; que permitan correr nuevamente el modelo o reconstruirlo; además, incluir toda la carpeta del modelo corrido en el software incluido AERMET ordenados según claramente en carpetas tipo backup del modelo (zip) o archivos complet input file., archivos *.ADI.

Como parte de los productos del proceso de modelación, deberán entregarse, como mínimo, los siguientes archivos:

- Archivos de Meteorología: (SAMSON, UA, Superficie (*.SFC), Perfil vertical (*.PFL)) entre otros
- Archivos de terreno: (DEM, TIFF, HGT, XYZ, SRTM1-SRTM3) entre otros.
- Archivos de fuentes: (MS Excel lakes format, SO Pathway files *.p1) entre otros
- Archivos receptores: (*.csv, RE Pathway files *.p2) entre otros

Pero se resalta la importancia de incluir todos los archivos de entrada de los preprocesadores del sistema de modelación usados, por ejemplo, los archivos de entrada de AERMET o CALMET si estos fueron usados, lo que incluye los campos de vientos.

7.8.2.2 Datos de salida (resultados del modelo)

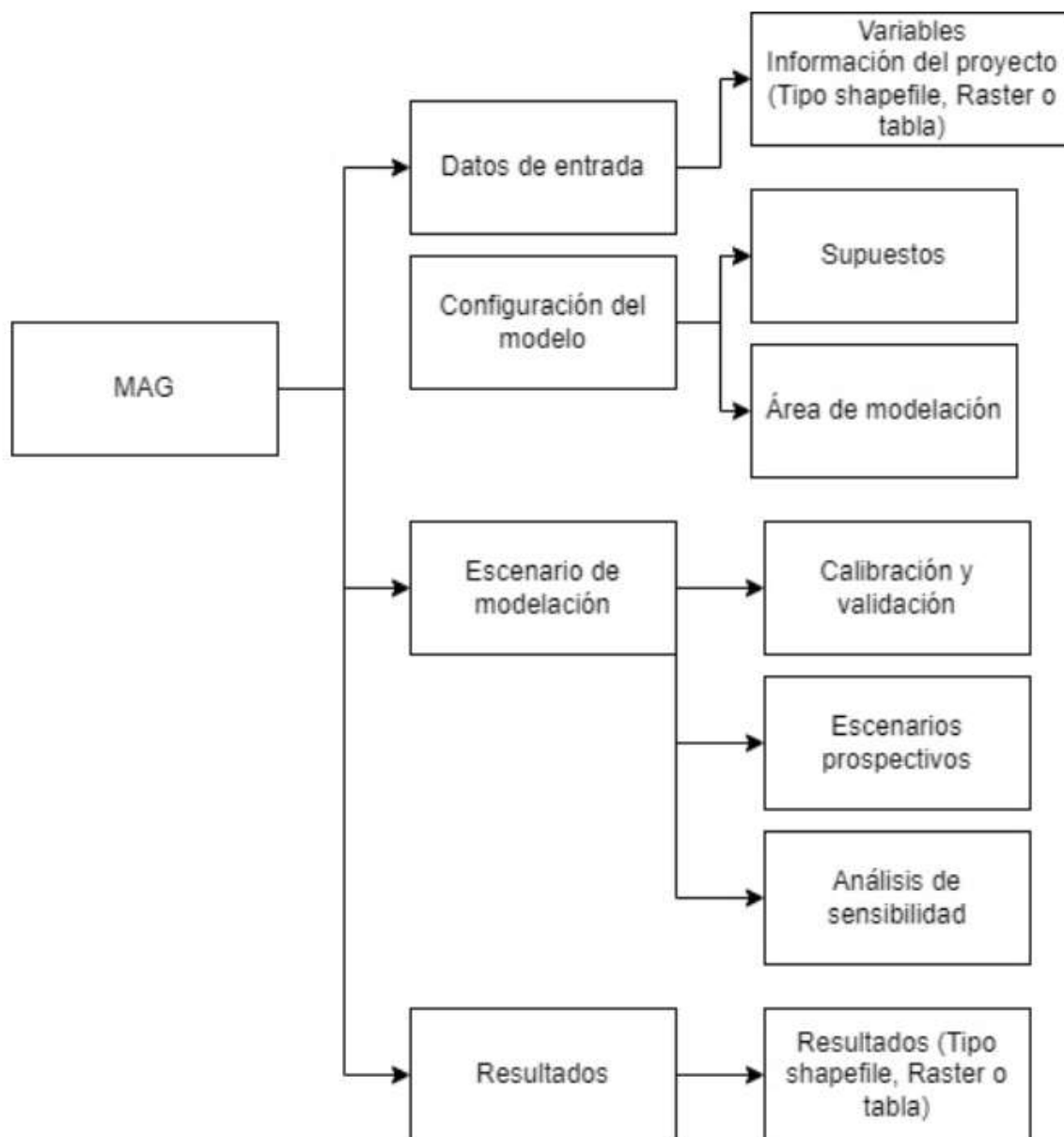
Se recomienda como buena práctica incluir los archivos de salida en sus formatos nativos, tanto de los preprocesadores como de los modelos. No obstante, en caso de que el usuario realice el cálculo de percentiles a partir de archivos de postprocesamiento (POSTFILES) en softwares como Lakes Environmental, dichos archivos también podrán ser allegados, siempre que contribuyan al cumplimiento del objetivo del modelo.

- Archivos de salida a entregar:
- Archivos de salida del modelo: (OU Pathway *.p5, *.ADO, *.SUM)
- Archivos de salida de concentraciones máximas y concentraciones en receptores sensibles: (*.PDF o *.CSV)

7.8.3 Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG)

Se considera una buena práctica que las fuentes del modelo desarrollado coincidan con la siguiente estructura distribuida en datos de entrada, Configuración del proceso de modelado, escenarios de modelación y resultados.

Figura 7.6. Diagrama de flujo del MAG



Fuente ANLA, 2025

Conforme a la estructura del MAG, se presentan en la siguiente tabla unos ejemplos que buscan orientar la forma y/o procedimiento de incluir la información obtenida en el proceso de modelación vinculada al modelo geográfico.


 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

Tabla 7.2 Asociación capa geográfica al MAG de modelación.

Nombre capa geográfica	Descripción	Ejemplo
AreaModelacion	Espacio modelado, corresponde al dominio computacional del modelo	Área donde se desarrollan los procesos que se quieren analizar, limitada en los laterales por condiciones de frontera como sistemas estructurales (variación condición de terreno)
VARIABLESPARAMETRO	Variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera.	Se cuenta con variables en capa tipo punto, línea y polígono.

Nombre capa geográfica	Descripción	Ejemplo
		<ul style="list-style-type: none"> • PT: Puntos de ubicación de receptores. Fuentes fijas puntual (chimeneas, ductos o flare), etc. • LN: Fuentes líneas de emisiones, curvas de nivel, etc. • PG: Fuentes áreas de emisión (área, volumen, pit), modelo digital de terreno, etc.
Resultados	Resultados cualitativos y cuantitativos de las salidas de un modelo distribuidos puntualmente.	<p>Se cuenta con resultados en capa tipo punto, línea y polígono.</p> <ul style="list-style-type: none"> • PT: Puntos discretos con concentración producto del fenómeno de dispersión. • LN: Isolínea de igual concentración o isopleta. <p>Adicionalmente, contemplar el uso de imágenes ráster que representen en cada píxel el fenómeno de dispersión.</p>

Fuente: ANLA, 2025.

Adicionalmente, se presentan las tablas que relacionan los criterios de la selección del modelo, configuración del motor de cálculo, supuestos y/ consideraciones, variables o parámetros en la construcción del modelo y resultados de la modelación.



 <p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

Tabla 7.3 Asociación diligenciamiento de tablas al MAG de modelación.

Nombre de la tabla	Descripción	Ejemplo
Modelo	Características generales y tipología del modelo ambiental.	Selección del modelo: <ul style="list-style-type: none"> • Aermod (versión) • Calpuff • CDF – Modelo dinámico de fluidos.
ConfiguraModel	Detalla las diferentes configuraciones que se pueden dar para parametrizar la corrida de un Modelo ambiental.	Selección del contaminante. Tiempo de exposición. Periodo meteorológico de análisis.
Escenario	Indica las diferentes representaciones de una situación abstracta de la realidad que se pretende modelar.	Siguiendo los lineamientos MGEPEA, 2018, se puede definir los escenarios: <ul style="list-style-type: none"> • Línea base. • Construcción • Operación

Nombre de la tabla	Descripción	Ejemplo
		Resaltando que se modelan el aporte de las fuentes con medidas de control y sin medidas de control.
Supuestos	Detalla las certezas asumidas asociadas a una configuración de un ejercicio de modelación.	Se emplean supuestos como: <ul style="list-style-type: none"> • Deposición seca/húmeda. • Tipo de terreno (plano, elevado o mixto) • Conversión NOX a NO2.
VARIABLESPARAMETROS	Listado detallado de las variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera empleados en un modelo.	Variables seleccionadas son: <ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de emisión. • Receptores discretos. • Información meteorológica en formato .SFC y – PFL. Parámetros considerados son: <ul style="list-style-type: none"> • Jornada de operación de una o varias fuentes. • Malla de cálculo.
RegVariabParam	Descripción y relación de las variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera.	Las principales relaciones de la variable con las condiciones de frontera corresponden a: <ul style="list-style-type: none"> • Representatividad espacial de la información meteorológica. • Dominio de terreno.
Resultados	Registro detallado de los valores de las variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera.	Corresponde a las salidas gráfica que representan el fenómeno de dispersión por cada contaminante y tiempo de exposición.
RegistroResultados	Registros de los resultados cualitativos y cuantitativos de las salidas de un modelo.	Corresponde a los resultados de las concentraciones estimadas por el modelo sobre los receptores discretos incluidos.

Fuente: ANLA, 2025.

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

7.8.4. Ubicación de la información

Se considera una buena práctica organizar en una carpeta el documento soporte de modelación, tanto en formato editable como en PDF, junto con sus anexos, siguiendo la estructura de carpetas indicada a continuación. Es importante que los nombres de las carpetas y archivos sean cortos y claros, ya que esto reduce el riesgo de pérdida de información durante la carga o copia, genera rutas más simples y facilita la apertura de los archivos.

En la estructura, la “X” corresponde al número de anexo que el usuario desee asignar, y la palabra “Anexo” puede sustituirse únicamente por la letra “A”.

Se recomienda comprimir la carpeta donde se desarrollen la modelación para garantizar su reconstrucción por parte de los profesionales de la ANLA.

- Anexo X MDCA*

o Reporte MDCA.docx

o Reporte MDCA.pdf

o Anexo X.1 Inventario

o Anexo X.2 Archivos de lectura modelo

- Anexo X.2.1 Aermod u otro sistema de modelación

- Anexo X.2.1.1 ESC1**

o Anexo X.2.1.1.1 carpeta contaminante X Sin Control

o Anexo X.2.1.1.2 carpeta contaminante X Con Control

o ...

- Anexo X.2.1.2 ESC2
- Anexo X.2.2 Aermet u otro preprocesador de meteorología
- Anexo X.2.3 Aermap u otro preprocesador de topografía
- Anexo X.2.4 Aersurface u otro preprocesador de usos del suelo
- ...

o Anexo X.3 Modelos Aermod u otro sistema de modelación.

- Anexo X.3. Salidas SIG-MAG

- Anexo X.3.1 Fuentes

- Anexo X.3.2 Receptores

- Anexo X.3.3 Resultados

- Anexo X.3.3.1 SHP

- Anexo X.3.3.2 Raster

Nota:


* MDCA – Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos.

** Se recomienda adjuntar la carpeta donde se desarrolló la modelación por escenario y contaminante en formato comprimido (*.zip, *.rar, entre otros).

***La información resaltada en negrilla corresponde a los datos del proyecto y los contaminantes contemplados en la modelación.

8. Referencias

- **GOBIERNO DE AUSTRALIA. (s.f).** National Pollutant Inventory (NPI): Emission Estimation Technique Manuals. (1999)
- **INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (s.f).** Sistema de Vigilancia de la

 <p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-14

- Calidad del Aire (SISAIRE). (1999)
- **INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). (s.f.)**, Cartografía básica y curvas de nivel para estudios ambientales. (1999)
 - **UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA)**., AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Fifth Edition. Washington, DC, USA. (2004)
 - **MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT)**, Resolución 2154 de 2010. (2010)
 - **MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT)**., Resolución 760 de 2010 (2010)
 - **UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA)**., Haul Road Workgroup Final Report. Submission to EPA-OAQPS. Washington, DC, USA. (2012)
 - **MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS)**, Decreto 1076 de 2015. (2015)
 - **MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS)**, Resolución 2254 de 2017 (2017)
 - **UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA)**., Guideline on Air Quality Models (Appendix W). Washington, DC, USA. (2017)
 - **AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA)**., Resolución 1402 de 2018. (2018)
 - **EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA)**., EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook. Luxembourg: Publications Office of the European Union. (2019)
 - **AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA)**., Guía de Buenas Prácticas de Modelación de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. Bogotá, Colombia. (2025)

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre	Nombre	Nombre
Jaime Andres Fajardo Rodriguez Didier Felipe Barragan Rojas	Oscar Alexander Varila Quiroga	Jorge Alberto Sanabria Morales
Cargo	Cargo	Cargo
Profesional Técnico Profesional de Calidad	Profesional Especializado	Coordinador
Fecha	Fecha	Fecha
05-05-2026	08-05-2026	12-05-2026