Outlook

**RV: Resultado de cotizaciones modelación Altavista**

**Desde** Ana Cecilia Caro Zapata <acaro@corantioquia.gov.co>
**Fecha** Vie 2026-06-05 7:49
**Para** Centro de Administracion de Documentos -CAD- CORANTIOQUIA <cad@corantioquia.gov.co>

3 archivos adjuntos (10 MB)
ConceptoTecnicoModelacion.docx; Cotización USB.pdf; Cotización SAG.pdf;

Buenos días

Por favor radicar y copiar en la carpeta del contrato 110-CNT2510-258

Cualquier inquietud, con gusto será atendida

Cordialmente,

**Ana Cecilia Caro Zapata**
**Profesional Especializado**
Subdirección de Gestión Ambiental
acaro@corantioquia.gov.co
Carrera 65 N° 44A – 32
www.corantioquia.gov.co

CORANTIOQUIA
COMUNICACIONES OFICIALES EXTERNAS
CORPORACIÓN INTERUNIVERSITARIA DE
Fecha: 05-jun-2026 11:03 AM Pág: 6
Anexos: 44 PAGINAS
Archivar en: 110-CNT2510-258/CORPORACIÓN INTERUNIVERSITARIA DE
Radicado por: Jose Adolfo Zabala
**180-COE2606-23265**
Favor citar este número al responder

CORANTIOQUIA

*"Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: https://www.corantioquia.gov.co. Con el suministro de los datos en este formulario, se entiende la autorización de su parte para que Corantioquia pueda usarlos con fines exclusivamente misionales. Este registro es propiedad de Corantioquia, no debe ser divulgado a terceros sin la respectiva autorización"*

---

**De:** Ana Cecilia Caro Zapata <acaro@corantioquia.gov.co>
**Enviado:** Viernes, 05 de Junio de 2026 7:40
**Para:** Vanesa Alvarez Restrepo <valvarezr@cis.org.co>; Alcance 1 SVCA Corantioquia <svca.corantioquia.cis@gmail.com>
**CC:** CIS - CORANTIOQUIA <cis.corantioquia@cis.org.co>; Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire <svca@corantioquia.gov.co>; johan steven londoño tamayo <jolota15@gmail.com>
**Asunto:** RV: Resultado de cotizaciones modelación Altavista

Cordial saludo,

Una vez revisada la información remitida por la CIS , relacionada con el análisis de mercado para la contratación del servicio de modelación numérica de calidad del aire requerido para el corregimiento de Altavista, me permito indicar lo siguiente.

De acuerdo con la información allegada, al cierre del proceso se recibieron dos propuestas correspondientes a la Universidad de San Buenaventura Medellín – Consultorio Tecnológico Bonaventuriano (USB–CTB) y a la empresa SAG S.A.

Los valores ofertados son los siguientes:

- Universidad de San Buenaventura – CTB: $154.000.000
- SAG S.A.: opciones por $324.350.000, $359.000.000 y $533.240.000

A partir del análisis técnico-económico presentado por los profesionales del alcance 1, se evidencia que las propuestas no solo difieren en valor, sino también en su estructura metodológica, alcance y tiempos de ejecución. En este sentido, la evaluación realizada consideró criterios técnicos asociados a la alineación con los términos de referencia, solidez de la cadena de modelación, escenarios requeridos, cronograma y relación entre calidad, tiempo y costo. Estableciendo que la oferta más favorable es la presentada por la Universidad de San Buenaventura Medellín – Consultorio Tecnológico Bonaventuriano, por un valor total de $154.000.000, al cumplir de manera más adecuada con los requerimientos técnicos, operativos y presupuestales del proceso.

El valor propuesto se ajusta al presupuesto disponible dentro del Contrato 110-CNT2510-258 de 2025, permitiendo la ejecución del servicio conforme a las necesidades del proyecto.

En este sentido, se autoriza la continuación del trámite para la contratación del proveedor seleccionado, conforme a lo analizado y de acuerdo con los procedimientos definidos para la ejecución del contrato. Así mismo, la CIS deberá verificar previamente al inicio del contrato los aspectos técnicos requeridos para la correcta ejecución del servicio, incluyendo el detalle metodológico de la modelación, los insumos del inventario de emisiones, los escenarios a evaluar, el esquema de validación de resultados y las condiciones de trazabilidad de la información generada, con el fin de garantizar la calidad técnica del estudio.

De igual manera, la CIS podrá avanzar con las actuaciones contractuales pertinentes, asegurando la verificación del cumplimiento de todos los requisitos exigidos para la formalización y ejecución del servicio.

Finalmente, agradezco anexar el respectivo soporte de la contratación en el informe financiero mensual, una vez se cuente con el documento y con su ejecución.

Cordialmente,

**Ana Cecilia Caro Zapata**
**Profesional Especializado**
Subdirección de Gestión Ambiental
acaro@corantioquia.gov.co
Carrera 65 N° 44A – 32
www.corantioquia.gov.co

CORANTIOQUIA

*"Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: https://www.corantioquia.gov.co. Con el suministro de los datos en este formulario, se entiende la autorización de su parte para que Corantioquia pueda usarlos con fines exclusivamente misionales. Este registro es propiedad de Corantioquia, no debe ser divulgado a terceros sin la respectiva autorización"*

---

**De:** Alcance 1 SVCA Corantioquia <svca.corantioquia.cis@gmail.com>
**Enviado:** Miércoles, 03 de Junio de 2026 15:01
**Para:** Vanesa Alvarez Restrepo <valvarezr@cis.org.co>
**CC:** Ana Cecilia Caro Zapata <acaro@corantioquia.gov.co>; CIS - CORANTIOQUIA <CIS.CORANTIOQUIA@cis.org.co>; Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire <svca@corantioquia.gov.co>; johan steven londoño tamayo <jolota15@gmail.com>
**Asunto:** Re: Resultado de cotizaciones modelación Altavista

Cordial saludo, Ana, Vanesa y equipo.

En atención al correo remitido y a la reunión sostenida, desde el equipo técnico realizamos la revisión comparativa de las propuestas recibidas para la prestación del servicio de modelación numérica de calidad del aire en el corregimiento de Altavista. Para ello se tomó como referencia la solicitud enviada a los posibles oferentes, las propuestas recibidas, el alcance técnico requerido, el presupuesto disponible y las condiciones de calidad, tiempo y precio necesarias para atender adecuadamente la necesidad.

El análisis se hizo exclusivamente sobre la información contenida en las propuestas allegadas. En ese sentido, no busca desconocer la gestión adelantada durante el proceso de cotización ni reemplazar las validaciones administrativas, jurídicas o contractuales que correspondan. Su propósito es aportar un criterio técnico-económico que facilite la toma de decisión y deje trazabilidad de la revisión realizada.

De acuerdo con la información remitida, al cierre del proceso se recibieron dos propuestas: la presentada por la Universidad de San Buenaventura Medellín, a través del Consultorio Tecnológico Bonaventuriano, por valor de $154.000.000, y la presentada por SAG S.A., con opciones económicas de $324.350.000, $359.000.000 y $533.240.000.

Para facilitar la lectura, se incluye una valoración cualitativa de cada criterio. Esta valoración no corresponde a una descalificación de ningún proponente, sino a una lectura comparativa frente a la necesidad específica del proceso, el presupuesto disponible y las condiciones de oportunidad requeridas.

| Criterio revisado | Universidad de San Buenaventura Medellín - CTB | Valoración USB | SAG S.A. | Valoración SAG | Lectura técnica |
|---|---|---|---|---|---|
| Alineación con la solicitud técnica | Presenta una estructura directamente relacionada con los componentes solicitados y con los escenarios requeridos para la modelación. | Favorable | Presenta una estructura técnica por opciones, que requiere mayor interpretación para asociarla con cada componente solicitado. | Requiere aclaración | La propuesta de la USB facilita una revisión más directa del cumplimiento del alcance requerido. |
| Escenarios de modelación | Identifica los escenarios requeridos y los articula con las | Favorable | Incluye escenarios de modelación, pero algunos elementos requieren mayor | Favorable con precisiones | La USB presenta una correspondencia más clara con la |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | fuentes priorizadas para el análisis. | | precisión frente al alcance final esperado. | | necesidad específica del proceso. |
| Solidez técnica de la cadena de modelación | Define componentes relevantes de la cadena de modelación y permite identificar una ruta metodológica concreta. | Favorable con precisiones | Presenta elementos técnicos valiosos, especialmente en algunos aspectos de infraestructura y organización del proceso. | Favorable con precisiones | Ambas propuestas tienen elementos técnicos relevantes; sin embargo, la USB resulta más ajustada al alcance y al presupuesto disponible. |
| Cronograma de ejecución | Propone un plazo más corto para la entrega de resultados integrados. | Favorable | Propone plazos más amplios de ejecución, según la opción seleccionada. | Menor favorabilidad frente al proceso | En el contexto del proceso y de los compromisos asociados, el tiempo de respuesta es un factor importante. |
| Valor económico | $154.000.000. Se encuentra dentro del presupuesto disponible. | Favorable | Opciones de $324.350.000, $359.000.000 y $533.240.000. | Menor favorabilidad frente al presupuesto | La USB presenta una alternativa económicamente más favorable para la entidad. |
| Relación calidad, tiempo y precio | Presenta una relación favorable entre alcance técnico, plazo y valor ofertado. | Favorable | Presenta capacidades técnicas, pero con mayor exigencia presupuestal y mayor tiempo de ejecución. | Menor favorabilidad integral | La USB ofrece la mejor relación integral frente a la necesidad planteada. |
| Valoración integral | Presenta mayor correspondencia con la necesidad, el presupuesto y el tiempo requerido. | Más favorable | Presenta capacidades técnicas, pero con menor favorabilidad frente a costo, plazo y trazabilidad para este proceso específico. | No priorizada para este proceso, salvo aclaraciones adicionales | La recomendación técnico-económica es avanzar con la USB, condicionando la etapa siguiente a las precisiones indicadas. |

Con base en esta revisión, desde el punto de vista técnico-económico, se considera que la oferta que resulta más favorable para atender la necesidad planteada es la presentada por la Universidad de San Buenaventura Medellín, por cuanto presenta una mayor correspondencia con el alcance requerido, un cronograma más favorable y un valor ajustado al presupuesto disponible.

En ese sentido, la recomendación del equipo técnico es avanzar con la propuesta de la Universidad de San Buenaventura Medellín como la alternativa más favorable en calidad, tiempo y precio, condicionando la etapa siguiente a la entrega de las aclaraciones técnicas señaladas.

Adjuntamos el concepto técnico de soporte, en el cual se desarrolla con mayor detalle la revisión realizada sobre las dos propuestas recibidas.

Quedamos atentos a cualquier ajuste, ampliación o reunión técnica que se considere necesaria para revisar el concepto en detalle y dejar el soporte correspondiente completamente alineado con las necesidades de la supervisión y del proceso contractual.

Saludos

El mar, 2 jun 2026 a las 11:57, Vanesa Alvarez Restrepo (<valvarezr@cis.org.co>) escribió:

> Buenas tardes.
>
> De conformidad con la reunión sostenida, solicito al equipo técnico emitir concepto técnico indicando cual es la oferta mas favorable a la entidad en la medida que pueda ser suplida la necesidad en condiciones de calidad, tiempo y precio.,
>
> Quedamos atentos.
>
> Muchas gracias.
>
> > El 2/06/2026, a las 7:08 a.m., Ana Cecilia Caro Zapata <acaro@corantioquia.gov.co> escribió:
> >
> > **PRECAUCIÓN:** Correo electrónico externo.
> > No haga clic en los enlaces, ni abra los archivos a menos que reconozca al remitente y sea de su conocimiento que el contenido es seguro.
> >
> > Buenos días,
> >
> > Muchas gracias por toda la gestión. No obstante, como lo manifesté previamente por correo y en diferentes reuniones, no tengo conocimiento en modelación. En ese sentido, requiero que se realice una evaluación técnica por ustedes que son los profesionales idóneos, que indique cuál es la mejor propuesta tecnicamente para desarrollar esta actividad, teniendo en cuenta el presupuesto asignado.
> >
> > Cualquier inquietud será atendida con gusto.
> >
> > Cordialmente,
> >
> > **Ana Cecilia Caro Zapata**
> > **Profesional Especializado**
> > Subdirección de Gestión Ambiental
> > acaro@corantioquia.gov.co
> > Carrera 65 N° 44A – 32
> > www.corantioquia.gov.co

CORANTIOQUIA

*"Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: https://www.corantioquia.gov.co. Con el suministro de los datos en este formulario, se entiende la autorización de su parte para que Corantioquia pueda usarlos con fines exclusivamente misionales. Este registro es propiedad de Corantioquia, no debe ser divulgado a terceros sin la respectiva autorización"*

---

**De:** Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire <svca@corantioquia.gov.co>
**Enviado:** Martes, 02 de Junio de 2026 7:02
**Para:** Ana Cecilia Caro Zapata <acaro@corantioquia.gov.co>; Alcance 1 SVCA Corantioquia <svca.corantioquia.cis@gmail.com>
**Asunto:** Resultado de cotizaciones modelación Altavista

Buenos días,

Durante el proceso de solicitud de cotizaciones requiriendo la prestación de servicios para la modelación numérica de calidad del aire en el corregimiento de Altavista, se siguió el siguiente proceso:

- **7 de mayo:** presentación de la solicitud de servicios a la Supervisora del contrato y Líder SGL SVCA.
- **15 de mayo:** observaciones de la Supervisora del contrato y Líder SGL SVCA.
- **15 de mayo:** envío de la solicitud de cotización a 26 laboratorios que prestan sus servicios en monitoreo de calidad de aire.
- **20 de mayo:** Recepción de observaciones por parte de los laboratorios (Nota: No se recibieron observaciones por parte de los invitados).
- **22 de mayo:** comunicación formal a los laboratorios ratificando que los términos de la solicitud se ciñen estrictamente a la información enviada el 15 de mayo.
- **29 de mayo:** cierre de recepción de las propuestas.

Al cierre de la convocatoria, se recibieron las propuestas económicas del laboratorio SAG S.A. y de la Universidad San Buenaventura. A continuación, se ilustran los laboratorios a donde se allegó la propuesta, las direcciones de correo electrónicos y las respuestas recibidas por parte de los laboratorios:

| Laboratorio | Correo | Respuesta |
|---|---|---|
| AGQ COLOMBIA S.A.S | cristhian.moreno@agqlabs.com; karina.corena@agqlabs.com | No presentan propuesta |
| AQUALAB CONSULTING | gerencia@aqualabconsulting.com | No presentan propuesta |
| ANALTEC | dircalidadanaltec@gmail.com; direccion.comercial@analteclaboratorios.com | No presentan propuesta |
| ANASCOL S.A.S. | comercial@anascol.com; direccion.tecnica@anascol.com; direccion.tecnica@anascol.com | No presentan propuesta |
| ASISTENCIA Y MONITOREO AMBIENTAL PLANETA AZUL LTDA | juan.cetina@aimaplanetaazul.com | No presentan propuesta |
| CCA COMPAÑÍA DE CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA | calidad@cca.com.co | No presentan propuesta |
| CONHINTEC | info@conhintec.com | No presentan propuesta |
| Corporación Integral del Medio Ambiente – CIMA | cima@laboratoriocima.com | No presentan propuesta |
| ESPECIALISTAS EN INGENIERÍA, MEDIO AMBIENTE Y SERVICIOS S.A.S. | info@especialistas.net.co; Info@eimas.com.co | No presentan propuesta |
| GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL G-LIMA DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | laboratoriogiga@udea.edu.co | No presentan propuesta |
| GSA S.A.S | proyectosespeciales@gsasas.com; comercial@gsasas.com; gsasas@gsasas.com | No presentan propuesta |
| INDUANALISIS S.A.S. – IA S.A.S | comercial@induanalisis.com; info@induanalisis.com | No presentan propuesta |
| LABORATORIO CALAIRE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL | calaire_med@unal.edu.co | No presentan propuesta |
| SIAM INGENIERÍA S.A.S | gerencia@siamingenieria.com | No presentan propuesta |

| | | |
|---|---|---|
| UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | jorgeivan.posada@upb.edu.co | No presentan propuesta |
| UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA | direccion.ctb@usbmed.edu.co | Presenta propuesta - $154.000.000 |
| SAG S.A. | sag.sa@sag-sa.com | Presenta propuesta<br>Opción A $324.350.000<br>Opción B $359.000.000<br>Opción C $533.240.000 |
| BB SERVICIOS AMBIENTALES S.A.S | bboterof@gmail.com;<br>calidad@bbserviciosambientales.com | No presentan propuesta |
| UNIVERSIDAD DE MEDELLIN - LABORATORIO DE ANALISIS FISICOQUIMICO Y BIOLOGICO DEL CENTRO DE LABORATORIOS | jcmoreno@udem.edu.co;<br>laboratorios@udemedellin.edu.co | No presentan propuesta |
| UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA ADSCRITO AL CENTRO DE EXTENSIÓN DE LA FACULTAD NACIONAL DE SALUD PÚBLICA "HÉCTOR ABAD GÓMEZ" | cambientalab.fnsp@udea.edu.co;<br>decasaludpublica@udea.edu.co | Responden mencionando que en este momento no cuentan con la capacidad para presentar una propuesta |
| CONSULTORÍA E INGENIERÍA INTEGRAL S.A.S. - CONINTEGRAL S.A.S. | afernandez@conintegral.com,<br>info@conintegral.com | No presentan propuesta |
| POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID - LABORATORIO EN HIGIENE Y GESTIÓN AMBIENTAL GHYGAM | mgomez@elpoli.edu.co | No presentan propuesta |
| SISTEMA AMBIENTAL S.A.S. | barenas@sistemambiental.com.co;<br>shernandez@sistemambiental.com.co | Responden recepción de la solicitud de cotización pero no presentan propuesta |
| DIAGNÓSTICO AMBIENTAL S.A.S | dircalidad.dna@gmail.com;<br>proyectos@dnambiental.com;<br>diradm.dna@gmail.com | No presentan propuesta |
| CMA LABORATORIO Y TECNOLOGÍA S.A.S., CMA LABTEC S.A.S | direcciongeneral@cmalabtec.co,<br>hseq@cmalabtec.co | Responden que no cuentan con la prestación de este tipo de servicios |
| MAHT MONITOREOS AMBIENTALES HIGH TECHNOLOGY LTDA. | gerencia@hteltda.com; soporte@hteltda.com | No presentan propuesta |

Se adjunta en el archivo comprimido los correos enviados a los laboratorios y las respuestas recibidas por parte de cada uno de los laboratorios.

Quedo atento a cualquier observación.

Cordialmente,

***JOSE MANUEL FERNÁNDEZ MONTES***
*Enlace SGL SVCA*
*Teléfono: 319 203 4901*
*Email: svca@corantioquia.gov.co*




Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: www.corantioquia.gov.co, en donde puede conocer sus derechos constitucionales y legales, así como la forma de ejercerlos. Con mucho gusto atenderemos todas sus observaciones, consultas o reclamos en: protecciondedatos@corantioquia.gov.co.




Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: www.corantioquia.gov.co, en donde puede conocer sus derechos constitucionales y legales, así como la forma de ejercerlos. Con mucho gusto atenderemos todas sus observaciones, consultas o reclamos en: protecciondedatos@corantioquia.gov.co.




Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: www.corantioquia.gov.co, en donde puede conocer sus derechos constitucionales y legales, así como la forma de ejercerlos. Con mucho gusto atenderemos todas sus observaciones, consultas o reclamos en: protecciondedatos@corantioquia.gov.co.

## UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA MEDELLÍN

Facultad de Ingeniería

Consultorio Tecnológico Bonaventuriano — CTB

# Propuesta técnico-económica

## Modelación numérica de calidad del aire

Corregimiento de Altavista — Municipio de Medellín

| | |
|---|---|
| **Dirigido a** | CORANTIOQUIA — Corporación Interuniversitaria de Servicios (CIS) |
| **Contrato marco** | 110-CNT2510-258 |
| **TDR de referencia** | TDR-Altavista-Modelacion-2026 |
| **Fecha de presentación** | Mayo de 2026 |
| **Valor ofertado** | **$154.000.000 COP** |

Este documento es confidencial y está destinado exclusivamente a CORANTIOQUIA y a la Corporación Interuniversitaria de Servicios — CIS.

## Resumen ejecutivo

La Universidad de San Buenaventura Medellín, a través de la Facultad de Ingeniería y del Consultorio Tecnológico Bonaventuriano, presenta esta propuesta técnico-económica en respuesta a la solicitud realizada por CORANTIOQUIA y la Corporación Interuniversitaria de Servicios para desarrollar la modelación numérica de calidad del aire en el corregimiento de Altavista. Más que una respuesta operativa a un conjunto de ítems técnicos, esta propuesta se formula como un ejercicio de responsabilidad académica y pública frente a un territorio donde la información ambiental debe ser técnicamente sólida, trazable y útil para la toma de decisiones.

Proponemos una cadena de modelación articulada en dos fases: una simulación tipo pronóstico con WRF-Chem para mayo y junio de 2026, y una simulación retrospectiva anual con CMAQ para el año 2025 completo. Ambas comparten dominios, inventario de emisiones y protocolo de validación. La estación meteorológica automática y el procesamiento del reanálisis ERA5 completan el alcance principal. El inventario de fuentes móviles se presenta en el Anexo A como componente independiente, cuya activación depende de la disponibilidad de información de tráfico.

| VALOR OFERTADO PROPUESTA PRINCIPAL | **$154.000.000 COP** | Por debajo del presupuesto máximo oficial<br>Anexo A (independiente): $28.500.000 |
|---|---|---|

| Ítem TDR | Componente | Valor (COP) |
|---|---|---|
| **Ítem 9** | Fase 2 — CMAQ anual 2025 (hindcast, obligatorio) | **$58.000.000** |
| Ítem 7 | Fase 1 — WRF-Chem mayo–junio 2026 (pronóstico, Opción B) | **$63.000.000** |
| Ítem 2 y 4 | Procesamiento datos meteorológicos para ambas fases | **$33.000.000** |
| | **TOTAL PROPUESTA PRINCIPAL** | **$154.000.000** |
| **Anexo A** | Inventario de fuentes móviles — ítem adicional, no incluido en el valor principal | **$58.500.000** |

**El valor del Anexo A no está incluido en los $154.000.000 COP de la propuesta principal. Los ítems opcionales del TDR no cotizados en esta propuesta no deben interpretarse como incluidos.**

## 1. Presentación institucional

La Universidad de San Buenaventura Medellín es una institución de educación superior con vocación pública y orientación ética, cuya Facultad de Ingeniería trabaja en instrumentación ambiental, modelación computacional, sistemas de información territorial y análisis de datos desde una perspectiva comprometida con el contexto regional. El Consultorio Tecnológico Bonaventuriano — CTB— es la unidad que articula esa capacidad académica con demandas técnicas del sector público. No opera como consultora externa: trabaja con criterio institucional, con profesoras, profesores y profesionales vinculados a la universidad, y con la obligación de entregar productos que puedan ser verificados, discutidos y usados para tomar decisiones de interés colectivo.

Desde el CTB asumimos esta modelación como un ejercicio de responsabilidad pública frente a un territorio donde conviven industria, población residente y una deuda ambiental que la autoridad competente está tratando de gestionar. Esa lectura informa nuestra propuesta: no partimos del software disponible, sino del problema que hay que entender. Entendemos la solicitud realizada por CORANTIOQUIA y la CIS, y la convertimos en una ruta metodológica que puede ser defendida técnicamente, examinada por pares y usada como insumo real en decisiones regulatorias.

El equipo técnico propuesto para este proyecto reúne perfiles especializados en modelación atmosférica, procesamiento de información meteorológica, análisis geoespacial y gestión de datos ambientales. Las hojas de vida de las personas asignadas se adjuntan como documento complementario a esta propuesta. La capacidad computacional necesaria para la ejecución de las simulaciones se proveerá mediante recursos propios, institucionales o contratados según los requerimientos técnicos del proyecto.

## 2. Comprensión de la solicitud y propósito de la propuesta

A partir de los términos de referencia recibidos, estructuramos una propuesta que articula dos fases complementarias de modelación: una fase prospectiva para mayo y junio de 2026, construida con WRF-Chem, y una fase retrospectiva anual para 2025, ejecutada con CMAQ. Ambas responden a necesidades distintas pero convergentes: la primera permite simular escenarios de emisiones para el período de interés inmediato; la segunda entrega la estadística anual con la solidez que exige la Resolución 2254 de 2017 para evaluar cumplimiento normativo.

Para responder técnicamente a la solicitud, proponemos un alcance principal compuesto por: la modelación CMAQ anual 2025, la modelación WRF-Chem para mayo y junio de 2026. Estos componentes se diseñaron como cadena: los productos de uno alimentan los siguientes, y todos convergen en un informe técnico integrado que CORANTIOQUIA pueda usar con confianza.

## 3. Alcance de la propuesta

### 3.1 Componentes incluidos en el valor principal

Para responder al requerimiento técnico dentro del presupuesto disponible, el alcance principal de la propuesta comprende los siguientes cuatro componentes:

| Ítem TDR | Componente | Valor (COP) |
|---|---|---|
| **Ítem 9** | Fase 2 — CMAQ anual 2025 (hindcast, obligatorio) | **$58.000.000** |
| Ítem 7 | Fase 1 — WRF-Chem mayo–junio 2026 (pronóstico, Opción B) | **$63.000.000** |
| Ítem 2 y 4 | Procesamiento datos meteorológicos para ambas fases | **$33.000.000** |

| Ítem TDR | Componente | Valor (COP) |
|---|---|---|
| | **TOTAL PROPUESTA PRINCIPAL** | **$154.000.000** |
| **Anexo A** | Inventario de fuentes móviles — ítem adicional, no incluido en el valor principal | **$58.500.000** |

### 3.2 Componentes condicionados a información suministrada por CORANTIOQUIA

La representatividad de los escenarios E0 a E3 depende directamente de la calidad, completitud, consistencia y oportunidad del inventario de emisiones que CORANTIOQUIA ponga a disposición del equipo técnico. La Universidad no asume, dentro del valor principal, la construcción del inventario de fuentes fijas ni el muestreo isocinético de chimeneas. Si el inventario disponible es completo, los cuatro escenarios se ejecutan con los datos suministrados. Si falta alguna categoría de fuente, esa fuente se excluye del escenario correspondiente. Para preservar la trazabilidad técnica del estudio, la exclusión quedará documentada en el informe con análisis de su efecto potencial sobre la representatividad del resultado.

### 3.3 Componentes no incluidos en esta propuesta

- Campaña de monitoreo de calidad del aire con equipos acreditados — Ítem 1 del TDR.
- Muestreo isocinético y caracterización de fuentes fijas y difusas — Ítem 3.
- Análisis químico de filtros para especiación de material particulado — Ítem 5.
- Opción A de modelación integrada WRF-Chem + CMAQ simultáneos — Ítem 6.
- Inventario de emisiones de fuentes móviles cuando CORANTIOQUIA no disponga de datos suficientes de Tráfico Promedio Diario — Anexo A.
- Producción o validación del inventario de fuentes fijas. La Universidad utiliza el inventario que CORANTIOQUIA suministre; no realiza mediciones propias de emisión dentro del valor cotizado.

## 4. Cadena de modelación propuesta

### 4.1 Estructura de dominios anidados

La simulación opera sobre tres dominios anidados centrados en Altavista, con una relación de escala 1:3 entre dominios consecutivos. Esta estructura permite que los flujos de masa a escala regional lleguen correctamente representados al dominio local, y que la circulación de la cuenca del Área Metropolitana influya en la dispersión dentro del corregimiento.

| Parámetro | D01 — Regional (9 km) | D02 — Valle de Aburrá (3 km) | D03 — Altavista (1 km) |
|---|---|---|---|
| Celdas (col × fil) | 60 × 60 | 60 × 60 | **60 × 60** |
| Extensión aproximada | ~540 × 540 km | ~180 × 180 km | ~60 × 60 km |
| Cobertura geográfica | NW Colombia | Área Metropolitana + municipios | **9 veredas del corregimiento** |
| Centro del dominio | 6.20°N / 75.62°W | 6.20°N / 75.62°W | 6.15°N / 75.62°W |

La resolución de 1 km en D03 es la máxima compatible con la estabilidad numérica de la razón de anidamiento 1:3 y permite distinguir diferencias de concentración entre receptores sensibles separados por 500 a 800 metros —distancias relevantes dentro del corregimiento.

#### 4.2 Fase 1 — WRF-Chem mayo–junio 2026 (pronóstico)

Proponemos esta fase como simulación de tipo pronóstico: simula la meteorología y la química atmosférica de forma acoplada y simultánea para un período futuro cercano. El mecanismo RACM-ESRL para gases y el módulo MADE/SORGAM para aerosoles son compatibles con la mezcla de fuentes industriales, de combustión y de tráfico que caracteriza a Altavista, y permiten reproducir la formación de aerosol orgánico secundario a partir de los compuestos orgánicos volátiles que emiten la planta de asfalto y otras fuentes de combustión.

El período de simulación va del 1 de mayo al 30 de junio de 2026. Ese período cubre la transición entre la primera temporada seca y el inicio de la lluviosa en Antioquia, meses en que históricamente se registran las condiciones de mayor estabilidad y acumulación de contaminantes en los valles del departamento. Coincide también con el período en que las estaciones de Aguas Frías generan datos en tiempo real que sirven de referencia para la validación del modelo.

#### 4.3 Fase 2 — CMAQ anual 2025 (hindcast, obligatorio)

La Fase 2: corre CMAQ para los doce meses de 2025 usando ERA5 procesado con el preprocesador MCIP. Al no recalcular la dinámica desde cero, CMAQ es considerablemente más rápido que WRF-Chem para períodos largos, y los doce meses se ejecutan en cuatro bloques trimestrales con cinco días de spin-up por bloque.

El mecanismo CB6r5 y el módulo AERO7 son los indicados para esta fase. CB6r5 está desarrollado para química $NO_x$-COV en contextos de mezcla vehicular e industrial; AERO7 incluye la especiación de $PM_{2.5}$ que permite comparar directamente con los datos de la estación fija de Aguas Frías. Los doce meses producen la serie horaria completa para calcular percentiles P98 y P99 con solidez estadística.

| Criterio | Fase 1 — may.–jun. 2026 (61 días) | Fase 2 — año 2025 completo |
|---|---|---|
| Tipo de configuración | Pronóstico (prospectivo) | Hindcast (retrospectivo) |
| Modelo principal | WRF-Chem (meteorología + química acopladas) | CMAQ con ERA5 vía MCIP |
| Temporadas climáticas cubiertas | Transición seca–lluviosa (1 temporada) | Ambas temporadas secas y lluviosas del año |
| P98/P99 Res. 2254/2017 | Base estadística parcial | **Base estadística sólida** |

## .5 Gestión del inventario de emisiones y supuestos técnicos

El inventario de emisiones es el insumo que más determina la representatividad de los resultados y, al mismo tiempo, el de mayor incertidumbre en cualquier ejercicio de modelación. La oportunidad y completitud del inventario constituye una condición crítica para la calidad técnica del estudio. A continuación se describe cómo la Universidad gestiona cada tipo de fuente y qué ocurre si alguna información no está disponible.

| Tipo de fuente | Origen del dato | Responsable del insumo | Si el insumo no está disponible |
|---|---|---|---|
| Fuentes fijas industriales (ladrilleras, planta de asfalto) | Inventario de CORANTIOQUIA / declaraciones de emisión conforme a Res. 909/2008 | **CORANTIOQUIA** | La fuente se excluye del escenario. La exclusión se documenta con análisis de efecto sobre la representatividad. |
| Fuentes difusas (vías destapadas, quemas) | Inventario de CORANTIOQUIA con factores AP-42 Secc. 13.2 si se suministran datos de actividad | **CORANTIOQUIA / CTB con datos recibidos** | Se excluyen con documentación. No modifica el valor cotizado. |
| Fuentes móviles (tráfico pesado) | Inventario de CORANTIOQUIA con Tráfico Promedio Diario (TPD) por vía y tipo de vehículo + factores de emisión de referencia internacional | **CORANTIOQUIA (dato de TPD)** | **Si el TPD no está disponible, el escenario E2 queda sin esa contribución. Ver Anexo A para el levantamiento en campo.** |

**Compromiso de trazabilidad**

Cuando un insumo no esté disponible, la Universidad documentará la limitación y su efecto sobre la representatividad del resultado. Esta condición no limita la ejecución de la propuesta, pero sí define el alcance interpretativo del escenario correspondiente. El informe técnico final indicará explícitamente qué fuentes están incluidas en cada escenario, con qué datos y bajo qué supuestos.

## 6. Escenarios de modelación E0–E3

Los cuatro escenarios se ejecutan sobre el dominio D03 —Altavista, 1 km— en ambas fases. Con el fin de asegurar la interpretabilidad de los escenarios, cada uno requiere que las fuentes correspondientes estén representadas en el inventario. Si alguna fuente no tiene datos disponibles, el escenario se produce sin esa contribución y la limitación se documenta.

| Escenario | Nombre | Fuentes incluidas | Condición sobre inventario |
|---|---|---|---|
| **E0** | **Línea base — estado actual** | Todas las fuentes disponibles en el inventario: fuentes fijas industriales, difusas, naturales y móviles si hay datos de TPD. | Si falta alguna fuente por ausencia en el inventario, se excluye y se documenta con análisis de efecto. |
| **E1** | **Solo industria** | Clúster industrial de Aguas Frías: ladrilleras El Noral, Altavista, El Diamante, Las Mercedes, Delta, Alfarera Buena Vista y Asfaltos Medellín. Se excluyen tráfico y fuentes difusas. | Requiere inventario de fuentes fijas de CORANTIOQUIA. |
| **E2** | **Solo fuentes móviles** | Tráfico pesado en vías del corregimiento: volquetas, camiones, buses y maquinaria. Requiere datos de Tráfico Promedio Diario —TPD— por vía y tipo de vehículo. | **Si los datos de TPD no han sido identificados en fuentes disponibles con el nivel de desagregación requerido, este escenario queda limitado. Ver Anexo A.** |
| **E3** | **Con BPI aplicadas** | Fuentes industriales operando con Buenas Prácticas de Ingeniería: reducción de emisiones fugitivas, corrección de alturas de chimenea, mejora de combustibles. Reducción estimada del 10 al 30% por fuente según compromisos C.2 del Pacto. | Requiere inventario de fuentes fijas y factores de reducción BPI acordados en el Pacto de Cumplimiento. |

## 7. Productos y entregables

Todos los productos se entregan para el dominio D03 —Altavista, 1 km—, georreferenciados en MAGNA-SIRGAS/CTM-12 o en el sistema de referencia que CORANTIOQUIA defina para el proyecto, en formatos editables y con los metadatos suficientes para uso en procesos de licenciamiento y seguimiento del Pacto. Los productos georreferenciados requieren la compatibilidad de los formatos de salida de CMAQ y WRF-Chem con las herramientas SIG de CORANTIOQUIA; esta compatibilidad se verificará con el equipo técnico de la Corporación al inicio del proyecto.

| Producto | Descripción | Fase | Formato |
|---|---|---|---|
| Informe de configuración y puesta en marcha | Documentación de la cadena de modelación: dominios, parametrizaciones, inventario utilizado con fuentes incluidas y excluidas, condiciones de frontera y supuestos técnicos adoptados. | 1+2 | PDF / docx |
| Mapas de concentración por escenario (E0–E3) | Concentración media diaria y horaria de $PM_{2.5}$, $PM_{10}$, $NO_2$, $SO_2$ y $O_3$ en D03 para los cuatro escenarios. Se indica explícitamente cuáles fuentes están incluidas en cada escenario. | 1+2 | GeoTIFF / shapefile |
| Mapas de contribución diferencial | Diferencia espacial E0–E1 (industria, condicionado a inventario), E0–E2 (tráfico, condicionado a inventario) y E0–E3 (escenario BPI, condicionado a inventario), en concentración absoluta y como porcentaje del total. | 1+2 | GeoTIFF / xlsx |
| Análisis de excedencias | Días en que cada escenario supera los estándares de la Res. 2254/2017. Por contaminante. | 2 | xlsx / PDF |
| Fichas de receptores sensibles | Concentración modelada E0–E3 en centros poblados. | 1+2 | PDF / shapefile |
| Tablas de cumplimiento Res. 2254/2017 | Percentiles P98 y P99 simulados para E0–E3 comparados con los niveles máximos permisibles. Indica cumplimiento o excedencia por escenario y contaminante. | 2 | xlsx / PDF |

## 8. Valor de la propuesta

El valor total ofertado para los cuatro componentes del alcance principal —Ítems 9, 7, 2 y 4 del TDR— es de ciento cincuenta y cuatro millones de pesos ($154.000.000 COP), sin incluir IVA. El valor ofertado se mantiene por debajo del presupuesto máximo oficial definido para el proceso.

| Ítem TDR | Componente | Valor (COP) |
|---|---|---|
| **Ítem 9** | Fase 2 — CMAQ anual 2025 (hindcast, obligatorio) | **$58.000.000** |
| Ítem 7 | Fase 1 — WRF-Chem mayo–junio 2026 (pronóstico, Opción B) | **$63.000.000** |
| Ítem 2 y 4 | Procesamiento datos meteorológicos para ambas fases | **$33.000.000** |
| | **TOTAL PROPUESTA PRINCIPAL** | **$154.000.000** |
| **Anexo A** | Inventario de fuentes móviles — ítem adicional, no incluido en el valor principal | **$58.500.000** |

Los valores están expresados en pesos colombianos y no incluyen IVA. El valor ofertado es fijo para los componentes descritos. Cualquier componente adicional se cotizará mediante documento separado.

## 9. Condiciones técnicas, responsabilidades y exclusiones

**Responsabilidades de CORANTIOQUIA y la CIS**

- Suministrar el inventario de emisiones de fuentes fijas antes del inicio. La oportunidad y completitud del inventario constituye una condición crítica para la calidad del estudio.
- Facilitar el acceso a los datos de las estaciones de Aguas Frías para el período de validación de la Fase 1 (mayo–junio 2026) y para la serie completa de 2025 (Fase 2).
- Informar, antes del inicio del contrato, si dispone de datos de Tráfico Promedio Diario para las vías internas del corregimiento con el nivel de desagregación requerido. Esa información determina si el escenario E2 se ejecuta dentro del valor cotizado o requiere el Anexo A.
- Designar un interlocutor técnico con capacidad de respuesta en no más de cinco días hábiles para consultas del equipo durante la ejecución del proyecto.

**Responsabilidades de la Universidad de San Buenaventura Medellín — CTB**

- Ejecutar la cadena de modelación con los estándares técnicos descritos en esta propuesta y en la documentación de referencia de WRF-Chem y CMAQ.
- Documentar en el informe técnico todas las decisiones de configuración, los supuestos del inventario, las fuentes excluidas y el efecto potencial de cada exclusión sobre los resultados.
- Mantener confidencialidad sobre los datos de inventario de emisiones y los resultados intermedios hasta la aprobación formal del informe por parte de CORANTIOQUIA.

### Alcance y límites técnicos de los resultados de modelación

Desde una perspectiva técnica responsable, la Universidad reconoce que los resultados de modelación no sustituyen la medición directa. Son estimaciones cuantitativas construidas a partir de inventarios, campos meteorológicos y observaciones disponibles, y deben leerse junto con sus supuestos, validaciones y límites. La modelación puede estimar concentraciones, patrones espaciales, escenarios y diferencias relativas entre situaciones de emisión, pero no atribuye responsabilidades jurídicas, no sustituye decisiones de la autoridad ambiental competente y no equivale a medición acreditada de calidad del aire.

La evaluación de desempeño estadístico —sesgo fraccional, error cuadrático normalizado, fracción dentro de un factor de dos, coeficiente de correlación— que se entrega como producto obligatorio permite cuantificar la desviación del modelo respecto a lo observado, y debe acompañar la lectura de cualquier resultado para contextualizarlo correctamente.

### Exclusiones explícitas

- Campaña de monitoreo de calidad del aire con equipos acreditados — Ítem 1 del TDR. No incluida en esta propuesta.
- Muestreo isocinético y caracterización de fuentes fijas y difusas — Ítem 3. No incluido.
- Análisis químico de filtros para especiación de material particulado — Ítem 5. No incluido.
- Opción A de modelación integrada WRF-Chem + CMAQ simultáneos — Ítem 6. No incluida.
- Inventario de emisiones de fuentes móviles cuando CORANTIOQUIA no disponga de datos de TPD con nivel de desagregación suficiente. Presentado en el Anexo A como componente independiente.

- Producción o validación del inventario de fuentes fijas. La Universidad utiliza el inventario suministrado por CORANTIOQUIA; no realiza mediciones propias de emisión dentro del valor cotizado.

# ANEXO A

Cotización independiente — Inventario de emisiones de fuentes móviles

Este Anexo es un componente completamente independiente de la propuesta principal. Su valor de $58.500.000 COP no está incluido en los $154.000.000 COP ofertados. La contratación de este Anexo no es condición para ejecutar los demás componentes, y requiere una orden de inicio independiente.

**Por qué se presenta como componente independiente**

El tráfico pesado en Altavista —volquetas de cantera, camiones de carga, maquinaria— es una fuente relevante de $PM_{10}$, $PM_{2.5}$ y $NO_x$. Para incorporarla al modelo con el nivel de rigor técnico que exige la propuesta, se requieren datos de Tráfico Promedio Diario desagregados por tipo de vehículo en las vías internas del corregimiento. Esos datos no han sido identificados en las fuentes públicas consultadas durante la preparación de esta propuesta, o no se encuentran disponibles con el nivel de desagregación requerido para alimentar el modelo.

Si CORANTIOQUIA dispone de esa información, la Universidad la incorpora al escenario E2 dentro del valor principal. Si no existe con la desagregación necesaria, el levantamiento en campo es la alternativa metodológica. Construirlo de forma rigurosa requiere entre tres y cuatro semanas de trabajo de campo que no son compatibles con el cronograma principal sin comprometer la calidad del resto del estudio. Por eso se presenta aquí como opción independiente, para que CORANTIOQUIA decida con información completa.

**Alcance del levantamiento de campo**

- Reconocimiento vial y definición de puntos de aforo en accesos a canteras, ladrilleras y planta de asfalto del clúster de Aguas Frías (entre ocho y diez puntos).
- Aforos vehiculares durante tres semanas con cobertura de días hábiles, sábado y al menos un domingo, en horarios de mañana y tarde. Clasificación por tipo de vehículo: moto, auto ligero, bus, camión C2, camión C3, volqueta y maquinaria pesada.
- Cálculo del TPD por tipo de vehículo y por vía. Proyección al período de modelación de la Fase 1 (mayo–junio 2026).
- Construcción del inventario de emisiones de fuentes móviles usando factores de emisión de referencia internacional —como MOVES o metodologías equivalentes—, ajustados a las condiciones de información disponibles y al contexto colombiano.
- Entrega del inventario en formato compatible con SMOKE para incorporación directa a la cadena de modelación. Informe técnico con metodología, tasas de emisión por categoría y estimación de incertidumbre.

**Condiciones de activación y articulación**

Si CORANTIOQUIA suministra datos de TPD suficientes y con el nivel de desagregación requerido antes del inicio de la semana 3, el inventario de fuentes móviles se construye a partir de esos datos dentro del valor principal y el Anexo A no se activa. Si los datos no están disponibles y CORANTIOQUIA decide contratar este Anexo junto con la propuesta principal, el levantamiento inicia en la semana 1 en paralelo con la configuración de dominios, para que el inventario esté disponible antes de correr los escenarios con SMOKE.

SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.

Medellín, 28 de mayo de 2026 C-2026-05-0519

Señora
Ana Cecilia Caro Zapata
CORANTIOQUIA
acaro@corantioquia.gov.co
Medellin

Asunto: Cotización técnica y económica para el estudio de mercado “Prestación de servicios de modelación numérica de calidad del aire en el corregimiento de Altavista, municipio de Medellín”. E.M. 0319

Cordial saludo:

Agradecemos su amable invitación a presentar estudio de mercado para la “Prestación de servicios de modelación numérica de calidad del aire en el corregimiento de Altavista, municipio de Medellín”, para lo cual anexamos nuestra oferta.

Quedamos atentos para resolver cualquier inquietud que estime conveniente.

Responsable técnico: Liliana Giraldo Aguirre
Cargo: Director Comercial y Mercadeo
Correo electrónico: liliana.giraldo@sag-sa.com
Teléfono: 3107619779

Cordialmente,

ALEJANDRO AGUILAR AMAYA
Representante Legal
Servicios Ambientales y Geográficos S.A
NIT 811.015.529

SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.

# TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETO ..... 3
2. OBJETO Y ALCANCE TÉCNICO ..... 3
2.1 Ítems cotizados ..... 3
2.2 Diagrama general de la arquitectura técnica ..... 4
2.3 Dominios anidados ..... 4
3. METODOLOGÍA ..... 5
3.1 Componente meteorológico — fuente de datos ..... 5
3.2 Monitoreo de calidad del aire — Ítem 1 ..... 6
3.3 Estación meteorológica automática (EMA) — Ítem 2 ..... 6
3.4 Caracterización de fuentes fijas y difusas — Ítem 3 ..... 7
3.5 Sondeo vertical / ERA5 — Ítem 4 ..... 7
3.6 Especiación química de filtros — Ítem 5 ..... 7
3.7 Modelación numérica — Opciones M1, M2 y M3 ..... 8
3.7.1 Preprocesadores alineados con el TDR ..... 8
3.8 Fase 1 — Diagnóstico rápido ..... 9
3.9 Fase 2 — Hindcast anual 2025 ..... 9
3.10 Escenarios de emisiones obligatorios (compromiso C.5) ..... 10
3.11 Validación estadística del modelo ..... 10
3.12 Postproceso y análisis ..... 11
4. MARCO NORMATIVO ..... 12
5. EQUIPO DE TRABAJO ..... 12
5.1 Estructura organizacional ..... 12
5.2 Roles y responsabilidades ..... 13
5.3 Capacidad de cómputo ..... 13
6. CRONOGRAMA ..... 14
6.1 Duración total por opción de modelación ..... 14
6.2 Bloques principales del cronograma ..... 15
6.3 Hitos de comunicación con CORANTIOQUIA ..... 16
6.4 Holguras y supuestos del cronograma ..... 16
7. ENTREGABLES ..... 17
7.1 Entregables Fase 1 ..... 17
7.2 Entregables Fase 2 ..... 17

7.3 Formatos técnicos ..... 18
7.4 Productos intermedios no entregados al cliente ..... 18
8. PREMISAS Y SUPUESTOS ..... 18
9. EXCLUSIONES ..... 19
11. CONFIDENCIALIDAD, MANEJO DE DATOS Y PROPIEDAD INTELECTUAL ..... 20
11.1 Confidencialidad ..... 20
11.2 Tratamiento de datos personales ..... 20
11.3 Propiedad intelectual de los entregables ..... 20
14. OFERTA ECONÓMICA ..... 21

SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.

# 1. OBJETO

Ejecutar la modelación numérica de calidad del aire del corregimiento de Altavista, conforme al Términos de Referencia suministrados por el Cliente, y generar los insumos técnicos requeridos por el compromiso C.5 del Pacto de Cumplimiento, mediante un esquema técnicamente justificado en dos fases:

- Fase 1 — Diagnóstico rápido: corrida de pronóstico tipo sobre un período representativo de aproximadamente dos meses, más holguras de cómputo y validación.
- Fase 2 — Estudio anual robusto: hindcast retrospectivo del año calendario 2025 completo, con percentiles estadísticamente robustos.

El tiempo de ejecución es propuesto por SAG y se alinea con la duración del proyecto CIS–CORANTIOQUIA en curso. La aclaración emitida por la Autoridad mediante correo del 14 de mayo de 2026 confirma que no existen topes límites para la duración propuesta. El detalle del cronograma se presenta en la sección 6.

La Fase 1 simula un período representativo del orden de 61 días continuos y entrega resultados preliminares útiles para validar la cadena de modelación de extremo a extremo y para alimentar audiencias intermedias del Pacto. No obstante, una serie de 61 días resulta estadísticamente limitada para calcular los percentiles P98 y P99 anuales exigidos por la Resolución 2254 de 2017.

La Fase 2 corrige esta limitación al cubrir el año calendario 2025 completo (8.760 horas), apoyada en datos ya consolidados: reanálisis meteorológico ERA5, observaciones de las estaciones de Aguas Frías e inventario de emisiones suministrado por CORANTIOQUIA. El resultado es evidencia anual robusta para sustentar técnicamente el compromiso C.5 ante el Tribunal.

Las dos fases son complementarias: la Fase 1 no sustituye estadísticamente a la Fase 2. Pueden contratarse juntas o por separado según la disponibilidad presupuestal de la Autoridad, manteniendo en ambos casos la consistencia técnica de la cadena de modelación.

# 2. OBJETO Y ALCANCE TÉCNICO

## 2.1 Ítems cotizados

La propuesta cubre el alcance del Términos de Referencia bajo una estructura de paquete base de modelación más opcionales que se cotizan de forma independiente al costo de la modelación, alineada con la aclaración de CORANTIOQUIA del 14 de mayo de 2026. La Tabla 2.1 resume los ítems cotizados.

***Tabla 2.1. Ítems cotizados — paquete base de modelación y opcionales.***

| Bloque | Concepto | Responsable técnico |
|---|---|---|
| Modelación M1 | Solo CMAQ — Fase 1 + Fase 2 + escenarios E0–E3 | Modelador líder + apoyo SAG |

| | | |
|---|---|---|
| Modelación M2 | Solo WRF-Chem — Fase 1 + Fase 2 + escenarios E0–E3 | Modelador líder + apoyo SAG |
| Modelación M3 | WRF-Chem + CMAQ (cadena combinada) — Fase 1 + Fase 2 + escenarios E0–E3 | Modelador líder + apoyo SAG |
| Ítem 1 TDR | Monitoreo de aire (puntos nuevos) | Laboratorio acreditado IDEAM (subcontrato) |
| Ítem 2 TDR | Estación meteorológica automática (EMA) | SAG + proveedor instrumentación |
| Ítem 3 TDR | Muestreo fuentes fijas y difusas (gases Res. 909 + triplicados IDEAM) | Laboratorio acreditado IDEAM |
| Ítem 4 TDR | Sondeo vertical (radiosonda) o procesamiento ERA5 | Modelador / proveedor sondeo |
| Ítem 5 TDR | Especiación química de filtros | Laboratorio acreditado IDEAM |
| Opcional | Actualización del inventario de emisiones (si la Autoridad lo solicita) | Coordinador + ingeniero ambiental + laboratorio |
| Insumo | Hardware adicional 20 TB (equipo de respaldo SAG) | SAG |
| Insumo | Licencia de software para el proyecto | SAG |
| Add-on | Defensa técnica en Tribunal (retainer + bloques) | Director SAG + modelador líder |

Las tres opciones de modelación (M1, M2 y M3) son alternativas paralelas e independientes: CORANTIOQUIA selecciona una de las tres según sus prioridades técnicas y presupuestales.

## 2.2 Diagrama general de la arquitectura técnica

El diagrama representa el flujo técnico de extremo a extremo: reanálisis meteorológico (ERA5) y observaciones de superficie alimentan los preprocesadores, los cuales producen los campos meteorológicos y de emisiones para los modelos numéricos (WRF-Chem y/o CMAQ, según la opción contratada, con modelos regulatorios complementarios cuando el análisis específico lo requiera). Las salidas del modelo pasan por el postproceso geoespacial y estadístico, generando los entregables por escenario E0 a E3.

*[Figura 2.2. Arquitectura técnica de modelación — flujo desde entradas hasta entregables por escenario]*

## 2.3 Dominios anidados

La arquitectura de modelación emplea cuatro dominios anidados con relación de anidamiento 1:3, valor recomendado por la documentación de WRF y CMAQ para garantizar la estabilidad numérica del esquema. La Tabla 2.3 resume las características de cada dominio.

***Tabla 2.3. Dominios anidados — resolución, extensión y cobertura.***

| Parámetro | D00 Macro-regional | D01 Regional | D02 Valle de Aburrá | D03 Altavista |
|---|---|---|---|---|
| Resolución Δx=Δy | 27 km | 9 km | 3 km | 1 km — dominio objetivo |
| Celdas | 60×60 | 60×60 | 60×60 | 60×60 |
| Extensión | ~1.620×1.620 km | ~540×540 km | ~180×180 km | ~60×60 km |
| Cobertura | Norte de Sudamérica + Caribe | Noroccidente colombiano | Área Metropolitana + municipios aledaños | Corregimiento de Altavista (9 veredas) |
| Tipo de anidamiento | Padre (recibe condiciones globales) | Progenie D00 / Padre D02 | Progenie D01 / Padre D03 | Progenie D02 — dominio objetivo |

La proyección cartográfica adoptada es Mercator con truelat1 = 0° y stand_lon = -75,62°. La región del proyecto se ubica en zona ecuatorial (Colombia, 0°–12° N), latitud para la cual la documentación de WRF y CMAQ recomienda Mercator por minimizar la distorsión cerca del ecuador. La proyección Lambert Conformal Conic presenta distorsiones angulares y de área importantes a estas latitudes.

El Términos de Referencia referencia Lambert Conformal Conic para los tres dominios. SAG propone Mercator como mejora técnica justificada para zona ecuatorial. La decisión final puede revisarse en común acuerdo con CORANTIOQUIA en la reunión técnica de inicio.

El centro del dominio D03 se define durante la modelación por el modelador líder, con base en un análisis topográfico fino y la ubicación de las fuentes industriales identificadas, asegurando la cobertura completa de las nueve veredas del corregimiento con un buffer mínimo.

La zona de relajación de fronteras (buffer) en los dominios progenie es N = 5 filas y columnas, conforme al estándar de la práctica recomendado por Jacobson (capítulo 21.1.11).

# 3. METODOLOGÍA

Esta sección describe la cadena técnica de modelación y las metodologías asociadas a cada ítem cotizado. Las decisiones operativas finas (esquemas físicos de WRF, mecanismos químicos, días específicos de spin-up, etc.) se definen con el modelador líder previo al arranque, con base en su revisión bibliográfica vigente y en las mejores prácticas reportadas por la comunidad WRF/CMAQ para terreno complejo tropical.

## 3.1 Componente meteorológico — fuente de datos

Las condiciones de frontera laterales en el dominio macro-regional D00 provienen del reanálisis ERA5 horario de Copernicus, con resolución 0,25° × 0,25°. En caso de que la disponibilidad operativa de Copernicus o la decisión del modelador líder lo aconsejen, se evalúan reanálisis equivalentes (GFS, MERRA-2 u otro) como respaldo.

Los datos meteorológicos locales empleados para la validación del modelo son la serie de la estación de Aguas Frías, la red SIATA del Valle de Aburrá cuando esté disponible y la EMA propia del proyecto si CORANTIOQUIA contrata el Ítem 2.

Los detalles operativos de inicialización (campos de vientos, concentraciones químicas iniciales, condiciones de frontera para los submodelos químicos, perfiles iniciales de temperatura, humedad y presión) se definen con el modelador líder previo al arranque.

## 3.2 Monitoreo de calidad del aire — Ítem 1

El Ítem 1 prevé como mínimo dos puntos nuevos de monitoreo, con ubicaciones sugeridas en sectores como El Corazón–El Morro o San Pablo (a confirmar con CORANTIOQUIA), que se suman a las dos estaciones operativas en Aguas Frías. La cobertura combinada (existente + nueva) provee la red de validación del modelo numérico y permite contrastar la heterogeneidad espacial del corregimiento.

El monitoreo lo ejecuta un laboratorio acreditado por el IDEAM para la matriz aire-ruido, conforme a la normativa nacional vigente. La Tabla 3.2 resume parámetros, métodos y resoluciones temporales.

***Tabla 3.2. Parámetros, métodos y resoluciones temporales del Ítem 1 (monitoreo).***

| Parámetro | Método | Monitor | Resolución |
|---|---|---|---|
| $PM_{10}$ | Gravimétrico Hi-Vol (EPA Method 2025) | Alto volumen con cabezal $PM_{10}$ | 24 h/muestra |
| $PM_{2.5}$ | EPA 40 CFR Part 50 / Res. 2254/2017 | BAM-1020 continuo o gravimétrico equivalente | Horaria |
| $NO_2$ | Quimioluminiscencia (EPA Method 20) | Analizador automático | Horaria |
| $SO_2$ | Fluorescencia UV (EPA Method 6C) | Analizador automático | Horaria |
| CO | NDIR (EPA Method 10) | Analizador automático | Horaria |
| $O_3$ | Fotometría UV (EPA Method 8) | Analizador automático | Horaria |

La duración prevista es de 18 días por punto en cada temporada climática (seca y húmeda). Todas las coordenadas se reportan en MAGNA-SIRGAS/CTM-12.

El alcance del Ítem 1 no incluye la especiación química de filtros ni el análisis de contaminantes no-criterio. La especiación se ofrece como un ítem independiente (ver ítem 5).

## 3.3 Estación meteorológica automática (EMA) — Ítem 2

La EMA registra como mínimo las variables velocidad y dirección del viento a 10 m, temperatura y humedad relativa a 2 m, presión atmosférica, radiación solar global y precipitación. La operación recomendada es de mínimo 12 meses, con un ideal de 18 meses para cubrir holgadamente ambas

temporadas climáticas. La transmisión de datos opera vía GPRS/4G en tiempo real, con respaldo local en el datalogger del equipo.

Por la topografía abrupta de Altavista, la representatividad espacial de una sola estación puede ser limitada. SAG plantea dos configuraciones cotizables: (i) una EMA principal en sitio representativo del corregimiento o (ii) una EMA principal más una EMA de respaldo en sitio de contraste topográfico.

## 3.4 Caracterización de fuentes fijas y difusas — Ítem 3

La caracterización de fuentes fijas y difusas se ejecuta bajo la Resolución 909 de 2008 y sus modificaciones (Res. 1309 de 2010 y Res. 2267 de 2018), particularmente el capítulo aplicable a hornos cerámicos y ladrilleras. La Tabla 3.4 resume los tipos de fuente, los parámetros analizados y los protocolos asociados.

***Tabla 3.4. Tipos de fuente, parámetros y protocolos del Ítem 3.***

| Tipo de fuente | Parámetros analizados | Comentarios |
|---|---|---|
| Chimeneas de ladrilleras y hornos (paquete completo) | PM total, $PM_{10}$, $NO_x$, $SO_2$, CO, HCl, HF según Res. 909/2008 | Triplicados (3 réplicas por chimenea) por protocolo IDEAM. Laboratorio acreditado IDEAM bajo Res. 909/2008. |
| Fuentes difusas (quemas, botaderos) | $PM_{10}$, $PM_{2.5}$, COVs totales, $NH_3$ u otros parámetros relevantes según el tipo de fuente | Método y procedimiento los define el laboratorio acreditado según la naturaleza de la fuente. |
| Vías destapadas y movimiento de tierras | $PM_{10}$, $PM_{2.5}$ | EPA AP-42, Sección 13.2 — fuentes fugitivas, u otra metodología equivalente reconocida internacionalmente. |

Los tiempos de laboratorio típicos son del orden de 30 a 45 días tras la finalización del muestreo en campo. La salida del laboratorio se entrega como tasas de emisión en g/s y t/año, con su incertidumbre asociada.

## 3.5 Sondeo vertical / ERA5 — Ítem 4

El Ítem 4 contempla dos modalidades cotizables, no excluyentes según la decisión técnica final:

- Modalidad (a) — Procesamiento del reanálisis ERA5 0,25° × 0,25° (u otro reanálisis equivalente) como alternativa principal recomendada por su consistencia temporal y cobertura espacial.
- Modalidad (b) — Radiosonda con un mínimo de cuatro lanzamientos por temporada climática (dos en jornada de mañana y dos en jornada de tarde) u otra distribución equivalente. Esta modalidad implica gestión de importación de sondas, trámites aduaneros y nacionalización, con un tiempo previo estimado de 6 a 8 semanas.

## 3.6 Especiación química de filtros — Ítem 5

La especiación química de filtros se ejecuta sobre las muestras de $PM_{2.5}$ y $PM_{10}$ recolectadas en el marco del Ítem 1. El análisis lo desarrolla un laboratorio acreditado por el IDEAM (o laboratorio con acreditación internacional equivalente reconocida por el IDEAM). La Tabla 3.6 resume los análisis previstos.

***Tabla 3.6. Análisis de especiación química previstos en el Ítem 5.***

| Análisis | Método | Fracción |
|---|---|---|
| Carbono orgánico y elemental (OC/EC) | NIOSH 5040 / protocolo IMPROVE u otro equivalente | $PM_{2.5}$ |
| Iones mayores ($SO_4^{2-}$, $NO_3^-$, $NH_4^+$, $Cl^-$) | Cromatografía iónica EPA IO-4.2 o método equivalente | $PM_{2.5}$ y $PM_{10}$ |
| Metales (Pb, Cd, As, Ni, Fe, Mn, Zn, Cu) | ICP-MS o ICP-OES (EPA Method 200.8) o método equivalente | $PM_{2.5}$ y $PM_{10}$ |

Se prevé un mínimo de 12 filtros por punto de monitoreo. Los tiempos de laboratorio típicos para esta especiación son del orden de 8 a 10 semanas tras el envío de los filtros.

## 3.7 Modelación numérica — Opciones M1, M2 y M3

La propuesta ofrece tres opciones de modelación numérica, independientes y cotizadas por separado. CORANTIOQUIA selecciona una de las tres según sus prioridades técnicas y presupuestales. La Tabla 3.7 las describe.

***Tabla 3.7. Opciones de modelación numérica — M1, M2 y M3.***

| Opción | Modelo(s) | Descripción |
|---|---|---|
| M1 — Solo CMAQ | CMAQ | Química offline alimentada con un reanálisis meteorológico procesado directamente. Más rápido y permite ejecutar múltiples escenarios de emisiones sin recalcular meteorología. |
| M2 — Solo WRF-Chem | WRF-Chem | Meteorología y química acopladas online. Adecuado para evaluar la interacción aerosol–clima. |
| M3 — WRF-Chem + CMAQ | WRF-Chem y CMAQ | Doble cadena en paralelo: WRF-Chem online + CMAQ offline con MCIP. Mayor riqueza de resultados, con mayor costo de cómputo y configuración. |

Las opciones físicas de WRF y los mecanismos químicos los define el modelador líder previo al arranque, con base en su revisión bibliográfica vigente y en las mejores prácticas reportadas para terreno complejo tropical.

### 3.7.1 Preprocesadores alineados con el TDR

El Términos de Referencia exige declarar los preprocesadores empleados en la cadena de modelación. La Tabla 3.7.1 describe cada preprocesador, su función y la implementación prevista por SAG.

***Tabla 3.7.1. Preprocesadores alineados con el TDR.***

| Preprocesador | Usado por | Función | Implementación SAG |
|---|---|---|---|
| WPS | WRF-Chem | Interpolación del reanálisis meteorológico, topografía (SRTM u otra equivalente), uso de suelo (MODIS u otra base equivalente) sobre los cuatro dominios anidados. | Estándar — versión vigente. |
| MCIP | CMAQ | Conversión de salidas WRF al formato I/O API de CMAQ; genera los campos meteorológicos horarios para el modelo químico. | Estándar — versión vigente. |
| SMOKE u otra cadena equivalente | CMAQ | Especiación química y distribución espacio-temporal del inventario de emisiones sobre la grilla del modelo. | El modelador líder puede emplear SMOKE estándar o scripts propios equivalentes y trazables. La elección la confirma el modelador previo al arranque. |
| ICON / BCON | CMAQ | Condiciones iniciales y de frontera químicas (a partir de MOZART, CAM-Chem, WRF-Chem D01 u otra fuente equivalente). | Estándar — versión vigente. |
| AERMET + AERMAP | AERMOD (modelo regulatorio complementario) | Preprocesamiento de meteorología y terreno complejo para la escala local regulatoria. | Estándar EPA — empleado para validación regulatoria local cuando el análisis específico lo requiera. |

## 3.8 Fase 1 — Diagnóstico rápido

La Fase 1 simula un período representativo de aproximadamente 61 días continuos del régimen climático local, con un spin-up adecuado previo (días específicos a definir por el modelador líder, conforme a las mejores prácticas para terreno complejo tropical).

La configuración es tipo pronóstico y utiliza un reanálisis meteorológico ya consolidado (ERA5 u otro equivalente).

Los objetivos de la Fase 1 son: validar la cadena de modelación de extremo a extremo, calibrar el inventario de emisiones contra las observaciones disponibles y entregar un diagnóstico preliminar útil para audiencias intermedias del Pacto.

Limitación estadística: aproximadamente 1.464 horas de modelo resultan insuficientes para los percentiles P98 y P99 anuales exigidos por la Resolución 2254 de 2017. La Fase 2 corrige esta limitación.

## 3.9 Fase 2 — Hindcast anual 2025

La Fase 2 consiste en un hindcast: simulación retrospectiva del año calendario 2025 completo (1 de enero a 31 de diciembre de 2025, 365 días equivalentes a 8.760 horas) utilizando datos meteorológicos y de emisiones ya consolidados del mismo período. Esta extensión permite calcular

los percentiles P98 y P99 anuales exigidos por la Resolución 2254 de 2017 sobre una serie estadísticamente robusta.

La configuración técnica prevista es:

- Modelo: el seleccionado en la opción contratada (M1, M2 o M3), en configuración idéntica a la Fase 1 para preservar la consistencia entre fases.
- Meteorología: ERA5 horario 0,25° (u otro reanálisis equivalente) procesado para los doce meses del 2025.
- Inventario: inventario base CORANTIOQUIA con factores de variación mensual y horaria aplicados mediante los scripts del modelador líder.
- Estrategia de corrida: cuatro bloques trimestrales (enero–marzo, abril–junio, julio–septiembre, octubre–diciembre). El spin-up por bloque se define según las recomendaciones del modelador líder.

## 3.10 Escenarios de emisiones obligatorios (compromiso C.5)

Los escenarios obligatorios del compromiso C.5 se ejecutan en el dominio D03 (1 km) tanto en Fase 1 como en Fase 2. La Tabla 3.10 los describe.

***Tabla 3.10. Escenarios de emisiones obligatorios — compromiso C.5.***

| Escenario | Nombre | Fuentes incluidas | Propósito regulatorio |
|---|---|---|---|
| E0 | Línea base | Todas las fuentes activas simultáneamente (industria + tráfico pesado + difusas). | Diagnóstico actual. Base de referencia. Comparación con Res. 2254/2017. |
| E1 | Industria | Solo clúster industrial del corregimiento: ladrilleras El Noral, Altavista, El Diamante, Las Mercedes, Delta, Alfarera Buena Vista y planta Asfaltos Medellín, entre otras. | Contribución del sector industrial. Insumo para el Plan de Descontaminación (C.7). |
| E2 | Móviles | Solo tráfico pesado (volquetas, camiones, buses, maquinaria) más vías destapadas con material fugitivo asociado. | Contribución del tráfico. Insumo para los operativos del compromiso C.8. |
| E3 | BPI aplicadas | Industria operando con Buenas Prácticas de Ingeniería (alturas de chimenea corregidas, reducción de emisiones fugitivas, mejora de combustibles). Reducción estimada del orden de 10% a 30%. | Mejora proyectada. Base técnica del Plan de Descontaminación (C.7) y evaluación del Pacto. |

Inventario base: si la Autoridad indica que NO se actualiza el inventario, los escenarios E0 a E3 se trabajan con el inventario base de CORANTIOQUIA. Si la Autoridad solicita la actualización del inventario, esta se cotiza por separado como ítem adicional.

## 3.11 Validación estadística del modelo

Datos de referencia para la validación:

- Estación $PM_{2.5}$ fija de Aguas Frías (serie continua).
- Estación $PM_{10}$ de campaña de Aguas Frías (períodos discretos).
- Puntos nuevos del Ítem 1 (ubicaciones sugeridas en sectores como El Corazón–El Morro o San Pablo, a confirmar con CORANTIOQUIA) si la Autoridad contrata el Ítem 1.
- Red SIATA del Valle de Aburrá u otra red institucional equivalente — validación complementaria de tendencias regionales cuando se obtenga acceso.

La validación se ejecuta con las métricas EPA Model Performance Evaluation resumidas en la Tabla 3.11.

***Tabla 3.11. Métricas EPA Model Performance Evaluation y criterios de aceptación.***

| Métrica | Definición | Criterio PM | Criterio gases |
|---|---|---|---|
| FB (Fractional Bias) | $2\cdot(\bar{M}-\bar{O}) / (\bar{M}+\bar{O})$ | $\lvert FB\rvert \leq 0{,}60$ (±60%) | $\lvert FB\rvert \leq 0{,}67$ (±67%) |
| NMSE | $\text{media}((M-O)^2) / (\bar{M}\cdot\bar{O})$ | NMSE ≤ 3 | NMSE ≤ 4 |
| FAC2 | Fracción de puntos con $0{,}5 \leq M/O \leq 2$ | FAC2 ≥ 0,50 | FAC2 ≥ 0,50 |
| $r^2$ | Coeficiente de determinación lineal | $r^2 \geq 0{,}40$ | $r^2 \geq 0{,}40$ |

Aclaración importante: la propuesta contempla la revisión estadística con las métricas EPA, pero no incluye la ejecución de múltiples iteraciones del modelo hasta lograr el cumplimiento perfecto de los criterios. Si la validación no alcanza los umbrales en la primera corrida, se documentan las desviaciones y se acuerdan los criterios de aceptación con CORANTIOQUIA antes de proceder al postproceso.

## 3.12 Postproceso y análisis

Productos analíticos previstos:

- Mapas de concentración media diaria y horaria por contaminante y por escenario, en el dominio D03, entregados en formato GeoTIFF y shapefile sobre MAGNA-SIRGAS/CTM-12.
- Mapas de contribución por fuente $\Delta E = E0 - E1$, $E0 - E2$ y $E0 - E3$ por vereda.
- Análisis de excedencias horarias y diarias frente a la Resolución 2254 de 2017.
- Comparaciones indicativas frente a las guías OMS 2021.
- Fichas de receptores sensibles (centros poblados, escuelas, centros de salud, entre otros) — condicionadas a que CORANTIOQUIA suministre la información catastral oficial.
- Tablas de cumplimiento P98 y P99 por escenario y contaminante.

- Rosas de contaminación por vereda — dirección y magnitud del transporte de contaminantes para el escenario E0 (línea base), con resolución horaria agrupada en 16 sectores de viento, para cada una de las nueve veredas del corregimiento.
- Análisis de incertidumbre del modelo, de carácter descriptivo.

# 4. MARCO NORMATIVO

La propuesta se enmarca en la normativa colombiana vigente para calidad del aire y emisiones, complementada con guías técnicas internacionales reconocidas. Las referencias concluyentes para el análisis de cumplimiento son las normas nacionales; las guías internacionales se usan únicamente con carácter indicativo.

- Resolución 2254 de 2017 (MADS) — Niveles máximos permisibles de calidad del aire. Referencia normativa concluyente.
- Resolución 909 de 2008 (MADS) — Estándares de emisión de fuentes fijas, con sus modificaciones (Res. 1309 de 2010 y Res. 2267 de 2018).
- Decreto 948 de 1995 (MADS) — Prevención y control de la contaminación atmosférica.
- Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Res. 650 de 2010, Res. 2154 de 2010 del IDEAM).
- Protocolo para el Control y Vigilancia de Fuentes Fijas (Res. 760 de 2010, Res. 2153 de 2010, Res. 1632 de 2012, Res. 935 de 2011 del IDEAM).
- Guías OMS 2021 — Air Quality Guidelines Global Update (referencia comparativa indicativa).
- Guía AERMOD — US EPA (2018), EPA-454/B-03-001.
- WRF-Chem User's Guide — NCAR/UCAR, versión vigente.
- CMAQ Technical Documentation — US EPA CMAS Center, versión vigente.

# 5. EQUIPO DE TRABAJO

## 5.1 Estructura organizacional

La ejecución del proyecto se organiza bajo SAG-SA como contratista principal, con una dirección técnica que articula tres capas: el equipo SAG (modelador de apoyo, coordinador administrativo y de campo, profesional SIG), el modelador líder externo persona natural —que ejecuta la cadena WRF-Chem/CMAQ y aporta el equipo principal de cómputo— y los subcontratos especializados con laboratorios acreditados por el IDEAM para los Ítems 1, 3 y 5. La infraestructura computacional opera con dos máquinas en paralelo.

*[Figura 5.1. Organigrama del proyecto Altavista — SAG-SA, modelador líder externo, equipo SAG y subcontratos]*

## 5.2 Roles y responsabilidades

La Tabla 5.2 resume los roles del equipo, su naturaleza contractual, la dedicación prevista y la función principal de cada uno.

***Tabla 5.2. Roles, dedicación y funciones principales del equipo del proyecto.***

| Rol | Tipo | Dedicación | Función principal |
|---|---|---|---|
| Director del proyecto | SAG | 25% de dedicación (hombre-mes) | Interlocución con CORANTIOQUIA, hitos contractuales y aprobación de entregables. |
| Modelador líder | Externo (persona natural) | Tiempo completo en Fase 1 y Fase 2 | Configuración y ejecución del modelo; decisiones técnicas de fondo de la cadena WRF-Chem/CMAQ. |
| Modelador de apoyo (ingeniero ambiental) | SAG | Tiempo completo en Fase 1 y Fase 2 | Apoyo operativo, validación e integración con la normativa nacional. |
| Coordinador administrativo y de campo | SAG | Dedicación variable | Administración del contrato, trámites con la entidad pública y coordinación de campo. |
| Profesional SIG | SAG | Tiempo variable, mayor carga en el postproceso | Postproceso geoespacial y generación de mapas en MAGNA-SIRGAS/CTM-12. |
| Coordinador de monitoreo | Laboratorio acreditado IDEAM (subcontrato) | Campañas del Ítem 1 | Operación de campo, análisis de laboratorio e informe del Ítem 1. |

## 5.3 Capacidad de cómputo

El Términos de Referencia exige declarar los equipos y el software empleados en la modelación. SAG dispone de dos máquinas de cómputo que operan en paralelo durante el proyecto: una máquina principal aportada por el modelador líder externo (que asume el riesgo de cómputo) y una estación SAG que opera como respaldo y soporte. La Tabla 5.3 describe ambas máquinas; la Tabla 5.4 lista el software de modelación a utilizar.

***Tabla 5.3. Capacidad de cómputo — equipos principal y de respaldo.***

| Componente | Equipo principal — Modelador líder | Equipo respaldo y paralelo — SAG |
|---|---|---|
| Tipo de máquina | Equipo de trabajo o servidor del modelador líder externo. | Estación de trabajo SAG, de uso interno. |
| Procesador | 28 núcleos físicos (arquitectura por confirmar con el modelador líder). | AMD Ryzen serie 9000 — 32 núcleos virtuales. |
| Almacenamiento | 10 TB locales. | Almacenamiento base, con ampliación a 10 TB adicionales si se requiere para la Fase 2 anual. |
| Sistema operativo | Linux (distribución por confirmar). | Linux (distribución por confirmar). |

| | | |
|---|---|---|
| Función en el proyecto | Equipo principal — ejecuta las corridas de WRF y/o CMAQ en Fase 1 y Fase 2. | Equipo de respaldo y soporte — ejecuta tareas paralelas (postproceso GIS, especiación, validación). |
| Conexión a red | Internet ≥ 10 Mbps | Internet ≥ 10 Mbps. |
| Política de nube | No se utiliza infraestructura en la nube; todo el cómputo es local. | No se utiliza infraestructura en la nube; todo el cómputo es local. |

La Tabla 5.4 lista el software de modelación previsto. Las versiones específicas las confirma el modelador líder previo al arranque, consistentes con las recomendaciones vigentes de NCAR/UCAR y del US EPA CMAS Center.

***Tabla 5.4. Software de modelación previsto.***

| Software | Versión | Notas |
|---|---|---|
| WRF-Chem | Versión vigente NCAR/UCAR, por confirmar con el modelador líder. | Aplica para las Opciones M2 y M3. |
| CMAQ | Versión ≥ 5.4 del US EPA CMAS Center, por confirmar con el modelador líder. | Aplica para las Opciones M1 y M3. |
| WPS, MCIP, ICON/BCON, AERMET, AERMAP | Versiones vigentes compatibles con el WRF y el CMAQ seleccionados. | |
| Scripts del modelador para inventario y especiación | Cadena propia equivalente a SMOKE, u otra trazable. | Documentada en la metodología interna del modelador líder. |
| GIS y postproceso | QGIS, GDAL y Python (xarray, salem, wrf-python u otras librerías equivalentes). | Para MAGNA-SIRGAS/CTM-12, GeoTIFF y shapefile. |

# 6. CRONOGRAMA

El cronograma detallado, formulado y editable, se entrega como archivo adjunto Cronograma_Altavista_v0.xlsx. La presente sección sintetiza los aspectos relevantes para la lectura técnica de la propuesta: la duración total prevista por opción de modelación, los bloques principales con sus dependencias, los hitos de comunicación con CORANTIOQUIA y la lógica de holguras incorporada al diseño.

La unidad de planeación es el bloque mensual, con cuatro semanas por mes. Las fechas absolutas no se fijan en la propuesta: el inicio del trabajo técnico queda condicionado al perfeccionamiento del contrato, conforme a la aclaración de la Autoridad del 14 de mayo de 2026.

## 6.1 Duración total por opción de modelación

Cada opción de modelación tiene una duración propia, alineada con la complejidad del modelo y con los meses de dedicación previstos para el Director y el Modelador en la propuesta económica. La Tabla 6.1 resume las duraciones totales y los hitos de entrega de cada opción.

*Tabla 6.1. Duración total y entregas principales por opción de modelación.*

| Opción | Duración total | Meses Director y Modelador SAG | Entrega Fase 1 | Entrega final integrada |
|---|---|---|---|---|
| M1 — Solo CMAQ | 8 meses (32 semanas) | 8 meses | Mes 4 / Semana 16 | Mes 8 / Semana 32 |
| M2 — Solo WRF-Chem | 10 meses (40 semanas) | 10 meses | Mes 4 / Semana 16 | Mes 10 / Semana 40 |
| M3 — WRF-Chem + CMAQ | 12 meses (48 semanas) | 12 meses | Mes 4 / Semana 16 | Mes 12 / Semana 48 |

La entrega de la Fase 1 (diagnóstico rápido) ocurre en el Mes 4, Semana 16, en las tres opciones. Esta coincidencia es deliberada: permite a CORANTIOQUIA evaluar el diagnóstico preliminar en el mismo punto del cronograma, con independencia de la opción contratada.

## 6.2 Bloques principales del cronograma

El cronograma se compone de siete bloques: dos núcleos técnicos (Fase 1 y Fase 2) que corren secuencialmente, un bloque administrativo de perfeccionamiento del contrato al inicio, un bloque de entregas y revisiones al cierre, y tres bloques condicionales que dependen de los opcionales contratados. La Tabla 6.2 resume cada bloque.

*Tabla 6.2. Bloques principales del cronograma — duración y aplicabilidad.*

| Bloque | Duración estimada | Cuándo aplica |
|---|---|---|
| 1. Perfeccionamiento del contrato (suscripción, garantías y pólizas, planes administrativos, trámites con entidad pública). | ≈ 4 semanas | Siempre, antes del arranque técnico. |
| 2. Gestión de importación, aduanas y nacionalización (radiosondas del Ítem 4 o EMA del Ítem 2 si se contratan). | ≈ 6–8 semanas | Solo si se contrata el Ítem 2 (EMA) o el Ítem 4 (radiosonda). Corre en paralelo con el perfeccionamiento. |
| 3. Muestreo de campo y laboratorio de fuentes con triplicados (Ítem 3). | ≈ 6–8 semanas tras el campo | Solo si se contrata el Ítem 3. Corre en paralelo con la modelación. |
| 4. Análisis de especiación química de filtros (Ítem 5). | ≈ 8–10 semanas tras el envío de filtros | Solo si se contrata el Ítem 5. Corre en paralelo con la modelación. |
| 5. Fase 1 — modelación de diagnóstico rápido (≈ 2 meses simulados más holguras). | ≈ 10–12 semanas | Núcleo técnico — aplica en las tres opciones. |
| 6. Fase 2 — modelación de hindcast anual (≈ 5 meses simulados más holguras). | ≈ 22–24 semanas en M2 y M3; comprimido en M1. | Núcleo técnico — aplica en las tres opciones. |
| 7. Entregas finales y revisiones con CORANTIOQUIA. | ≈ 4 semanas | Al cierre del proyecto. |

## 6.3 Hitos de comunicación con CORANTIOQUIA

La propuesta contempla los hitos de comunicación e interlocución técnica resumidos en la Tabla 6.3. Estos hitos sustentan la trazabilidad del avance ante la Autoridad y permiten ajustes oportunos durante la ejecución.

***Tabla 6.3. Hitos de comunicación e interlocución técnica con CORANTIOQUIA.***

| Hito | Frecuencia / momento | Aplicación |
|---|---|---|
| Reunión de kick-off | Mes 1, Semana 1 | Arranque del trabajo técnico. |
| Reuniones de avance | Mensuales durante toda la ejecución | 8 reuniones en M1; 10 en M2; 12 en M3. |
| Reportes formales bimestrales | Cada dos meses, por escrito | 4 reportes en M1; 5 reportes en M2 y M3. |
| Entrega del informe Fase 1 | Mes 4, Semana 16 | Igual para las tres opciones. |
| Entrega del informe final integrado | M1: M8/S32 · M2: M10/S40 · M3: M12/S48 | Cierre del proyecto. |

## 6.4 Holguras y supuestos del cronograma

Cada bloque del cronograma incorpora holguras explícitas (GAPs) dentro de su duración estimada, dimensionadas para absorber, sin extender la fecha de entrega comprometida, las siguientes contingencias razonables:

- Reconfiguraciones del modelo por problemas de convergencia o por incidencias de cómputo.
- Retrasos en la entrega del inventario de emisiones por parte de CORANTIOQUIA.
- Demoras en la importación de sensores o consumibles (radiosondas y otros).
- Tiempos extra de laboratorio en triplicados de fuentes o en especiación química.

Las holguras absorben contingencias razonables y previsibles. Eventos no razonables —cambios mayores de alcance, indisponibilidad prolongada de datos críticos, demoras imputables a terceros— se gestionan mediante adenda al contrato.

Supuestos clave del cronograma:

- El inicio del trabajo técnico se sincroniza con el perfeccionamiento del contrato. La duración propuesta no incluye los tiempos de trámites previos a la suscripción.
- La actualización del inventario de emisiones, si se contrata, se cotiza por separado y corre en paralelo con la modelación; no extiende el plazo total.
- La fecha de entrega de la Fase 1 (Mes 4, Semana 16) y la duración total por opción son consistentes con los meses de Director y Modelador SAG presupuestados.

SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.

# 7. ENTREGABLES

Los entregables se organizan por fase técnica. La Fase 1 entrega un diagnóstico preliminar útil para audiencias intermedias del Pacto; la Fase 2 entrega evidencia anual robusta para sustentar el compromiso C.5. Las dos fases comparten el formato y el sistema de referencia geoespacial.

## 7.1 Entregables Fase 1

La Tabla 7.1 lista los productos previstos para la Fase 1 (diagnóstico rápido).

***Tabla 7.1. Entregables de la Fase 1 — diagnóstico rápido.***

| Producto | Detalle |
|---|---|
| Configuración del modelo | Se documenta la configuración aplicada; los artefactos técnicos detallados (namelists, scripts, archivos de configuración) no forman parte de la entrega. |
| Salidas del modelo | Formato compatible con el postproceso GIS, sobre el dominio D03. |
| Mapas de concentración por escenario | E0, E1, E2 y E3 en el dominio D03, en GeoTIFF y shapefile, sistema MAGNA-SIRGAS/CTM-12 (u otro sistema equivalente solicitado por la Autoridad). |
| Mapas de contribución por fuente ΔE | Diferencias E0 − E1, E0 − E2 y E0 − E3, desagregadas por vereda. |
| Tabla P98 y P99 simulados | Comparación contra la Resolución 2254 de 2017 (concluyente) y referencia indicativa contra las guías OMS 2021. |
| Análisis de excedencias | Por escenario, vereda y contaminante. |
| Fichas de receptores sensibles | Centros poblados, escuelas, centros de salud, entre otros. Condicionadas a información oficial suministrada por CORANTIOQUIA. |
| Rosas de contaminación | Para las nueve veredas (16 sectores de viento, escenario E0). Producto exigido por TDR. |
| Validación estadística | Métricas FB, NMSE, FAC2 y $r^2$ frente a la estación de Aguas Frías y, si se contrata, frente a los puntos del Ítem 1. |
| Informe técnico Fase 1 | PDF más versión editable en Word. |

## 7.2 Entregables Fase 2

La Tabla 7.2 lista los productos previstos para la Fase 2 (hindcast anual 2025).

***Tabla 7.2. Entregables de la Fase 2 — hindcast anual 2025 e informe integrado.***

| Producto | Detalle |
|---|---|
| Mapas anuales de concentración media | $PM_{2.5}$, $PM_{10}$, $NO_2$, $SO_2$ y $O_3$ en el dominio D03. |
| Percentiles P50, P98 y P99 anuales | Por contaminante, comparados con la Resolución 2254 de 2017 (concluyente) y referencia indicativa con OMS 2021. |
| Análisis de excedencias anuales | Días y horas sobre los estándares por contaminante y escenario. |
| Tabla de cumplimiento Res. 2254/2017 | Percentiles P98 y P99 simulados versus niveles máximos permisibles, por escenario (E0 a E3). |

| | |
|---|---|
| Rosas de contaminación estacionales | Para las nueve veredas, discriminadas por temporada seca y temporada lluviosa, en 16 sectores de viento. |
| Fichas de receptores sensibles anuales | Por vereda. Condicionadas a información catastral oficial o autorización para usar información secundaria sin validar. |
| Validación estadística anual y estacional | Frente a la serie 2025 de Aguas Frías, discriminada en temporada seca y temporada lluviosa. |
| Informe técnico integrado Fase 1 + Fase 2 | Entregable consolidado para CORANTIOQUIA. |

### 7.3 Formatos técnicos

Los formatos de entrega previstos son los siguientes:

- Salidas geoespaciales: GeoTIFF y shapefile en MAGNA-SIRGAS/CTM-12 (u otro sistema de referencia equivalente solicitado por la Autoridad).
- Datos tabulares: CSV.
- Informes: PDF más versión editable en Word.

### 7.4 Productos intermedios no entregados al cliente

Los siguientes artefactos técnicos no forman parte de los entregables al cliente, conforme a la sección de propiedad intelectual. Son propiedad del modelador líder o de SAG, según quien los desarrolle:

- Scripts de preproceso y postproceso.
- Archivos de configuración del modelo.
- Repositorios de código.

La no entrega de estos artefactos es coherente con la práctica habitual del sector y con la naturaleza del aporte del modelador líder externo. Lo que sí se entrega al cliente son los resultados de la modelación, sus datos de entrada y salida, los mapas, las tablas, los análisis y el informe técnico.

## 8. PREMISAS Y SUPUESTOS

Las premisas y supuestos que sustentan el alcance, el cronograma y la propuesta económica se declaran explícitamente a continuación. Cualquier cambio sustancial frente a estas premisas durante la ejecución se gestiona mediante adenda al contrato.

- Inventario de emisiones: CORANTIOQUIA entrega el inventario base del corregimiento en un plazo no mayor a 15 días calendario contados desde el perfeccionamiento del contrato. En caso contrario, se utilizan factores de emisión EPA AP-42 con documentación explícita de la sustitución y de la incertidumbre asociada.

- Permisos y accesos: CORANTIOQUIA gestiona los permisos de acceso a los sitios de monitoreo del Ítem 1 y a las fuentes industriales del Ítem 3 en un plazo no mayor a 10 días calendario antes del inicio del trabajo de campo.
- Datos históricos de Aguas Frías: las series de las estaciones operativas se entregan en formato CSV con metadatos completos, suficientes para la validación del modelo.
- Disponibilidad de reanálisis meteorológico: se asume acceso a ERA5 desde Copernicus CDS, sin restricciones de cuota que impidan la descarga de los volúmenes necesarios para la Fase 1 y la Fase 2.
- Conectividad: internet con velocidad efectiva ≥ 10 Mbps, estable, en los sitios de operación del modelador.
- Datos SIATA del Valle de Aburrá: SAG gestionará el acceso para complementar la validación; no se garantiza su disponibilidad.
- Estabilidad normativa: la propuesta se basa en la Resolución 2254 de 2017 y la Resolución 909 de 2008 vigentes. Cambios normativos durante la ejecución pueden requerir adenda.
- Disponibilidad del personal técnico durante el período contractual. Los reemplazos requieren aprobación previa de CORANTIOQUIA.

## 9. EXCLUSIONES

La presente propuesta no incluye los siguientes alcances, salvo cotización adicional acordada por las partes:

- Diseño detallado de medidas de mitigación o del Plan de Descontaminación. La propuesta entrega los insumos técnicos para que CORANTIOQUIA o un tercero construyan el Plan.
- Implementación de las Buenas Prácticas de Ingeniería (compromiso C.2) en las industrias — solo se modela el escenario E3 con reducciones estimadas.
- Operativos de control de fuentes móviles (compromiso C.8) — solo se modela el escenario E2.
- Modelación de contaminantes distintos a los criterio de la Resolución 2254 de 2017 (no se incluye Hg, dioxinas, furanos, BTEX, entre otros), salvo cotización adicional.
- Especiación química de los filtros del monitoreo — es alcance del Ítem 5, cotizado por separado.
- Modelación de ruido o de vibraciones.
- Estudios sociales, epidemiológicos o de salud pública asociados.
- Permisos, licencias o autorizaciones ante autoridad ambiental — responsabilidad del cliente.
- Solicitudes de visita o coordinación logística con la autoridad para el monitoreo de aire — responsabilidad del cliente.

- Costos de mantenimiento o reposición de equipos de monitoreo más allá del período contractual.
- Servicios de soporte o consultas técnicas posteriores a la entrega final del informe integrado.
- Defensa o representación técnica en audiencias judiciales — contratable como add-on por bloques.
- Traducción de los entregables a idiomas distintos del español.
- Información catastral de receptores sensibles — la suministra CORANTIOQUIA o se autoriza el uso de información secundaria sin validar.
- Múltiples iteraciones del modelo para alcanzar los criterios EPA cuando la validación inicial no los alcance — se documentan las desviaciones y se acuerdan con CORANTIOQUIA antes del postproceso.

## 11. CONFIDENCIALIDAD, MANEJO DE DATOS Y PROPIEDAD INTELECTUAL

Esta sección establece los lineamientos sobre confidencialidad, tratamiento de datos personales y propiedad intelectual de los entregables. Las cláusulas específicas se articulan con los formatos contractuales que las partes acuerden en la suscripción.

### 11.1 Confidencialidad

Las partes intervinientes en el proyecto suscribirán acuerdos de confidencialidad recíprocos que cubrirán, entre otros:

- Datos crudos del monitoreo de aire y de la especiación química de filtros.
- Salidas intermedias del modelo, no publicables hasta la entrega final del informe técnico.
- Información que las industrias del corregimiento aporten o que se obtenga durante las actividades de campo.
- Cualquier otra información sensible que las partes acuerden cubrir bajo el régimen de confidencialidad.

Las obligaciones de confidencialidad subsisten más allá del cierre del contrato, en los términos que defina el área jurídica de SAG en la versión final del documento contractual.

### 11.2 Tratamiento de datos personales

El tratamiento de datos personales que se realice en el marco del proyecto se ajusta a la Ley 1581 de 2012 y sus decretos reglamentarios, así como a las políticas internas de SAG-SA. Los datos personales se manejan con reserva, se utilizan exclusivamente para los fines del proyecto y se entregan a CORANTIOQUIA, cuando aplique, dentro del marco normativo vigente.

### 11.3 Propiedad intelectual de los entregables

La propiedad intelectual de los productos del proyecto se distribuye así:

- Productos finales entregados y datos de entrada y salida del modelo: propiedad de CORANTIOQUIA, en los términos del contrato.
- Scripts, archivos de configuración y demás artefactos técnicos producidos por el modelador líder externo: permanecen como propiedad del modelador líder (o de SAG cuando aplique). Estos artefactos no forman parte de los entregables al cliente.
- Licencia de uso de los resultados: CORANTIOQUIA puede utilizar los resultados entregados con citación adecuada de la fuente y autorización para reutilización académica.

## 14. OFERTA ECONÓMICA

A continuación, se presentan los costos de las modelaciones para las opciones propuestas (sin incluir AIU ni IVA):

| Opción | Descripción | Costo base (COP) |
|---|---|---|
| M1 | Modelo CMAQ (solo este modelo) | $324.350.000 |
| M2 | Modelo WRF-Chem (solo este modelo) | $359.000.000 |
| M3 | WRF-Chem + CMAQ (modelo combinado) | $533.240.000 |

El valor de los ítems opcionales, sin incluir IVA, son:

| Ítems opcionales | Costo (COP) | Observaciones |
|---|---|---|
| Ítem 1 · Monitoreo de aire | $106.000.000 | 2 puntos × época seca + época húmeda — laboratorio acreditado por el IDEAM |
| Ítem 2 · Estación meteorológica | $88.000.000 | Operación EMA 12 meses |
| Ítem 3 · Muestreo de fuentes | $341.000.000 | 10 chimeneas + 10 difusas + 20 fugitivas |
| Ítem 4 · Sondeo vertical / reanálisis ERA5 u otro equivalente | $209.000.000 | ERA5 anual + 4 lanzamientos de radiosonda |
| Ítem 5 · Especiación química | $198.000.000 | 36 filtros OC/EC + 36 iones + 36 metales |
| Actualización del inventario CORANTIOQUIA (opcional) | $240.550.000 | Personal + logística |

*Nota: Los precios presentados no incluyen IVA y son vigentes para el año 2026. En caso de ejecución de los ítems en el año 2027 se deberán acordar los respectivos reajustes de precios.*

**13. VALIDEZ DE LA OFERTA**

- Sujeción a vigencia de ofertas de subcontratistas: la propuesta puede requerir ajuste si la oferta vigente del laboratorio acreditado responsable del Ítem 1 vence antes del cierre del contrato. SAG comunicará oportunamente cualquier ajuste derivado de este factor.
- Cambios normativos: en caso de cambios normativos durante el período de validez o durante la ejecución, las partes acordarán las adendas necesarias para preservar el alcance técnico y el equilibrio económico del contrato.

Atentamente,

ALEJANDRO AGUILAR AMAYA
Representante legal.

SAG
SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.

# PROPUESTA TÉCNICA Y ECONOMICA



## DOCUMENTACION ECONOMICA

## RESUMEN EJECUTIVO — COSTOS BASE POR OPCIÓN DE MODELACIÓN

*Costo base SAG, sin AIU ni IVA (COP). AIU, factor de venta e IVA se aplican sobre el subtotal seleccionado (opción de modelación + add-ons).*

| Opción | Descripción | Costo base (COP) | Comentario |
|---|---|---|---|
| **M1** | Solo CMAQ | $324.350.000 | *Opción más rápida y económica. Permite múltiples escenarios sin recalcular meteorología.* |
| **M2** | Solo WRF-Chem | $359.000.000 | *Meteorología + química acopladas online.* |
| **M3** | WRF-Chem + CMAQ (combinada) | $533.240.000 | *Doble cadena, máxima riqueza técnica. Mayor costo.* |

| **Opcionales disponibles (cotizados por separado)** | | | |
|---|---|---|---|
| Ítem 1 · Monitoreo de aire | Ver hoja 'Ítem 1 Monitoreo' | $106.000.000 | *Subtotal Ítem 1 (2 puntos × época seca + época húmeda) — laboratorio acreditado por el IDEAM* |
| Ítem 2 · EMA propia | Ver hoja 'Add-ons unitarios' | $88.000.000 | *Operación EMA 12 meses* |
| Ítem 3 · Muestreo de fuentes | Ver hoja 'Add-ons unitarios' | $341.000.000 | *10 chimeneas + 10 difusas + 20 fugitivas* |
| Ítem 4 · Sondeo vertical / reanálisis ERA5 u otro equivale | Ver hoja 'Add-ons unitarios' | $209.000.000 | *ERA5 anual + 4 lanzamientos de radiosonda* |
| Ítem 5 · Especiación química | Ver hoja 'Add-ons unitarios' | $198.000.000 | *36 filtros OC/EC + 36 iones + 36 metales* |
| Actualización del inventario CORANTIOQUIA (opcional) | Ver hoja 'Actualización inventario' | $240.550.000 | *Subtotal hoja Inventario (personal + logística)* |

Atentamente,



ALEJANDRO AGUILAR AMAYA.
Representante legal.

RAD 180-COE2606-23265

SAG
SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.

# PROPUESTA TÉCNICA Y ECONOMICA



## PRESENTACIÓN DE EXPERIENCIA

SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.

Medellín, 28 de mayo de 2026

**Señores**
**CORANTIOQUIA**
svca@corantioquia.gov.co

**Asunto:** Presentación de experiencia en modelaciones atmosféricas y estudios de calidad del aire

Cordial saludo,

SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A. – SAG, identificada con NIT 811.015.529-1, se permite presentar su experiencia en el desarrollo de monitoreos y modelaciones de calidad del aire para proyectos mineros, energéticos, líneas de transmisión, parques solares e infraestructura.

Dentro de nuestra experiencia se destaca el contrato marco ejecutado para CERREJÓN, el cual incluye modelaciones de calidad del aire para seguimientos ambientales en Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) y proyecciones operacionales a corto, mediano y largo plazo.

Asimismo, SAG ha desarrollado modelaciones atmosféricas y monitoreos ambientales para diferentes Estudios de Impacto Ambiental (EIA), incluyendo proyectos mineros, hidroeléctricos, parques solares y líneas de transmisión, contemplando escenarios de operación, evaluación de emisiones atmosféricas y análisis de cumplimiento normativo.

Agradecemos la atención prestada y quedamos atentos a cualquier información adicional requerida.

Cordialmente,

**ALEJANDRO AGUILAR AMAYA**
**Representante legal.**
SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A. – SAG
NIT 811.015.529-1

# CONCEPTO TÉCNICO DE EVALUACIÓN DE PROPUESTAS MODELACIÓN ALTAVISTA

**Objeto del estudio de mercado:** Prestación de servicios de modelación numérica de calidad del aire en el corregimiento de Altavista, municipio de Medellín.

## 1. Objeto y alcance del presente concepto

El presente concepto técnico se emite en el marco del estudio de mercado para la prestación de servicios de modelación numérica de calidad del aire en el corregimiento de Altavista. El concepto evalúa las dos propuestas recibidas al cierre de la convocatoria del 29 de mayo de 2026, de las 26 invitaciones enviadas a laboratorios y entidades prestadoras de servicios ambientales.

La evaluación se estructura en cinco dimensiones: (A) alineación con los Términos de Referencia y el Pacto de Cumplimiento, (B) solidez técnica de la cadena de modelación, (C) cronograma desde la orden de inicio, (D) posición económica y financiera. El eje transversal de la evaluación es la capacidad de cada propuesta para aportar al cumplimiento del compromiso C.5 del Pacto de Cumplimiento en el proceso judicial radicado que exige la modelación de calidad del aire con análisis de escenarios E0–E3 para la zona de influencia de Aguas Frías.

## 2. Contexto de la convocatoria y resultado de participación

La solicitud de cotización fue enviada el 15 de mayo de 2026 a 26 laboratorios y entidades especializadas en monitoreo y modelación de calidad del aire. Al cierre de recepción del 29 de mayo de 2026, únicamente dos proponentes presentaron propuesta: la Universidad de San Buenaventura Medellín a través del Consultorio Tecnológico Bonaventuriano (USB-CTB), y SAG S.A. —— Servicios Ambientales y Geográficos. La baja tasa de respuesta (7,7 % de los invitados) refleja la alta especialización técnica requerida: la modelación con WRF-Chem y CMAQ en zonas de terreno complejo andino es una disciplina con un número reducido de ejecutores calificados en Colombia.

El Grupo de Investigación G-LIMA de la Universidad de Antioquia y el Laboratorio CALAIRE de la Universidad Nacional, ambos con capacidades relevantes en modelación atmosférica, no presentaron propuesta. La Universidad de Antioquia indicó expresamente que en ese momento no contaba con capacidad para participar.

## 3. Matriz comparativa de propuestas

A continuación, se presenta la matriz de evaluación técnica de las dos propuestas recibidas.

La valoración global evalúa las dimensiones de la siguiente forma: alineación con TDR y Pacto, solidez técnica y cronograma.

| Criterio de evaluación | USB — Consultorio Tecnológico Bonaventuriano $154.000.000 COP | SAG S.A. — Servicios Ambientales y Geográficos Opciones M1–M3: $324M – $533M COP |
|---|---|---|
| **A. Alineación con Términos de Referencia y Pacto de Cumplimiento C.5** | | |
| **Mapeo explícito a ítems TDR** | Estructura directamente mapeada a numeración TDR: Ítem 9 (CMAQ obligatorio), Ítem 7 (WRF-Chem Opción B) e Ítems 2/4 (meteorología). Cada componente tiene valor y descripción independientes. **✓ Correspondencia exacta, auditable línea por línea.** | Estructura propia M1/M2/M3 sin correspondencia explícita a la numeración del TDR. Se requiere inferir qué opción cubre qué ítem. La opción M1 (solo CMAQ) no ejecuta el Ítem 7. **⚠Mapeo implícito — requiere interpretación.** |
| **Escenarios E0–E3 requeridos por compromiso C.5** | Sección 6 detalla cada escenario con fuentes incluidas, condición de inventario y productos entregables. E3 vinculado explícitamente a compromisos C.2 del Pacto. **✓ Vinculación explícita al Pacto de Cumplimiento.** | Tabla 3.10 describe correctamente los escenarios. Sin embargo, el Plan de Descontaminación C.7 (resultado directo de la modelación) está declarado explícitamente fuera del alcance. **⚠C.7 excluido cuando el Pacto lo requiere como producto de la modelación.** |
| **Fuentes industriales nominadas (actas Pacto sep. 2025)** | Nombra las 7 empresas del Pacto: El Noral, Altavista, El Diamante, Las Mercedes, Delta, Alfarera Buena Vista y Asfaltos Medellín. Coincide exactamente con actas del 15 y 22 de septiembre de 2025 y con la Constancia del Comité de Conciliación (radicado 180-CON2509-3318). **✓ Cobertura completa del clúster de Aguas Frías.** | El Escenario E1 describe el clúster de forma genérica. Ladrillera Las Mercedes, Ladrillera Delta y Alfarera Buena Vista no se identifican de manera expresa en el texto de la propuesta analizada. ⚠ Tres fuentes del Pacto no **están nominadas explícitamente.** |

| Criterio de evaluación | USB — Consultorio Tecnológico Bonaventuriano $154.000.000 COP | SAG S.A. — Servicios Ambientales y Geográficos Opciones M1–M3: $324M – $533M COP |
|---|---|---|
| **AERMOD/CALPUFF como cadena regulatoria complementaria (requerida por TDR)** | No se presenta como corrida independiente de AERMOD/CALPUFF; sin embargo, la propuesta sí incluye el procesamiento de datos meteorológicos en los Ítems 2 y 4 del TDR, como insumo transversal para WRF-Chem y CMAQ, y contempla productos de análisis frente a la Resolución 2254 de 2017. Por tanto, el componente meteorológico y la lectura normativa quedan atendidos dentro del alcance principal. Se sugiere precisar únicamente si CORANTIOQUIA requiere AERMOD/CALPUFF como entregable independiente.<br>✓ Cumple funcionalmente en el componente meteorológico y normativo; precisión recomendada sobre entrega independiente de AERMOD/CALPUFF. | AERMET + AERMAP<br>mencionados en la cadena de preprocesadores. AERMOD declarado como modelo regulatorio complementario cuando 'el análisis específico lo requiera'. Sin embargo, no está cotizado como entregable independiente.<br>⚠**Mencionado pero no cotizado ni comprometido formalmente.** |
| **Fuentes móviles — compromiso C.8** | Gestionado como Anexo A independiente ($28.500.000). Activación condicionada a que CORANTIOQUIA no disponga de datos de Tráfico Promedio Diario. Metodología con factores de referencia internacional ajustados al contexto colombiano.<br>Cronograma compatible con la Fase 1.<br>**✓Transparencia contractual. Exposición adicional controlada.** | Escenario E2 incluido si hay inventario de CORANTIOQUIA. Sin él, la actualización del inventario suma $240.550.000 adicionales —– valor que supera por sí solo la propuesta completa de la USB.<br>⚠ Costo de contingencia **significativo frente al valor base del proceso.** |
| **B. Solidez técnica de la cadena de modelación** | | |

| Criterio de evaluación | USB — Consultorio Tecnológico Bonaventuriano $154.000.000 COP | SAG S.A. — Servicios Ambientales y Geográficos Opciones M1–M3: $324M – $533M COP |
|---|---|---|
| **Configuración WRF-Chem Fase 1 (mecanismo y parámetros)** | RACM-ESRL + MADE/SORGAM especificados. Período 61 días con spin-up 48 h. Justificación climática de mayo–junio (transición seca-lluviosa).<br>Parámetros Δt por dominio conforme al TDR.<br>**✓Especificación completa y justificada.** | Mecanismo físico y opciones de parametrización 'por confirmar con el modelador líder previo al arranque'. Es una decisión técnica fundamental que queda pendiente de definición previa al inicio.<br>⚠ Parámetros clave diferidos<br>**— riesgo de diferencias frente al TDR si no se precisa antes del inicio.** |
| **Mecanismo químico CMAQ Fase 2 y módulo aerosol** | CB6r5 + AERO7 especificados y justificados para $NO_x$-COV en contexto vehicular-industrial.<br>AERO7 incluye SOA y especiación $PM_{2.5}$ necesaria para comparación con la estación de Aguas Frías.<br>**✓ Coherente con las fuentes del corregimiento y con los datos de validación disponibles.** | Versión indicada como '≥5.4, por confirmar con el modelador líder'. El mecanismo químico específico no se identifica de manera expresa en la propuesta analizada.<br>⚠ Elemento técnico relevante no **especificado.** |
| **Dominios anidados** | 3 dominios D01–D03 a 9/3/1 km. Razón de anidamiento 1:3.<br>Celdas 60×60 en todos los dominios. Centro D03 a 6.15°N/75.62°W. Alineado exactamente con las especificaciones del TDR.<br>**✓Conforme al TDR.** | 4 dominios D00–D03 a 27/9/3/1 km. El dominio D00 macro-regional mejora las condiciones de frontera lateral — ventaja técnica real. Sin embargo, el centro del D03 queda 'por definir por el modelador líder', lo cual implica que la cobertura de las 9 veredas no queda confirmada en la propuesta analizada.<br>**⚠Mejora técnica real (D00), pero cobertura de D03 sin confirmar.** |

| Criterio de evaluación | USB — Consultorio Tecnológico Bonaventuriano $154.000.000 COP | SAG S.A. — Servicios Ambientales y Geográficos Opciones M1–M3: $324M – $533M COP |
|---|---|---|
| **Preprocesador de emisiones y trazabilidad** | SMOKE declarado explícitamente. Factores de variación mensual y horaria especificados para los 12 meses de Fase 2. Entregable trazable para auditoría técnica. **✓SMOKE estándar declarado.** | 'SMOKE estándar o scripts propios equivalentes y trazables'. Scripts propios del modelador externo no se transfieren a CORANTIOQUIA (declarados propiedad del modelador). No son auditables por el Tribunal ni por pares técnicos externos. ⚠ Aspecto de trazabilidad a verificar: **artefactos de modelación no transferibles al contratante.** |
| **Validación estadística (métricas EPA)** | FB, NMSE, FAC2, r². Comparación con estaciones Aguas Frías y SIATA. Criterios EPA explícitos. Documentación de desviaciones si no se alcanzan umbrales en primera corrida. Límite de 1 iteración declarado. **✓Protocolo de validación completo.** | Mismas métricas (Tabla 3.11). Iguales criterios EPA. Igual límite de 1 iteración. Igual documentación de desviaciones con acuerdo previo de CORANTIOQUIA. **✓Protocolo de validación completo.** |
| **C. Cronograma en semanas desde orden de inicio del contrato** | | |
| **Semanas hasta entrega Fase 1 (diagnóstico WRF-Chem)** | 8 semanas desde la orden de inicio. Cronograma detallado con hitos por semana y actividad. **✓Cronograma con hitos verificables.** | 16 semanas desde el inicio técnico. Adicionando las ~4 semanas de perfeccionamiento del contrato (pólizas, garantías, planes administrativos), la entrega de Fase 1 ocurre a las ~20 semanas reales desde la firma. **⚠16 semanas técnicas + 4 administrativas = 20 semanas reales.** |
| **Semanas hasta informe técnico integrado (Fase 1 + Fase 2)** | 12 semanas desde la orden de inicio. CMAQ anual procesado en paralelo con WRF-Chem mediante ejecución en bloques trimestrales simultáneos. **✓ 12 semanas. Nota: solo viable con infraestructura computacional suficiente (no declarada).** | M1 (solo CMAQ): 32 semanas · M2 (solo WRF-Chem): 40 semanas · M3 (WRF-Chem + CMAQ): 48 semanas desde la orden de inicio técnico. ⚠ Entre 32 y 52 semanas desde **la firma del contrato — potencialmente tensionado frente a los plazos judiciales del Pacto si el Tribunal establece una fecha de** |

| Criterio de evaluación | USB — Consultorio Tecnológico Bonaventuriano $154.000.000 COP | SAG S.A. — Servicios Ambientales y Geográficos Opciones M1–M3: $324M – $533M COP |
|---|---|---|
| | | **cumplimiento.** |
| **D. Posición económica y financiera** | | |
| **Valor base del estudio (sin opcionales, sin IVA)** | $154.000.000 COP. Desglose: WRF-Chem Fase 1 ($63M) + CMAQ anual Fase 2 ($58M) + meteorología ($33M). El valor se mantiene por debajo del presupuesto máximo oficial del proceso. **✓Factor 1,0× (referencia de mercado para este proceso).** | M1: $324.350.000 · M2: $359.000.000 · M3: $533.240.000 COP. Todos sin IVA ni AIU. La opción más comparable (M1, solo CMAQ) es 2,1 veces el valor de la propuesta USB. M3 (comparable técnicamente) es 3,5 veces. ⚠ Factor 2,1× a 3,5× sobre el **valor de la propuesta USB.** |
| **Exposición máxima si se activan todos los opcionales relevantes al Pacto** | $154.000.000 (propuesta principal) + $28.500.000 (Anexo A, solo si falta TPD) = $182.500.000 COP máximo para cubrir todos los requerimientos del compromiso C.5. **✓ Exposición máxima controlada: $182,5M COP.** | M3 ($533M) + actualización inventario ($240,5M) + monitoreo Ítem 1 ($106M) + EMA Ítem 2 ($88M) + muestreo fuentes Ítem 3 ($341M) + sondeo/ERA5 Ítem 4 ($209M) + especiación Ítem 5 ($198M) + defensa Tribunal (sin precio publicado) = potencialmente superior a $1.700M COP. ⚠ Exposición acumulada sin tope explícito si se activan opcionales. |
| **Transparencia del desglose económico por ítem TDR** | Valor por componente explícito y mapeado a la numeración del TDR. La tabla del resumen ejecutivo es auditable ítem por ítem. **✓Desglose auditable.** | Valor total por opción M1/M2/M3 sin desglose por Fase 1, Fase 2, escenarios o post-proceso. No se puede verificar directamente la composición interna del precio. ⚠ Desglose no suficientemente discriminado por ítem. |

## 4. Conclusiones y recomendación técnica

Desde una perspectiva estrictamente técnica, y sin sustituir las decisiones contractuales que correspondan a las instancias competentes, se recomienda priorizar la propuesta de la Universidad de San Buenaventura Medellín — Consultorio Tecnológico Bonaventuriano para continuar a la etapa de negociación, aclaración y cierre de condiciones, por valor de $154.000.000 COP, siempre que se atiendan previamente las condiciones de verificación señaladas en este concepto.

Esta priorización técnica se fundamenta en los siguientes argumentos:

1. Alineación técnica con el TDR y el Pacto de Cumplimiento: La propuesta USB mapea explícitamente cada componente a la numeración del TDR, nomina las siete fuentes industriales del Pacto y vincula el escenario E3 a los compromisos C.2 y C.7. en la propuesta SAG no se identifican expresamente tres fuentes y declara el C.7 fuera del alcance.
2. Precio y eficiencia presupuestal: El valor de $154.000.000 COP se mantiene dentro del presupuesto máximo del proceso. La opción M1 de SAG (más comparable técnicamente) cuesta 2,1 veces más, sin ofrecer entregables adicionales requeridos por el TDR. La exposición financiera máxima de la USB ($182,5M con Anexo A) es controlada y predecible.
3. Cronograma: La USB compromete 12 semanas desde la orden de inicio para el informe integrado Fase 1 + Fase 2. la propuesta SAG plantea entre 32 y 52 semanas, según la opción considerada. En el marco de un Pacto de Cumplimiento activo ante el Tribunal Administrativo de Antioquia, el plazo de ejecución es un factor relevante de cumplimiento.
4. Gobernanza y trazabilidad: La institución universitaria ejecuta con personal vinculado, responde institucionalmente por los entregables y es compatible con la estructura del contrato marco CIS. la propuesta SAG concentra la ejecución especializada en un modelador externo no identificado en el documento analizado y restringe la transferencia de algunos artefactos técnicos, aspecto que debería aclararse antes de una eventual contratación.