Plan de Monitoreo del Aire de la Comunidad: Apéndice C

Iniciativa de Monitoreo Móvil Estatal de California (SMMI)
Sistema de garantía de calidad de la plataforma móvil Aclima (v4.1)

aclima

16 de mayo de 2025

Este documento contiene descripciones de propiedad intelectual, metodologías e invenciones cubiertas por patentes estadounidenses e internacionales, o patentes pendientes que son propiedad exclusiva de Aclima Inc.

CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD

CALIFORNIA CLIMATE INVESTMENTS
Cap and Trade Dollars at Work

La Iniciativa de Monitoreo Móvil Estatal es parte de Inversiones Climáticas de California, una iniciativa estatal que utiliza miles de millones de dólares de Tope y Comercio para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, fortalecer la economía y mejorar la salud pública y el medio ambiente, particularmente en comunidades desfavorecidas.

Tabla de contenido

1.0 Introducción 4
2.0 Métodos y equipos de monitoreo móvil 6
2.1 Clima Móvile Medidas 6
2.1.2 Equipos de referencia y estándares utilizados para la calibración y evaluación del desempeño 11
3.0 Operaciones de flota 13
3.1 Métodos de muestreo y operaciones del plan de conducción 13
3.1 Mantenimiento y diagnóstico de flotas móviles 14
4.0 Calidad de la medición objetivos 15
4.1.1 Precisión y sesgo 17
4.1.2 Integridad de los datos 19
5.0 Procedimientos de control de calidad 19
5.1 Evaluación durante la producción de AMN 19
5.2Pre-despliegue calibración 20
5.2.1 Colocación con ingenioh Instrumentos de referencia (O3, NO, NO2, y CO2) 21
5.2.2 Colocación punto a punto (P.M2.5,CO,y TCOV) 21
5.2.3. Carbono negro 22
5.2.4 Calibraciones de gas de referencia (CH4,do2H6, y TCOV) 22
5.3 Verificación de la medición durante despliegue 23
5.4 Medio y Correo-despliegue el recalibración 25
5.4.1 Corrección de la deriva 26
5.4.2 Corrección de la deriva: TVOC 27
5.4.3 Sesgo sistemático: Estimaciones de concentración ambiental Producto de datos 27
5.5 Rendimiento del sensor en campo 27
5.6 Limitaciones importantes para sensores específicos 31
5.6.1 Etano (C2H6) 31
5.6.2 p. m.2.5 31
5.6.3 Óxido nítrico (NO) 31
5.6.4 Dióxido de nitrógeno (NO2) 31
5.6.5 Compuestos orgánicos volátiles totales (COVT) 32
6.0 Datos Etapas 32
8.0Citas 34

1.0 Introducción

El mapeo móvil de la contaminación del aire es unamétodo flexiblePara medir las concentraciones de una amplia gama de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero en grandes áreas geográficas con alta resolución espacial. Aclima ha desarrollado una plataforma (Aclima MPlataforma móvil o AMP)Para el muestreo de contaminantes del aire ambiental a nivel hiperlocal. Los vehículos de la flota de Aclima están equipados con un sistema de detección móvil a bordo, diseñado a medida, que mide el CO2 y el CO2.$_2$, NO, NO_2, EI_3, CH_4, C_2H_6, TVOC, BC y $PM_{2.5}$.

Los datos recopilados en la carretera permiten realizar una variedad de análisis espaciales de alta resolución que respaldan diferentes casos de uso.AEl resultado fundamental es la creación de mapas de concentraciones típicas de contaminación del aire enalto espacioresolución queespectáculoáreas de una comunidadexperimentandoNiveles persistentemente altos o bajos de contaminantes individuales. El otro caso de estudio utiliza datos con resolución temporal de varias unidades de la misma ubicación para identificar áreas donde las concentraciones de contaminación varían considerablemente con respecto a los niveles locales, lo que indica una probable fuente de emisiones local. A continuación, se describen los Objetivos de Calidad de Datos (OCD) para los productos de datos basados en estos dos enfoques de análisis, así como los contaminantes específicos a los que se aplica el producto de datos.

1. **Mostrar áreas que tienen una contaminación relativamente mayor y menor en una región geográfica con alta resolución espacial.**:
   Objetivos de calidad de datos:
   - Producir estimaciones de concentraciones de contaminación ambiental a partir de mediciones balanceadas a lo largo delescuchaperíodo de tiempo y en diferentes momentos del día y de la noche, días laborables y fines de semana, para abordar adecuadamente las variaciones estacionales y diurnas en los datos.
   - Los datos se distribuyen espacialmente en toda el área definida por el usuario.
   - Entregar estimaciones de concentracióncon intervalos creíbles en eldeseadoresolución espacial suficiente para permitir la evaluación de la importancia de las diferencias en los niveles de contaminación.
   - Apoyar las estimaciones de contaminación en los sitios pertinentesescalas de cationes (por ejemplo, hexbins).
   - Monitorear y hacer seguimiento de los siguientes indicadores clave de calidad de datos: sesgo, desviación, precisión

   Típico Contaminantes de interés:
   - EL_3, NO_2, $PM_{2.5}$, CO,CO2,y antes de Cristo

2. **Identificar ubicaciones probables de fuentes de emisiones de contaminantes clave**
   Objetivos de calidad de datos:

- Producir clústeres geolocalizados de indicaciones de fuentes contaminantes mediante la identificación de mejoras por encima del fondo en forma de picos en la salida del sensor de 1 Hz que tienen una relación señal/ruido de al menos 3.
- Minimizar la presencia de "falsos positivos" en los grupos determinados de indicaciones de fuentes de contaminantes estableciendo criterios conservadores sobre lo que define una indicación de fuente, como la cantidad de detecciones de mejora repetidas en la misma ubicación y la relación señal/ruido que define una mejora.
- Monitorear y hacer seguimiento de los siguientes indicadores clave de calidad de datos: deriva de ganancia y límite de detección

Típico Contaminantes de interés:

- CH_4, C_2H_6,A.C., $PM_{2.5}$, QUÉ, TCOV

Estos Los DQO son en gran medida objetivos cualitativos que proporcionan la base para los tipos de ellos mismos Los productos de datos Aclima están diseñados para soportar las necesidades. Un aspecto crucial del control de calidad subyacente a estos DQO es caracterizar y maximizar la calidad de la medición de los sensores.Nuestra confianza en estos productos de datos dependerá de varios factores adicionales, entre ellos, nuestra estrategia de muestreo, el número de muestras recolectadas para las características de interés (es decir, segmento de carretera u otra escala de longitud espacial), y la magnitud y variabilidad de la concentración de contaminación y la meteorología durante el período del contrato. Por lo tanto, El enfoque general para el aseguramiento de la calidad debe incluir procesos y métricas que aborden todas las fuentes potenciales de incertidumbre, y el éxito en el cumplimiento de los objetivos de calidad de los datos no se puede medir con un único conjunto de objetivos de calidad de la medición (MQO).Además, muchos de los factores que afectan la calidad de los datos están sujetos a desafíos operativos reales (por ejemplo, ausencias de conductores) o escapan al control incluso de un plan de control de calidad perfectamente ejecutado (por ejemplo, incendios forestales intensos que afectan la calidad del aire en períodos cortos). Por lo tanto, no podemos garantizar un intervalo de confianza máximo específico (ni precisión) en torno a las estimaciones individuales de concentración atmosférica, pero sí podemos proporcionar datos de alta calidad con parámetros de rendimiento bien caracterizados para facilitar la agregación y el análisis de nuestros productos de datos, que pueden utilizarse para la toma de decisiones en diversos casos de uso.

Con Dado que la calidad de los productos de datos de Aclima implica muchos factores complejos, la calidad de la medición de los sensores es crucial. Este documento describe los procesos de control de calidad para los dispositivos, la medición y el muestreo, que constituyen la base de la producción de los productos de datos de Aclima. El documento abarca los métodos de monitoreo móvil, los equipos y la metodología de muestreo de Aclima, desde el ensamblaje del dispositivo hasta la verificación de datos con resolución temporal de 1 Hz para cada

dispositivo y vehículo. También se incluye información sobre la calibración de sensores y los procesos de revisión de datos.

2.0 Métodos y equipos de monitoreo móvil

TEsta sección describe cómo se equipan los vehículos con Aclima.Plataforma de monitoreo móvil diseñada a medida, así como los equipos de referencia y los laboratorios utilizados para calibrar y evaluar el rendimiento de los sensores.

2.1 Clima Móvile Medidas

El conjunto de mediciones de la Plataforma Móvil Aclima (AMP) incluye un conjunto básico de contaminantes criterio, gases de efecto invernadero y otros contaminantes, que operan a una frecuencia de recolección de cada segundo (1 Hz, con la excepción del ozono que se mide a 0,5 Hz): monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO2), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), metano (CH_4), etano (C_2H_2), compuestos orgánicos volátiles totales (COVT), material particulado fino (PM_2) y carbono negro (BC). Además, la plataforma móvil está equipada con mediciones de viento de alta frecuencia (1 Hz). El conjunto completo de sensores, la infraestructura de hardware de soporte y el vehículo se denominan una única "plataforma móvil".

El núcleo del paquete de sensores es un conjunto completo de sensores integrado en un paquete de hardware fabricado por Aclima, denominado colectivamente Nodo Móvil Aclima (AMN). El AMN es un dispositivo autónomo de bajo consumo que alberga una gama de sensores diferentes en un...recinto con temperatura controlada (refrigeración termoeléctrica de estado sólido)Incluye un sistema GPS de alta calidad y un router celular LTE. El AMN es compatible con la alimentación de CC disponible en cualquier vehículo (motor de combustión interna, híbrido y eléctrico) y no requiere toma de tierra externa, generadores ni baterías adicionales. Las mediciones del AMN incluyen CO, CO_2, NO_2, NO_2, O_3, TVOC y PM_2. Los sensores de metano/etano y carbono negro se ubican junto al AMN en el vehículo, pero fuera de su carcasa. El sensor de viento está montado en el techo del vehículo. El AMN funciona como portal de comunicaciones para transferir las mediciones de todos los sensores a la nube y como almacenamiento de respaldo en caso de problemas de conectividad. El AMN también puede servir como plataforma de comunicaciones para sensores adicionales en aplicaciones personalizadas.

El AMN toma muestras activas del aire ambiente desde una entrada diseñada a medida y montada en una ventana.anclado en la ventana trasera del lado del pasajerodel vehículo. El Nodo Móvil Aclima (AMN) cuenta con dos líneas de muestreo principales que transfieren aire de la atmósfera ambiente a los sensores internos: una para gases y otra para $PM._{2.5}$Los sensores de metano/etano y BC tienen cada uno sus propias entradas de muestreo independientes.

Para minimizar los cambios en las concentraciones de especies reactivas (p. ej.NO, NO_2, O_3, y TVOC) debido a la reacción química o pérdida en las superficies de los tubos, estos gases se muestrean a través de medios no reactivos.PTFE (politetrafluoroetileno) tubos con PFA(perfluoroalcoxi alcano). Estos gases se miden dentro del Nodo Móvil Aclima (AMN). Líneas de muestreo para CH_4 y C_2H_6, y los tóxicos del aire consisten en tubos de PTFE con accesorios de acero inoxidable. Metano y C_2H_6Se miden con el mismo sensor (una sola línea de muestra). Las líneas de entrada de gases salen directamente de la ventana y su entrada es perpendicular a la superficie del vehículo.A Nafión secador se coloca en línea, justo dentro de la ventana, para ayudar a controlar el contenido de agua en el aire muestreado para CH_4y C_2H_6, lo cual es particularmente importante en condiciones en las que el punto de rocío ambiental es alto (es decir, condiciones cálidas y húmedas), donde podría formarse condensación dentro de las líneas de muestreo una vez dentro de un vehículo con aire acondicionado. A Nafion el secador no se utiliza para la línea de gas primaria debido a la difusión de COV que afecta la medición de TVOC.

Para minimizar la pérdida de partículas, se toman muestras de las líneas de PM2.5 y BC se componen decobre y hormiga silicona estática tubo conductor con conexiones de latón. Las líneas de muestra para $PM_{2.5}$ BC se extiende desde la superficie de montaje de entrada con su abertura paralela al exterior del vehículo y orientada hacia la parte delantera. Se utilizan líneas de muestreo independientes para la $PM._{2.5}$y BC. No se eliminan partículas según el tamaño.ocurre en la entrada de la $PM_{2.5}$ línea de muestra. A Nafión el secador se coloca en línea para cada uno, justo dentro de la ventana, para ayudar a controlar el contenido de agua en el aire muestreado para $PM_{2.5}$ y BC. La línea de muestra BC incluye un ciclón (corte afilado 2.5µm a 150 mL/min) para evitar que partículas más grandes se depositen dentro del sensor y deterioren el rendimiento.

El $PM_{2.5}$ El sensor informa el recuento de partículas en seis rangos de tamaño según la dispersión óptica. Aclima utiliza un modelo estándar de conversión de masa que asume partículas esféricas y una densidad de partículas constante en los diferentes rangos de tamaño para convertir el recuento de partículas en masa.Se discuten detalles adicionales sobre las limitaciones del sensor PM.ed en la Sección 5.6.2 y en el documento adjunto “Plan de validación y garantía de calidad de la estimación de concentración ambiental hiperlocal” (Apéndice D del CAMP, Sección 5.2).

Tabla 1: Climate Mobile Características operativas del sensor de la plataforma de monitoreo

Parámetro	Método de medición	Frecuencia de medición	Alcance operativo*
EL_3	Espectroscopia UV	2 segundos	0-100 ppm
NO	Electroquímica	1 segundo	0-20 ppm, ajustable

NO_2	Electroquímica	1 segundo	0-2 ppm
CO	Electroquímica	1 segundo	Ajustable
CO_2	Infrarrojo no dispersivo	1 segundo	0-5000 ppm
CH_4	Espectroscopia de absorción directa	1 segundo	1 ppb-1%
do_2H_6	Espectroscopia de absorción directa	1 segundo	1 ppb-1%
TCOV	Detección de fotoionización	1 segundo	1 ppb - 20 ppm
$PAGMETRO_{2.5}$[1]	Dispersión óptica de la luz	1 segundo	0-300.000 cuentas/L
ANTES DE CRISTO	Absorción óptica a 880 nm	1 segundo	0-1 mg de BC/m^3
Velocidad y dirección del viento	Anemómetro ultrasónico	1 segundo	0-60 m/s; 0-359[el]
Temperatura	Voltaje del diodo	ESO	-40-85 ℃
Humedad relativa	Resistador	1 segundo	0-100%
Presión	Capacidad	ESO	300-1100 hPa
Ubicación (GPS)	GPS por satélite	1 segundo	> 5 metros
Tiempo	Reloj de tiempo real (RTC) a través del Protocolo de tiempo de red	32,768 kHz oscilador	ESO

En la Tabla 5 se incluyen métricas adicionales del rendimiento del sensor.

* Especificaciones del fabricante

1. $P.M_{2.5}$Se determina a partir de los recuentos de número de partículas (PN), donde el PN se mide en seis rangos de tamaño entre 0,3 y 2,5 µm y la concentración de recuento (c/L) se convierte en concentración de masa asumiendo partículas esféricas y una densidad constante en los seis rangos de tamaño.

Sensores Ubicados dentro del AMN, cada uno registra la temperatura en línea (T), la presión (P), el porcentaje de humedad relativa (HR%) y el caudal a 1 Hz. Estos sensores están ubicados cerca del sensor respectivo para que se conozcan las condiciones ambientales cuando se mide el contaminante. Tel BC y el PM2.5 Los sensores también incluyen T, P, HR y caudal (a 1 Hz) como parte de su sistema de medición, mientras que el CH_4y C_2H_6El sensor incluye temperatura, presión y H absoluto.2 Concentración de O (a 1 Hz).Estas mediciones ambientales proporcionan diagnósticos del estado del sistema indicadores *de estado y* se utilizan en Aclima Modelos de sensores para convertir la señal del sensor (p. ej.., Voltaje) en una medición de concentración físicamente significativa(µg/m^3, ppb, ppm) y para garantizar que las mediciones

del sensor se mantengan dentro de sus condiciones de funcionamiento adecuadas.Debido a que las mediciones de T, P y HR están diseñadas específicamente para medir las condiciones internas del instrumento, no son representativas de las condiciones atmosféricas ambientales y, por lo tanto, no se proporcionan como parte de los productos de datos de Aclima.

Para tener en cuenta las diferencias en el tiempo de transporte entre la entrada de la muestra y cuando llega a los diferentes sensores en la plataforma móvil Aclima, los datos de cada sensor se desplazan en el tiempo de acuerdo con el tiempo de residencia nominal en los tubos de muestra.En la plataforma móvil actual de Aclima, donde las entradas están ubicadas en la ventana trasera del pasajero, cambios de tiempo rango de aproximadamente 2 a 10 segundos y se han estimado en función de las longitudes de los tubos de muestra, el diámetro interior y el caudal..La incertidumbre en torno a estas estimaciones proviene principalmente de la incertidumbre en los caudales, estimados en aproximadamente ±5%.

La posición geográfica de cada medición, descrita mediante latitud y longitud, se proporciona mediante GPS (especificaciones del fabricante de ±5 m) y se mide a 1 Hz.La evaluación de la posición GPS durante las operaciones de campo cuando el vehículo estaba estacionado indicó una incertidumbre de ±6 a ±12 m dependiendo de la ubicación y el tiempo promedio de los datos, con una incertidumbre menor en tiempos promedio más largos.La velocidad del vehículo se determina según el cambio en la ubicación GPS y se proporciona a 1 Hz. Todas las mediciones se sincronizan mediante el Protocolo de Tiempo de Red (NTP), que sincroniza la computadora interna con el Tiempo Universal Coordinado (UTC) y se reportan al segmento UTC más cercano. Se realiza un seguimiento de cada sensor por proyecto, número de serie, parámetro, modelo y hora de inicio y fin de uso.

El método de medición para cada uno de los sensores empleados en la plataforma de monitoreo móvil de Aclima se detalla en la Tabla 1, junto con la frecuencia de informes y el rango operativo según lo informado por el fabricante.

Tabla 2: Especificaciones del fabricante para referencia Instrumentos y patrones de gas

Contaminante objetivo[1]	Principio de detección	Resolución[2]	Rango	Tiempo de respuesta
Instrumentos de referencia				
EL_3	Absorción UV	0,1 ppb	0.001-2 ppm	4 segundos
NO	Quimioluminiscencia	0,001 ppm	0-0,5 ppm a 0-100 ppm seleccionable	<1 segundo
NO_2	Espectroscopia de desplazamiento de fase atenuada por cavidad	0,010 ppb	0-1 ppm	<10 segundos
CO_2	Infrarrojo no dispersivo (NDIR)	0,1 ppm	0-20.000 ppm	~1 segundo
$P.M_{2.5}$[3]	a) dispersión de la luz[4] b) atenuación beta	a) < 0,1 ug/m^3 b) 1.0µg/m^3(24 horas)	a) 0,1 - 10.000 µg/m^3 b) 0 - 10.000 µg/m^3	a) Velocidad de dato 10 s b) 1 hora
Estándares de gas de referencia certificados				
Contaminante objetivo	Gas estándar	Valores de lapso	Incertidumbre del gas estándar	
CH_4	Estándares de gases de referencia certificados por la NOAA y el NIST[5]	~2 ppm ~5 ppm ~50 ppm	Estándares NOAA: +/-0,2% Estándares NIST: +/-0,2 % (a 2 y 5 ppm) o +/-2 % a (50 ppm)	
do_2H_6	Estándares de gases de referencia certificados por la NOAA y el NIST[5]	~ 1 ppb ~ 50 ppb ~ 5000 ppb	Estándares NOAA: +/-0,2% Estándares NIST: +/-0,2 % (a 1 y 50 ppb) o +/-2 % a (5000 ppb)	
TCOV	Estándares de gas de referencia certificados por el NIST[6]	cero y ~1 ppm después de la dilución	20,00 ppm ± 5%	

[1] Actualmente no se utilizan métodos de referencia en el Laboratorio Móvil de Calibración para $PM_{2.5}$Instrumentos de medición de CO y tóxicos del aire. Estos sensores se utilizan tal como los recibe el fabricante, con las concentraciones ambientales informadas directamente por el instrumento.

[2] La resolución es la capacidad de distinguir dos mediciones entre sí y no se refiere al límite de detección ni a la capacidad de distinguirlas de la línea base única.

[3]Se está desarrollando la instalación de un método de referencia de PM en el Laboratorio Móvil de Calibración.

[4]La dispersión de luz proporciona recuentos de partículas en varios rangos de tamaño que se convierten en concentración de masa (µg/m^3) El instrumento informa la concentración de masa.

[5] Una combinación deestándares de referenciapreparado por el Laboratorio Central de Calibración de la NOAA y los estándares de trabajo preparados por el NIST se utilizan para CH_4y C_2H_6Este último actúa como un estándar de transferencia. Las incertidumbres de los estándares de trabajo del NIST se compararon con los estándares de la NOAA.

[6] Isobutileno en nitrógeno.

2.1.2 Equipos de referencia y estándares utilizados para la calibración y evaluación del desempeño

Aclima utiliza equipos de referencia de grado de laboratorio en los laboratorios de calibración móviles específicos de la ubicación de Aclima y en los laboratorios de calibración ambiental específicos de la ubicación de Aclima para calibrar O_3, NO, NO_2, y CO_2 Medido mediante la plataforma móvil Aclima. Los instrumentos seleccionados como referencia para la calibración son métodos de detección probados históricamente y ampliamente utilizados, aceptados por la comunidad científica atmosférica como una medición de alta calidad. Para algunos sensores, se utilizaron estándares de gas certificados por el NIST como referencia para la calibración y evaluación. Todos los instrumentos de referencia tienen una incertidumbre bien definida en un amplio rango de condiciones. La Tabla 2 presenta un resumen de las especificaciones o certificaciones de los fabricantes para todos los instrumentos de referencia o estándares de gas. (Tenga en cuenta que el equipo de referencia no se opera de manera que cumpla con los requisitos de los métodos de referencia reglamentarios; por ejemplo, el muestreo móvil utiliza velocidades de datos de 1 Hz, mientras que los requisitos típicos del método de referencia de gas son de un tiempo de promedio de 60 segundos). Trazable a la NOAA (estándar primario) y al NIST (estándar de transferencia).gasesse utilizan para calibrar el CH combinado$_4$y C_2H_6Sensor (Sección 5.2.4). PM individual$_{2.5}$El rendimiento del sensor de CO (precisión y sesgo) y la comparabilidad entre sensores se cuantifican, en condiciones reales de conducción, antes y después de su implementación, mediante la colocación entre pares utilizando los Laboratorios de Calibración Móvil de Aclima (Sección 5.2.2). Los compuestos orgánicos volátiles (TVOC) se someten a una calibración inicial utilizando un gas de referencia (Sección 5.2.4) y se validan mediante el enfoque de colocación entre pares (Sección 5.2.2). El caudal del sensor BC se calibra utilizando un calibrador de caudal certificado proporcionado por el fabricante del sensor específicamente para su uso con el sensor BC. El sensor BC no se coloca rutinariamente con un método de referencia ni con otros sensores BC como parte de su procedimiento de calibración estándar. Sin embargo, se han realizado experimentos de colocación ocasionales para caracterizar el rendimiento general del sensor (consulte las Secciones 5.2.3 y 5.5 para obtener más detalles).

Tabla 3:Referencia instrumentos[1],control de calidad y acciones correctivas

Descripción	Modalidades	Frecuencia	Límites aceptables	Acción correctiva[2]
Instrumento de referencia que utiliza trazabilidad NISTmétodos	EL_3, NO, NO_2, CO_2	Mensual	± 5% (EI_3, NO, NO_2); ±10 ppm (CO_2)	Recalibrar el alcance del instrumento

El instrumento de referencia verifica a cero los métodos trazables al NIST	NO, NO_2, EI_3, CO_2	Mensual	±0,5 ppb (O_3, NO_2); -0.3-1,3 ppb (NO)	Recalibrar el desplazamiento del instrumento
EL_3Generador[3]y calibrador de gas	NO, NO_2, EI_3	Según sea necesario		Servicio y recalibración del fabricante
Gases rastreables por el NIST (cilindro)[4]	CH_4, C_2H_6 TVOC[5] (isobutileno) NO CO_2	Según sea necesario cuando los cilindros alcancen <25 % de su capacidad o expire la certificación		Reemplazo con cilindro nuevo
Generador de aire cero	NO, NO_2, EI_3	Según sea necesario		Servicio del fabricante
Calibrador de flujo	ANTES DE CRISTO	Aproximadamente anualmente, según lo recomendado por el fabricante.		Recalibración realizada por el fabricante

1. Referencia instrumentosno están disponibles en este momento para su uso en los Laboratorios Móviles de Calibración de CO,tóxicos del aire,P.$M_{2.5}$y antes de Cristo.Aclima utiliza una referencia relativa o el promedio de un conjunto de CO, TVOC o $PM_{2.5}$sensores de la misma marca y modelo que el sensor de prueba como se describe enSección 5.2.2.BC y $PM_{2.5}$Se utilizan actualmente tal como los recibe el fabricante.
2. Si los instrumentos de referencia no cumplen los criterios de aceptación, se devuelven al fabricante para su recalibración o sustitución. Los instrumentos se devuelven anualmente para su recalibración.
3. El EL_3El generador no se envía rutinariamenteal fabricantepara recalibración/certificación, pero sólo cuando se requiere servicio y puede resultar en una pequeña fuente de sesgo sistemático para O3 y NO2.
4. Para CH_4 y do_2H_6Aclima utiliza una combinación dereferencia Estándares elaborados por el Laboratorio Central de Calibración de la NOAA y estándares de trabajo elaborados por el NIST. Este último actúa como estándar de transferencia.
5. TCOV-Gas certificado isobutileno estándar en cilindroa ~1 ppm para una calibración inicial, seguida de una colocación entre pares en un laboratorio de calibración móvil de Aclima, donde se miden la pendiente y R^2Los valores de sesgo y precisión se obtienen a partir de la comparación con la referencia relativa, de forma similar a PM, TVOC y CO.

Dado que los equipos de referencia de laboratorio constituyen la base de la calidad de los datos, Aclima realiza un conjunto de controles de calidad integrados en nuestros protocolos operativos para cuantificar la incertidumbre en las mediciones de referencia y garantizar que se

encuentren dentro de un rango aceptable. La Tabla 3 detalla el tipo de controles realizados con los instrumentos de referencia, su frecuencia, los valores que activan las medidas correctivas y el tipo de acción correctiva aplicada. Para realizar estos controles, se utilizan procesos y manuales de instrumentos desarrollados internamente.

3.0 Operaciones de flota

Esta sección se centra en las operaciones de conducción: la planificación y la información operativa sobre cómo Aclima elabora mapas con una flota de medición móvil. Los detalles sobre los procedimientos de campo y laboratorio para las mediciones, la verificación y validación de datos se proporcionan en las Secciones 2.1 y 6.0.

3.1 Métodos de muestreo y operaciones del plan de conducción

El algoritmo de diseño de muestreo de Aclima (“el algoritmo”) proporciona planes diarios de conducción (ruta) a los conductores. Este algoritmo se diferencia de los enfoques típicos basados en encuestas: es dinámico y toma decisiones sobre dónde recopilar datos adicionales basándose en una vista casi en tiempo real de todos los datos recopilados y los recursos disponibles. Al igual que con los métodos tradicionales basados en encuestas (p. ej., Apte et al., 2017), el algoritmo se basa en el principio fundamental bien establecido de que se requieren mediciones repetidas para que los resultados del monitoreo móvil produzcan concentraciones de contaminantes temporalmente representativas y que la reducción de errores en los productos de datos resultantes se impulsa al aumentar el número de mediciones repetidas; sin embargo, representa una mejora sustancial con respecto a los enfoques históricos basados en encuestas, ya que está diseñado para brindar flexibilidad y adaptabilidad a medida que avanza la recopilación de datos. Funcionalmente, este enfoque da como resultado un número diferente de mediciones repetidas en diferentes ubicaciones, con el muestreo distribuido deliberadamente para proporcionar mayores tasas de mediciones repetidas en ubicaciones conmayor variabilidad observada Ayuda a garantizar que las mediciones generadas mediante el monitoreo móvil de Aclima caractericen de forma adecuada y eficiente la variabilidad espacial y temporal de la calidad del aire en las zonas de interés durante el período de monitoreo.

El algoritmo de planificación de viajes programa automáticamente los planes de viaje a diario. Este sistema actualiza todos los modelos y conjuntos de datos internos basándose en los análisis más recientes de los datos recopilados hasta la fecha. Cada uno de estos modelos se analiza para detectar errores o incertidumbres en el área de cobertura, lo que genera una superficie de priorización que el algoritmo utiliza para optimizar la ruta del vehículo antes de generar el plan de viaje final. Este plan, que describe la ruta específica del conductor para ese

día, se pone a disposición de los conductores al inicio de su turno para que lo visualicen en una tableta dentro del vehículo.

3.1 Mantenimiento y diagnóstico de flotas móviles

PÁG mantenimiento preventivo Las solicitudes se implementan con distintas frecuencias según lo especificado por el fabricante o en función de la experiencia pasada.como se describe en los procedimientos operativos estándar interno sAclima utiliza un enfoque multinivel para el mantenimiento de la plataforma móvil, lo que garantiza la recopilación exitosa de datos de alta calidad y minimiza la pérdida de datos. Se ha establecido un riguroso programa de comprobaciones y reemplazos del sistema, que incluye tareas de mantenimiento diarias, semanales y mensuales.Una base de datos AMN/sensor independiente vincula cada instrumento único (por número de serie) para permitir el seguimiento de las fechas de vencimiento del mantenimiento preventivo de los sensores individuales.y plataformas móviles.

Los técnicos de Aclima realizan una revisión de diagnóstico completa del sistema cada vez que se instala un AMN o un sensor en un vehículo y siempre que se requiere mantenimiento a demanda. También se realizan revisiones de diagnóstico inmediatamente antes de la desinstalación para verificar que la integridad del sistema, especialmente del sistema de muestreo, se haya mantenido durante la implementación. Las siguientes tareas se realizan y registran como parte de estas revisiones de diagnóstico:

- cambio de filtro de la línea de muestreo de gas
- Limpieza ciclónica de la línea de muestreo del sensor BC
- controles de flujo utilizando un sensor de flujo calibrado externo, con umbrales aceptables especificados en los procedimientos operativos estándar (POE)
- Comprobación de cero de la línea de muestra de PM
- Inspección completa de todas las conexiones de la línea de muestra
- Limpieza de la línea de muestra con aire forzado
- comprobaciones de la integridad del hardware de montaje
- comprobaciones del sistema de energía y comunicaciones

Los conductores también realizan múltiples pruebas de diagnóstico en el lugar con los vehículos y de forma remota por el personal de Aclima o cuando los vehículos informan a uno de ellos.Aclima'sInstalaciones de calibración. En el sitio, los conductores realizan las siguientes tareas a diario:

- Inspección visual del sistema, incluidas las conexiones de la línea de muestreo
- Comprobaciones de cero de PM (utilizando un filtro en la línea de muestra de PM),
- inspección visual de las líneas de muestreo (por ejemplo, presencia de agua o desconexión)
- comprobaciones de conectividad de datos
- Limpieza del ciclón de la línea de muestra del sensor BC
- Otros parámetros del sistema, incluidos los diagnósticos del estado del sistema de flujo

El personal de Aclima capacita y guía a los conductores para realizar reparaciones sencillas, como cambiar un filtro o reemplazar o reparar una línea de muestreo o una fuga. De forma remota, el personal de Aclima verifica diversas variables de diagnóstico y realiza ajustes para tener en cuenta la deriva (véase la sección 5.3).

Si se requiere un mantenimiento más avanzado, el AMN u otro dispositivo sensor ($PM_{2.5}$, BC, CH_4 y do_2H_6) se devuelve a uno deAclima'sInstalaciones de calibración para recalibración o sustitución in situ por un sensor diferente. Entre las reparaciones que pueden realizarse en Aclima se incluyen el reemplazo de filtros en línea para los sensores de gas, el reemplazo de filtros de aire con revestimiento de PM utilizados para mantener limpios los componentes internos y el reemplazo de consumibles, como baterías y otros filtros.

El mantenimiento rutinario planificado de los vehículos se realiza cuando estos se presentan en uno de los Centros de Calibración específicos de la ubicación o en el campo por los conductores (por ejemplo, cambio de aceite) durante las operaciones de campo, según sea necesario o cuando el tiempo lo permita. El mantenimiento preventivo planificado de los vehículos se registra en una base de datos independiente del sistema de seguimiento de sensores. Si surgen problemas fuera de los periodos de mantenimiento preventivo planificados (sensores o vehículo), se ha establecido un sistema que incluye la inclusión de información relevante en la base de datos de seguimiento de vehículos, lo que ayuda a garantizar una rápida resolución con mínima pérdida de datos durante la operación.

Los administradores de Aclima Drive El personal técnico sigue los procedimientos desarrollados para interactuar con el conductor cuando se detectan problemas de seguridad, del vehículo, de comunicación o de medición. Con base en estos procedimientos, Atrenes climáticos Se capacita a los conductores sobre operaciones seguras de vehículos, funcionamiento de dispositivos, navegación de rutas, resolución de problemas básicos de dispositivos y protocolos para coordinarse con el personal de operaciones de la flota de Aclima en la sede central para abordar cualquier anomalía. Los procedimientos están diseñados para maximizar la recopilación de datos válidos y garantizar la seguridad del conductor. Estos procedimientos se desarrollan continuamente con las lecciones aprendidas en el campo.

4.0 Calidad de la medición objetivos

Los Objetivos de Calidad de la Medición (OCM) son criterios cuantitativos que se utilizan para evaluar la calidad de los datos y garantizar su cumplimiento. Los OCM de Aclima incluyen el establecimiento de criterios cuantificables aceptables a nivel de dispositivo para los Indicadores de Calidad de Datos (DQIs) de precisión, sesgo e integridad. Por EE.UU.Agencia de Protección Ambiental (2002)En la orientación, no se utiliza el término "exactitud", ya que representa tanto precisión como sesgo. Aclima MQOs definen los criterios de rendimiento y aceptación que deben cumplir los sensores calibrados y verificados antes de ser instalados en

elPlataforma móvil AclimaLos MQO se obtienen mediante calibraciones de Aclima y controles de calidad (Sección 5.0; Tabla 4). Los datos de cada sensor se evalúan durante y después de la recolección para determinar...validez de los datos de 1 Hz.La verificación de datos incluye dos pasos de varios niveles,lo que puede conducir a la revisión de datos y a la validación final de los datos, tal como se describe en la Sección 6.0.

METROmúltiples en líneamedicionesde T, P, HR y caudalse registran junto con las mediciones de cada sensor.Estos datos proporcionan diagnósticos del estado del sistema o indicadores de estado, que se aplican a los modelos de sensores junto con los resultados de la calibración y para verificar que los sensores permanezcan dentro de sus límites operativos físicos normales de T, P, HR, caudal y concentración.Si se exceden los límites, los datos se marcan en dosnivelesy excluidos deadicional agregación y análisis, mantenidos pero considerados sospechosos (asociados a una mayor incertidumbre),o investigarse más a fondo (Secciones 5.3 y 6.0). Exceso constante deEstado indicadooLos límites sugieren posibles problemas con el sistema de la plataforma móvil que podrían afectar la validez de las mediciones de contaminantes. También podrían indicar un problema.con unoo más del estadoSensores de diagnóstico, lo cual es importante para garantizar datos adecuados para los modelos de sensores. En cualquier caso, el seguimiento de estas mediciones...Permite el mantenimiento preventivo antes del sensor u otro sistema. fallaque podrían afectar la medición,minimizandopérdida dedatos.Los límites de diagnóstico del estado del sistema se basan en las especificaciones del fabricante, así como en evaluaciones internas del rendimiento del sensor.

Tabla 4: METROCalidad de operación-Nodo móvil de AclimaMétricas de aceptación

Contaminante	Métrica de aceptación vs. Rinstrumento de eferencia	
	Precisión (± valor) (Sección 4.1.1)	Inclinación (Sección 4.1.1)
EL_3	3 ppb	3 ppb
NO	10 ppb	10 ppb
NO_2[1]	5 ppb	6 ppb
CO_2	11 ppm	12 ppm
CH_4[2]	10 ppb	50 ppb
do_2H_6[2]	10 ppb	15 ppb
	Métrica de aceptación utilizando otros enfoques	
	Precisión basada en R^2	Sesgo basado en la pendiente
CO	>0.8	0,75 - 1,25

TVoz en offdo	>0,75	0,5 - 2,0
PM2.5[4]	>0.8	0,75 - 1,25
ANTES DE CRISTO[5]	Aprobar exitosamenteinternoprocedimiento de calibración de flujo	

1. NO_2La incertidumbre es una combinación de Ox (NO_2+EL_3) y EL_3incertidumbre desdeNO_2se midepor diferenciaentre un sensor que mide Ox y un sensor que mide sólo O_3.En general, en las condiciones de nuestra recolección de datos, predomina la incertidumbre Ox.
2. VerSección 5.2.4.
3. VerSección 2.1,Tabla 1, Nota al pie 1 sobre la conversión de recuentos a concentración de masa.
4. El sensor BCSe utiliza tal como lo entrega el fabricante.

Otros datos de apoyo incluyen GPS, que proporciona una posición de latitud y longitud con alta precisión, y la velocidad del automóvil.Los datos del estado del sensor y del sistema se utilizan para generar valores medios de una sola pasada, que a su vez generan los agregados de referencia de alta resolución espacial. Estos agregados se utilizan posteriormente para desarrollar mapas espaciales para los productos cartográficos actuales de Aclima.

Los MQO a nivel de dispositivo o criterios de aceptación se presentan en la Tabla 4; la precisión y el sesgo se describen en la Sección 4.1.1. Estos criterios se obtuvieron tras una exhaustiva caracterización a lo largo de las diferentes fases de desarrollo, desde el prototipo hasta la versión actual.de la AMNy otros sensores fuera del AMN (BC, CH_4y C_2H_6Estos criterios deben cumplirse antes de incluir un sensor en la plataforma móvil Aclima y, por lo tanto, representan el límite superior (peor caso) del rendimiento esperado en condiciones reales (en carretera) al inicio de la implementación. El rendimiento real, que se describe en la Sección 5.5, suele ser superior a estos criterios de MQO, pero también puede degradarse con el tiempo debido a la desviación del sensor.

4.1.1 Precisión y sesgo

Precisión y sesgo para O_3, NO, NO_2, y CO_2se calculan con base en la metodología utilizada para cumplir con los requisitos regulatorios de garantía de calidad (Registro Federal, 2022).La precisión y el sesgo sonSe calcula a partir de datos de concentración ambiental en carretera medidos por instrumentos de referencia que se encuentran junto con sensores en los Laboratorios Móviles de Calibración de Aclima. Las entradas de los instrumentos de referencia y del sensor están ubicadas muy cerca una de la otra, de modo que ambos toman muestras de partículas de aire similares. Un enfoque ligeramente modificado.se utiliza como estadística de comparación principal para la precisión y el sesgo, donde se utiliza la diferencia entre la concentración de la medición del sensor y la medición de referencia o objetivo (Ecuación 1) en lugar de la diferencia porcentual (Registro Federal, 2022).

$$d_i = (\text{sensor} - \text{objetivo}) \qquad \text{(Ecuación1)}$$

La precisión se expresa como el límite superior(al 90%confianza) de la desviación estándar dela diferencia (d_i) medido durante un período de tiempo específico.

El sesgo (AB) se expresa como el límite superior del valor absoluto medio de la diferencia (d_i) durante el mismo período de tiempo que se indica en la ecuación 2.

$$\left|\text{AB}\right| = 1/n(\sum_{i=1}^{norte} |de|)+t0,95,_{n-1} (\text{COMO}/\sqrt{norte})$$

(Ecuación2)

donde, n es el número de controles de un solo punto que se agregan; $t0,95,_{n-1}$es el cuartil 95 de una distribución t con n–1 grados de libertad. AS es la desviación estándar del valor absoluto de lad_i's.

Para CO, TVOC y $PM_{2.5}$La precisión y el sesgo se basan en el análisis de regresión,donde se coloca el sensor de prueba (eje x)en el Laboratorio Móvil de Calibracióncon un conjunto de sensores del mismo tipo (marca y modelo; eje y)El promedio del conjunto de sensores se denomina referencia relativa.Aunque la regresión suele ser lineal, también puede basarse en una función no lineal según el contaminante y el sensor. La precisión viene dada por el coeficiente de determinación (R^2) y el inclinación esbasado en la pendiente de la línea de regresión.

La referencia para CH_4y C_2H_6 es Basado en una calibración de dos puntos (~ambiente y rango de alta concentración) utilizando gases de calibración trazables al NIST (capacitación) con una secuencia posteriort verificación del tramo medio (prueba), que debe pasar los criterios de aceptación de la Tabla 4 antes de la implementación.Los mismos tres gases de referencia se utilizan para las comprobaciones periódicas de calibración. El NIST CH_4y C_2H_6La mezcla de gases es un estándar de trabajo o de transferencia verificado por comparación con una mezcla de gases NOAA estándar de oro.

El sensor BC se utiliza según lo proporcionado por el fabricante. Las especificaciones del fabricante relacionadas con el rendimiento del sensor incluyen: repetibilidad de caudal ±0,4 % en el rango de 0 a 1 l/min; precisión de caudal ±5 % en el rango de 0 a 1 l/min. El rendimiento del sensor se ha evaluado de forma más directa mediante diversos experimentos puntuales, incluyendo comparaciones entre pares y coubicaciones con mediciones regulatorias. Los detalles sobre el rendimiento se proporcionan en la Sección 5.5.

Estafa de calidad Los procedimientos de control para la calibración y los controles de calidad de gases y partículas se describen en la Sección 5.2.

4.1.2 Integridad de los datos

La integridad de los datos se calcula como la cantidad de puntos de datos de 1 Hz finales verificados recopilados en relación con la cantidad de puntos de datos esperados, en función de la cantidad de tiempo que un vehículo conduce activamente en la carretera y la frecuencia de informes de cada instrumento (por ejemplo,., parast gasesson 1 Hz, el ozono es 0,5 Hz). El objetivo de integridad de Aclima para la recopilación de datos de 1 Hz es >95 %, con una excepción. El objetivo de integridad para el CO_2El sensor es >80% porque su proceso interno genera caídas esporádicas de puntos de datos de 1 segundo.En general, un porcentaje de integridad menor puede resultar, por ejemplo, de datos faltantes (no medidos debido a fallas de energía o de la red, problemas con el vehículo o la conducción, calibración, etc.) odatos marcados comoinválido(datos excluidos de análisis posteriores durante los pasos de verificación y validación de datos, Sección 6.0).

5.0 Procedimientos de control de calidad

En Aclima, el control de calidad comienza con el ensamblaje inicial del AMN y la prueba inicial de todos los sensores que se instalarán en la plataforma móvil (Sección 5.1) y se extiende hasta la verificación final de los datos (Sección 6.0).El personal de Aclima se reúne semanalmente para evaluar el rendimiento del vehículo y del sensor, la calidad de los datos y el estado del esfuerzo de mapeo.Las banderas automáticas de estado, que indican que los datos exceden los límites especificados, se establecen en la base de datos antes de que el personal de Aclima revise los datos manualmente. Los problemas o irregularidades se registran, se investigan y se implementan las medidas correctivas pertinentes lo antes posible.Esta sección describe los procedimientos implementados por Aclima como parte de los esfuerzos de control de calidad.Estos procesos respaldan el éxito técnico de la campaña de mediciones y mapeo y ayudan a garantizar que los datos de Aclima sean de la más alta calidad posible, brindando información crítica para abordar eficazmente objetivos y resultados más amplios a nivel comunitario.

5.1 Evaluación durante la producción de AMN

Las pruebas detalladas de los sensores integrados en el AMN se realizan durante la producción y una vez que este se ha construido por completo. Las comprobaciones incluyen la verificación de voltajes, comunicación, programación, caudal, detección de fugas y una serie de inspecciones visuales que incluyen, por ejemplo, la verificación de etiquetas, la instalación de las baterías y la presencia y el apriete de todos los sujetadores. Una vez finalizada la producción del AMN, las comprobaciones se repiten en todo el AMN. Los sensores externos al AMN también se someten a pruebas detalladas. Tras la verificación final del funcionamiento del AMN, este y otros sensores no integrados $(PM)_{2.5}$, BC, CH_4 y C_2H_6)Se envían para calibración y/o verificación (dependiendo del contaminante) (Sección 5.2) a una de las instalaciones de calibración de Aclima. Se realiza un seguimiento de todas las comprobaciones y los resultados se registran en un sistema de seguimiento Diseñado para este propósito.

En apoyo a la producción de AMN y la integración de otros sensores en la plataforma móvil, se ha desarrollado una serie deF Procedimientos operativos estándar Se han desarrollado instrucciones detalladas para el montaje y la instalación del AMN y de los sensores AMN externos en la plataforma móvil.

5.2Pre-despliegue calibración

A AMN completado junto con cualquier unidad de sensor externo instalada en la plataforma de monitoreo móvil de Aclima Calibración inicial dergopara O_3,CO,CO_2, NO, NO_2, CH_4y C_2H_6,y/o verificación del desempeño para el $PM_{2.5}$ Antes del despliegue.Los sensores instalados en la plataforma móvil comprobado y/o calibrado mediante uno de tres enfoques, dependiendo del contaminante: 1) colocación con instrumentos de referencia en uno de Alima's Laboratorios de calibración móviles para O_3, NO, NO_2, CO_2; 2)de igual a igual colocación en uno de Alima's Laboratorios de Calibración Móviles, entre un conjunto de sensores de la misma marca y modelo como sensor de prueba para $PM_{2.5}$, CO y TVOC (TVOC después del span inicial y cero con gas de referencia en una instalación de calibración); y 3)Calibración mediante trazabilidad NIST gases de calibración para CH_4y C_2H_6.

Con cada uno de estos procesos de calibración/verificación previos a la implementación, se cuantifican las métricas de rendimiento del período de prueba y se comparan con los Objetivos de Calidad de Medición o los criterios de aceptación de Aclima (Tabla 4). Si un sensor no cumple con los criterios de aceptación establecidos, se realiza una evaluación exhaustiva para determinar la causa del problema y, si es necesario, reemplazar el sensor afectado. Independientemente de la causa del problema, los sensores deben someterse a una nueva calibración o verificación. Los criterios de aceptación para todos los sensores de una red de sensores automáticos (AMN), así como para los que no están integrados en ella, deben cumplirse antes de instalar un sensor en un vehículo para su implementación.

Estos enfoques de calibración se utilizan para derivar y probar los parámetros de entrada del modelo del sensor.Antes del despliegue. Los modelos de sensores se utilizan para convertir la señal del sensor (por ejemplo, voltaje) en una medición físicamente significativa (µg/m^3, ppb, ppm). El modelo del sensor también puede incluir temperatura, humedad relativa, presión y otros contaminantes que puedan interferir o estar relacionados con la medición de interés.

Siempre que es posible, los Laboratorios Móviles de Calibración se despliegan en las mismas zonas donde se recopilan datos para calibrar en condiciones ambientales similares a las de las AMN. Sin embargo, esto no siempre es posible, y es necesario asumir el rendimiento de las AMN en diferentes condiciones. Como parte de nuestros procesos de validación de datos, utilizamos datos de estaciones de referencia reglamentarias para respaldar las comparaciones entre dispositivos móviles y estacionarios, con el fin de evaluar y corregir el sesgo en nuestras mediciones que pueda resultar de las diferencias en las condiciones ambientales con respecto a

las experimentadas durante la calibración.que se describe en la Sección 5.0 del documento Validación y garantía de calidad de la estimación de concentración ambiental hiperlocal (Apéndice D del CAMP).Esto es particularmente importante para PM2.5 porque la composición química y la distribución del tamaño de las partículas a menudo varían entre regiones geográficas y ambas afectan la medición informada por el sensor.

5.2.1 Colocación con ingenioh Instrumentos de referencia (O_3, NO, NO_2, y CO_2)

Calibración previa al despliegue del O_3, NO, NO_2, y CO_2 los sensores se consiguen mediante colocando sensores con métodos de referencia en uno de Alima's Laboratorios de Calibración Móviles específicos para cada ubicación. Esto garantiza que estos sensores se calibren en un amplio rango dinámico de concentraciones de analitos y se midan en condiciones atmosféricas relevantes en carretera, incluyendo variaciones en las concentraciones de gases contaminantes y partículas, y condiciones meteorológicas variables qué Condiciones. En el laboratorio de calibración móvil, las entradas de los sensores y los instrumentos de referencia están situadas una cerca de la otra, midiendo esencialmente los contaminantes y gases de efecto invernadero del mismo volumen de aire. El período de coubicación para la calibración y verificación de los sensores es...es una semana(enfoques de calibración 1 y 2) e incluye un período de "entrenamiento" de calibración (4 días) para derivar parámetros de entrada para los modelos de calibración del sensor, seguido de un período de "prueba"(normalmente 3 días) para verificar los parámetros de entrada y cuantificar el rendimiento del sensor.Las métricas de rendimiento derivadas durante las "pruebas" se consideran representativas del rendimiento probable del sensor cuando los sensores se implementan para la recopilación de datos de referencia.Se aplica el análisis de regresión para determinar la ganancia (pendiente) y el desplazamiento (intersección) para su uso en el sensor calibración modelo. Si bien la regresión suele ser lineal, también puede basarse en una función no lineal dependiendo del contaminante y sensor. Colocación garantiza que todos los sensores proporcionen mediciones similares dentro de la incertidumbre esperada de la medición. Tras aplicar el modelo de calibración, permite estimar la precisión y el sesgo con respecto al método de referencia. Si los sensores cumplen los criterios de aceptación, se instalan y utilizan en la plataforma móvil de Aclima. De lo contrario, se repite el proceso de calibración.

Los instrumentos de referencia utilizados para la calibración de los EL_3, NO, NO_2, y CO_2 Los sensores (Tabla 2) se someten a comprobaciones mensuales de cero y de rango para confirmar que la calibración sea estable. Periódicamente según sea necesario, por ejemplo, si las comprobaciones de intervalo y cero están fuera de las especificaciones de rendimiento(Tabla 3), se cambian el cero y el span del sensor.basado en el fabricante protocolo o se devuelven periódicamente (anualmente a menos que esté justificado) al proveedor para su recalibración.

5.2.2 Colocación punto a punto (P.$M_{2.5}$,CO,y TCOV)

$PM_{2.5}$, CO y TVOC (TVOC después del intervalo inicial y cero con gas de referencia en un laboratorio de calibración ambiental, consulte la sección 5.2.4 para obtener más detalles) el

rendimiento del sensor y la compatibilidad sensor contra sensor se cuantifican antes de la implementación colocando los sensores en uno de Alima's Laboratorios de Calibración Móviles específicos para cada ubicación. Durante los períodos de coubicación, se compara cada sensor de prueba.a un conjunto de otros Sensores colocados de la misma marca y modelo (mínimo 3, aunque es posible que haya más de 10). Las entradas están muy próximas, por lo que toman muestras de una parcela de aire similar. La comparación es análoga al periodo de prueba de calibración para la colocación de sensor frente a referencia, pero en lugar de utilizar un instrumento de referencia, se utiliza el promedio del conjunto de sensores colocados como referencia relativa para la comparación.a la prueba.

PM2.5 Las mediciones se utilizan tal como se proporcionan y solo se evalúa el caudal. Si el caudal .de un $PM_{2.5}$ essor no cae dentro del umbral de error esperado de ±5%, el caudal está calibrado según el fabricante protocolos. No se aplican otros ajustes para el $PM_{2.5}$ essors – si un $PM_{2.5}$ Si el sensor no cumple los criterios de aceptación, se reemplaza. La coubicación entre pares garantiza que todos los sensores proporcionen mediciones similares dentro de la incertidumbre esperada, así como la precisión y el sesgo.Un debate sobre la contabilización del sesgo sistemático que puede resultar del tratamiento de la $PM_{2.5}$ y el CO de esta manera se incluye en la Sección 5.0 del documento adjunto “Sistema de garantía de calidad de estimación de concentración ambiental hiperlocal” (Apéndice D del CAMP).

5.2.3. Carbono negro

El sensor BC utiliza un principio de detección ampliamente aceptado (etalometría) y, por lo tanto, las calibraciones de fábrica se utilizan tal cual. Según sea necesario o anualmente, el sensor BC se envía al fabricante para su calibración y mantenimiento. El caudal de cada sensor BC se evalúa periódicamente y, si no se encuentra dentro del umbral de error esperado de ±2 %, se calibra según las recomendaciones del fabricante.Actualmente, los sensores de BC no se colocan de manera rutinaria en el Laboratorio de Calibración Móvil para realizar comparaciones entre pares como parte de nuestros procedimientos operativos estándar, aunque se han realizado colocaciones periódicas en el Laboratorio de Calibración Ambiental para confirmar la concordancia entre los sensores de BC (consulte la Sección 5.5 para obtener más detalles).El sensor se opera según las especificaciones de fabricación para garantizar que no se vea afectado significativamente por los efectos de carga. No se realiza ningún procesamiento adicional para suavizar la señal.

5.2.4 Calibraciones de gas de referencia (CH_4,do$_2H_6$, y TCOV)

El CH_4y C_2H_6Las calibraciones de los sensores se realizan utilizando gases de referencia trazables al NIST.exactamenteCH conocido$_4$y C_2H_6concentraciones. El CH_4y C_2H_6El desplazamiento y la ganancia del sensor se ajustan si es necesario utilizando un objetivo bajo a aproximadamente concentraciones ambientales de 2 ppm de CH_4+ 1 ppb C_2H_6y un objetivo alto de aproximadamente50 ppm de CH_4+ 5 ppmC_2H_6,y luego probadoutilizando un objetivo de rango medio en5 ppm de CH_4+ 50 ppbdo$_2H_6$.Si, después de la calibración, la diferencia entre la concentración del tanque de prueba y la informada por el instrumento sensor es menor que±50

ppb CH_4o ±15 ppb C_2H_6o si la desviación estándar de los datos de 1 segundo durante la medición de referencia de baja concentración es inferior a 10 ppb, se cumplen los criterios de aceptación (Tabla 4) y el sensor puede implementarse. De no cumplirse,noEl proceso de calibración se repite comonorteSe necesita o se reemplaza el sensor. La mejor estimación actual para la incertidumbre total de las concentraciones del gas de referencia es la mayor entre 25 ppb o 1% para CH.$_4$y 5 ppb o 0,2% para C_2H_6.Esto se basa en la incertidumbre total denuestro orogases de referencia estándarobtenido demetroNOAA Central CaLaboratorio de libracióny repetibilidad de los experimentos de caracterización de los estándares de trabajo o de transferencia certificados por el NIST.

TSensores de COVEn el AMN, se someten a una calibración inicial previa al despliegue basada en un único intervalo utilizando un cilindro de referencia de isobutileno certificado por el NIST en un rango de concentración de ~1 ppm (rango de 0,68 a 1 ppm) y una verificación de cero. El cero y el intervalo del sensor TVOC no se verifican en campo. La calibración inicial es seguida por una coubicación entre pares en un Laboratorio Móvil de Calibración, donde se miden la pendiente y el R^2Los valores de sesgo y precisión se estiman a partir de la referencia relativa, de forma similar a $PM_{2.5}$y Cía.

5.3 Verificación de la medición durante despliegue

Durante las implementaciones, los ingenieros y el personal técnico de Aclima reciben notificaciones sobre posibles problemas de rendimiento del sensor según lo siguiente: 1) notificaciones de los controladores o técnicos de hardware mientras realizan sus controles de rutina del sistema; 2) como resultado de un marcado automático dentro del flujo de trabajo de procesamiento de datos de Aclima; y 3) durante revisiones regulares (semanales) a nivel de dispositivo realizadas por analistas de revisión de datos.

Los indicadores de estado automatizados indican cuándo se obtienen mediciones fuera de las especificaciones ambientales o físicas de los sensores, como valores superiores o inferiores al rango de concentración aceptable del sensor o valores negativos por debajo de la incertidumbre del límite de detección, datos reportados durante las comprobaciones de control de calidad (p. ej., comprobaciones de cero y span), o periodos en los que el caudal está fuera del rango óptimo. En muchos casos, los indicadores de estado forman parte del funcionamiento normal de ciertos sensores, por ejemplo, cuando la temperatura cambia rápidamente durante el calentamiento. En otros casos, un exceso de indicadores de estado puede indicar un problema de hardware que requiere una acción correctiva (p. ej., caudales bajos debido a una bomba defectuosa o una ruta de flujo bloqueada).
Además de estas alertas automatizadas, se realiza una revisión manual de datos semanal de todos los sensores implementados. Durante estas revisiones semanales, se registran hasta seis semanas de mediciones recopiladas previamente puede serSe examinan simultáneamente para observar tendencias, como desviaciones o comportamientos erráticos, u otros comportamientos que actualmente no se detectan automáticamente. Los analistas tienen

acceso a visualizaciones de datos de series temporales en diferentes escalas de agregación temporal de múltiples dispositivos implementados en la misma área geográfica para detectar comportamientos anómalos.
También se visualizan correlaciones entre diferentes contaminantes, lo que puede proporcionar un contexto útil para comprender si un sensor en particular se está comportando de manera anormal (CO vs CO_2, por ejemplo). También se visualizan variables de diagnóstico como temperatura, presión, humedad relativa y caudal.

En el caso de implementaciones donde existen sitios NAAQS activos establecidos por agencias reguladoras en el área de mapeo, la revisión de datos puede basarse en los datos de estos sitios para contextualizar las tendencias a gran escala de diferentes contaminantes atmosféricos a lo largo del tiempo. Esta herramienta es útil para comprender si las características de los datos de los sensores de Aclima son anómalas o consistentes con las tendencias detectadas por la red reguladora. A menudo es posible detectar sesgos sistemáticos en la red o identificar sensores individuales que han presentado desviaciones sustanciales entre sus comprobaciones de calibración previas y posteriores a la implementación (Sección 5.4). Existen diversos factores que pueden influir en estas comparaciones y que deben tenerse en cuenta, como la distancia entre las mediciones móviles y estacionarias, el tipo de carretera, el tipo de sitio (es decir, cerca de la carretera, a escala de vecindario o a nivel de fondo) y la agregación temporal. En algunos casos, el tipo de método de medición utilizado en el sitio puede ser importante; por ejemplo, diferentes métodos FEM para $PM_{2.5}$ puede estar sesgado de diferentes maneras en relación con las mediciones gravitacionales del FRM.

Además, el equipo técnico puede configurar alertas personalizadas para alertar sobre condiciones específicas que puedan indicar un comportamiento atípico de un sensor determinado y que deban solucionarse. Por ejemplo, periodos prolongados de niveles elevados de CO_2 pueden indicar la posible toma de muestras del interior del vehículo. Esto puede alertar al equipo sobre posibles problemas y activar una intervención de forma más eficiente que la revisión semanal de datos estándar. Estas alertas personalizadas no marcan los datos automáticamente, sino que activan una revisión manual por parte de un analista, quien toma la decisión final sobre si es necesario revisar los datos.

Cuando se detectan problemas, se documentan y se les da seguimiento mediante un sistema interno de tickets. Cada ticket está vinculado a un vehículo específico, número de serie del sensor e ID de AMN, e incluye una descripción del síntoma, los sensores afectados, una recomendación de intervención, una descripción de cómo se resolvió el problema y la fecha de resolución. Si se requiere la omisión manual de datos debido a algún problema, esto se registra en el ticket de forma que se pueda rastrear en la base de datos de Aclima hasta el motivo de la omisión.

Algunos problemas pueden solucionarse de forma remota (por ejemplo, la actualización del firmware o la modificación de la configuración), pero la mayoría requieren la intervención física del conductor o de un técnico de hardware capacitado. Una vez identificados, los problemas se resuelvan lo antes posible. Al recibir una notificación, los ingenieros y el personal técnico de Aclima colaboran con los conductores para realizar reparaciones más sencillas en campo (Sección 3.2), como la reparación de un cable suelto o una tubería obstruida. Si no es posible solucionar el problema en campo o si el mantenimiento en campo afecta el rendimiento, el sensor (AMN si se encuentra dentro del AMN) se devuelve a uno de Alima's Laboratorios de Calibración Ambiental específicos de la ubicación para servicio y reparación, o para el reemplazo por un sensor (o AMN) recién calibrado. El dispositivo devuelto se repara, se recalibra y se vuelve a instalar cuando sea necesario.

Los problemas que se rastrean a través de este sistema se limitan a aquellos que afectan la calidad de los datos. Los conductores y el equipo de operaciones de la flota son responsables del mantenimiento rutinario del vehículo, lo que incluye la supervisión y la resolución de cualquier problema.

5.4 Medio y Correo-despliegue el recalibración

A intervalos regulares durante despliegue de campo, Las plataformas móviles son regresó a uno de Alima's Instalaciones de calibración para recibir calibraciones actualizadas.Cada El sensor está calibrado utilizando el mismo proceso que se describe para la calibración previa al despliegue (Sección 5.2).Dado que el AMN debe estar instalado en el Laboratorio de Calibración Móvil durante un período prolongado para ser recalibrado, el AMN que se va a calibrar se desinstala y se instala un AMN recién calibrado mientras se encuentra en las Instalaciones de Calibración de Aclima.CH_4/DO_2H_6y antes de Cristo Los sensores (que están físicamente separados de la unidad AMN principal) pueden recalibrarse mientras están instalados en la plataforma móvil en cuestión de 15 a 30 minutos típicamente; por lo tanto, la calibración de estos sensores se puede completar sin desinstalarlos de la plataforma móvil.

eventos de calibración que ocurren en medio o al final de una implementacióncumplir dos propósitos: 1) derivar un conjunto actualizado de parámetros de calibración y verificar que los sensores todavía funcionan según las especificaciones (es decir, cumplen los criterios de aceptación de la Tabla 4 utilizando los nuevos parámetros de calibración derivados) y pueden seguir siendo implementados y 2) verificar si los parámetros de calibración derivados previamente siguen siendo válidos (es decir, todavía cumplen los criterios de aceptación de la Tabla 4 utilizando los parámetros de calibración derivados previamente).Si los parámetros de calibración anteriores ya no son válidos, los datos recopilados entre los eventos de calibración anteriores y actuales Ajustados (consulte las Secciones 5.4.1 y 5.4.2 para más detalles). Los nuevos parámetros de calibración se aplican a los sensores para la recopilación de datos hasta el siguiente evento de calibración. Se requieren dos eventos de calibración para finalizar y verificar los datos recopilados. La frecuencia de los eventos de calibración determina la rapidez

con la que se pueden generar los datos verificados tras el inicio de un despliegue de campo y su cadencia.

Para SMMI, la frecuencia de recalibración será de aproximadamente 6 a 8 semanas, lo que permitirá el cronograma de entrega de datos verificados mensuales, 3 meses después de la recopilación. La calibración con un cronograma de 8 semanas permite un período de revisión final de aproximadamente 4 semanas antes de la fecha límite de entrega de datos.Consideramos que los datos recopilados dentro de las 2 semanas posteriores a un evento de calibración cumplen con los criterios de aceptación sin requerir un segundo evento de calibración.En otras palabras, un evento de calibración que tenga lugar en la tercera semana de un mes determinado es suficiente para poder verificar los datos de todo ese mes.

5.4.1 Corrección de la deriva

Si los criterios de aceptación Si no se cumplen los requisitos y se requiere un ajuste de calibración, el personal de Aclima revisa las calibraciones/verificaciones previas, durante y posteriores al despliegue con otros datos coubicados disponibles durante el despliegue. Estos datos coubicados pueden incluir datos de sitios regulatorios fijos.o sensores en otros Aclima Plataformas móviles desplegadas. Esta evaluación se utiliza para determinar si el cambio de calibración del sensor se produjo como un cambio gradual o si se desvió con el tiempo. Una vez determinado, se aplican los ajustes de calibración apropiados. Ciertos tipos de sensores son más propensos a desviarse con el tiempo (p. ej., CO_2 y CH_4) y se aplica una función de calibración lineal basada en las calibraciones previas y posteriores a la implementación, mientras que otros sensores se han encontrado ocasionalmente y experimentar un cambio rápidos en calibración Durante el despliegue. Una vez identificada la fecha y hora del cambio de escalón, se recalculan los parámetros del modelo del sensor después de ese período, se aplican y se actualizan las concentraciones revisadas para el período posterior al cambio de escalón. Si no hay un cambio evidente o si no se dispone de otros datos coubicados, se asume que la desviación es lineal a lo largo del tiempo entre las calibraciones previas y posteriores al despliegue.

Una vez determinados, se aplican los ajustes de calibración correspondientes. Si los nuevos valores de calibración aplicados permiten que el sensor cumpla con los criterios de aceptación (Tabla 4), en este punto del proceso de revisión, los datos se someten a una revisión final. De lo contrario, el problema se investiga con más detalle y los datos de ese sensor pueden excluirse de análisis posteriores. Todos los cambios se registran como métrica en una base de datos específica que documenta los ajustes identificados tras la calibración posterior a la implementación. Esta tabla contiene registros de calibración por dispositivo. Se almacena un historial de valores de calibración y sus correspondientes rangos de fechas como metadatos junto con los datos de 1 Hz, así como un registro del valor utilizado para cada marca de tiempo.

5.4.2 Corrección de la deriva: TVOC

El sensor de TVOC puede desviarse del rango aceptable según los MQO de la Tabla 4; sin embargo, dado que el sensor de TVOC es solo parcialmente cuantitativo, dada su amplia gama de sensibilidades a diferentes especies de COV (diferencias de más de dos órdenes de magnitud), sus valores de calibración no suelen ajustarse posteriormente. Se asume que otras incertidumbres son mucho mayores que la sensibilidad del sensor. Si los criterios de precisión fallan durante una comprobación de calibración posterior a la implementación, lo que indica un fallo del sensor, se aplican omisiones manuales a partir del momento probable del fallo.

5.4.3 Sesgo sistemático: Estimaciones de concentración ambiental Producto de datos

El sesgo sistemático se define como la diferencia entre las mediciones de concentración ambiental de Aclima y las mediciones que pueden considerarse una representación adecuada de la concentración real. Este sesgo siempre es posible al comparar dos redes de medición diferentes que pueden utilizar diferentes estándares primarios, métodos de detección y niveles de calidad de datos. Los sensores de la plataforma que no se calibran rutinariamente con un instrumento de referencia (CO, PM2.5 y carbono negro) pueden ser particularmente propensos al sesgo sistemático. Utilizamos datos de estaciones de referencia reglamentarias para realizar comparaciones entre estaciones móviles y estacionarias con el fin de evaluar y, si es necesario, corregir el sesgo en nuestras mediciones.Se pueden encontrar más detalles sobre este proceso en la Sección 5.0 del documento Validación y garantía de calidad de la estimación de concentración ambiental hiperlocal (Apéndice D de CAMP).

5.5 Rendimiento del sensor en campo

El rendimiento de todos los sensores Aclima que se han implementado ha sido evaluado Para el sesgo, la precisión, el límite de detección y la deriva del sensor, se utilizan diferentes enfoques (es decir, métricas de rendimiento) según los productos de datos relevantes asociados a cada tipo de sensor. Este análisis, realizado...ver muchos dispositivos a lo largo años de eventos de calibración, indica el rendimiento típico esperado para cada sensor mientras se implementa en vehículos y mapeo.

El Objetivo de Monitoreo 1 pretende mostrar áreas que tienen relativamente mayor y menor contaminación en una región geográfica con alta resolución espacial a través de la agregación de datos en estimaciones de concentración ambiental.. Para este tipo de análisis de dato Es importante caracterizar el sesgo y la deriva del sensor en concentraciones ambientales típicas y estima La precisión y los límites de detección se establecen en escalas temporales relevantes (por ejemplo, de segundos a minutos).

Los enfoques pertinentes para evaluación del desempeño son diferentes para Objetivo de Monitoreo 2, que busca identificar las ubicaciones probables de las fuentes de emisiones de contaminantes clave mediante la detección de eventos de mejora. Eles un tipo de análisis Tiene

como objetivo detectar y localizar grandes mejoras (con respecto al fondo ambiental) en concentraciones de contaminantes durante períodos cortos de tiempo (normalmente en el orden de segundos a minutos).El sesgo del sensor es importante solo en la medida en que se relaciona con las mediciones de la magnitud de estas mejoras por encima de la temperatura ambiente suelo más que en la magnitud absoluta del ambiente no suelo. Desde entonces el análisis se basa en la detección de diferencias de concentración del mismo sensor; el sesgo y la deriva en la ganancia del sensor son más importantes que el sesgo y la deriva en la desviación del sensor. La precisión para estos contaminantes se caracteriza a 1 Hz, lo que define el límite inferior en el que...mejora rápida(~segundos) se pueden distinguir de forma fiable del ruido aleatorio.Inestabilidad de la línea base y la deriva del sensor puede afectar la precisión y el sesgo en escalas de tiempo más largas(minutos a horas y más) pero se pueden ignorar en gran medida para los sensores utilizados exclusivamente en el realce datos análisis.

Las siguientes tablas contienen resultados para el Data Indicadores de calidad (DQI) para cada sensor, que representan las contribuciones de incertidumbre a nivel de dispositivo a nuestros dos objetivos de seguimiento(Tablas 5 y 6). Los indicadores de calidad de datos (DQI) utilizados para describir el rendimiento del sensor son: sesgo, deriva, precisión y límite de detección. Las métricas y los experimentos utilizados para cuantificar estos indicadores varían según su método de cálculo, el sensor y el producto de datos, y estos detalles se presentan a continuación para cada producto ata A continuación se proporciona una descripción general de cada uno de los DQI aplicados a los dos proyectos de Aclima.general producto de datos tipos:

- Sesgo de medición ambiental:Errores típicos en la precisión de los sensores inmediatamente después de un evento de calibración y evaluados para controles de calibración previos a la implementación.
- Deriva de la medición ambiental:Errores típicos en la precisión de los sensores al final de su implementación en relación con las evaluaciones previas a la implementación.
- RealceDeriva de ganancia de medición: Para TVOC, CO, NO, carbono negro, PM2.5, CH_4, y C_2H_6, loErrores típicos en la precisión (como porcentaje) al final de su implementación en relación con las evaluaciones previas a la implementación
- Precisión de la medición ambiental:Diferencias aleatorias de acuerdo entre dos sensores del mismo tipo en concentraciones ambientales típicas, definidas en agregaciones de tiempo específicas y evaluadas para implementaciones previas y posteriores.
- Límite de detección
    - Estimaciones de concentración ambiental Diferencias aleatorias de concordancia entre dos sensores del mismo tipo, ubicados conjuntamente, evaluadas a concentraciones ambientales de fondo (definidas por las concentraciones más bajas del percentil 15 e inferiores) y calculadas como la desviación estándar (2σ) de las diferencias entre ambos sensores. Nota: Estos

cálculos se basan en datos ambientales y no en evaluaciones de laboratorio tradicionales con aire a cero. Para contaminantes que normalmente no alcanzan una concentración cero en la atmósfera (p. ej., CO_2, CH_4, CO, O_3), estos valores deben interpretarse como los valores mínimos detectables por encima de las concentraciones de fondo típicas.

- Realcemediciones:Pico mínimo detectable por encima del fondo a una frecuencia de muestreo de 1 Hz, determinado como la desviación estándar (3σ) de los valores informados mientras se muestrea un gas de referencia de concentración constante.

Tabla 5:Ambiente Producto de datos de concentración: rendimiento típico en campo[1]

Contaminante	Inclinación[2]	Deriva	Precisión			Límite de detección (2σ)		
			1 segundo	8 segundos	170 años	1 segundo	8 segundos	170 años
NO (ppb)[3]	19%	22%	9.7	4.0	1.0	15.6	9.6	2.2
NO_2(ppb)	2.4	4.6	4	3.1	2.1	6.4	5.2	3.4
EL_3(ppb)	1.5	1.5	1.8	1.8	1.2	3	2.8	1.8
CO (ppm)	0.03	0.03	0.028	0.026	0.023	0.028	0.02	0.012
CO_2(ppm)	5.5	18.1	3.4	3.3	3	2.4	2.2	2
CH_4(ppb)	21	41	37	34	27	68	74	60
do_2H_6(ppb)[4]	2	4	2.5	2.4	2.3	5.2	5.0	2.8
$P.M_{2.5}$ (ug/m3)	0.6	0.6	1.4	0.9	0.5	1.6	1.0	0.4
BC (ug/m3)	0,23	Por determinar	1.7	0.6	0,26	2.8	1.2	0,72

1. Estos valores representan nuestras mejores estimaciones hasta la fecha del rendimiento típico del sensor y podrían cambiar a medida que se evalúen datos adicionales. El valor típico se define como la mediana de todos los sensores probados y no constituye una especificación de rendimiento.
2. Este sesgo no tiene en cuenta el sesgo sistemático que puede surgir de las diferencias en la respuesta del sensor al mapear en condiciones ambientales distintas a las que se producen durante la calibración. Véase la sección 5.2 del documento "Sistema de Validación y Aseguramiento de la Calidad de la Estimación de la Concentración Ambiental Hiperlocal".

3. Para el sensor NO: como resultado de cómo se procesan los datos de este sensor, solo se espera que el sesgo y la deriva se manifiesten en la ganancia del sensor, por lo que los valores se representan como un porcentaje basado en errores en la pendiente frente a la referencia.
4. Consulte la descripción de las limitaciones del sensor de etano en la Sección 5.6.1

La agregación temporal utilizada para caracterizar la precisión y el límite de detección afecta el valor calculado y se especifica para cada caso. Como es habitual, se observan valores más bajos (que indican mayor precisión y un LOD mejorado) a tiempos de integración más largos. Para el objetivo de monitorización de la concentración ambiental, las escalas de tiempo relevantes para la agregación son 1 segundo (correspondiente a la frecuencia de muestreo del sensor), 8 segundos (que es el tiempo típico que tarda una plataforma móvil en recorrer 100 m) y 170 segundos, que es el número de segundos agregados en una estimación de la concentración ambiental para una carretera de 100 m con 20 visitas. Por lo tanto, la precisión y las estimaciones del LOD a 170 segundos son una aproximación de la contribución de la precisión aleatoria del sensor a la incertidumbre general en las agregaciones a nivel de segmento, pero no incluye otras fuentes de incertidumbre, como la deriva o la variabilidad entre sensores en las 20 visitas, que se recopilan de forma no contigua durante el período de recopilación de la Estimación de la Concentración Ambiental. Como se describe en el documento "Sistema de Validación y Aseguramiento de la Calidad de la Estimación de la Concentración Ambiental Hiperlocal", cada agregado espacial de la Estimación de la Concentración Ambiental recibe un intervalo de confianza que describe mejor la incertidumbre de precisión real, que incluye una combinación de la incertidumbre de la medición y la variabilidad atmosférica a lo largo del tiempo.Tenga en cuenta que, dependiendo de la implementación del enfoque de agregación espacial y temporal, así como del enfoque de monitoreo, la cantidad de segundos agregados puede ser diferente de este caso base de ejemplo, pero esto proporciona una aproximación general de cómo la incertidumbre de la medición se integra en las estimaciones de concentración ambiental.

Tabla 6: Productos de mejora del rendimiento en el campo

Contaminante	Deriva de ganancia	Límite de detección (3σ)
TVOC (ppb)	32%	0.6
CH_4(ppb)	1%	7.5
do_2H_6(ppb)	1%	1.2
BC (y/m3)	3%	5.1
NO (ppb)	22%	29.1
CO (ppb)	6%	85
PM2.5 (ug/m3)	10%	4.2

5.6 Limitaciones importantes para sensores específicos

5.6.1 Etano (C_2H_6)

Las mediciones de etano pueden presentar una inestabilidad de referencia significativa en escalas horarias, y el grado de desviación puede variar considerablemente entre sensores individuales. Estos artefactos son significativos en relación con las concentraciones ambientales de etano (normalmente alrededor de 1 ppb o menos); por lo tanto, Aclima no recomienda el uso de $C._2H_6$En los casos de uso típicos del producto de datos de concentración ambiental, los datos de etano son útiles principalmente cuando el CH 4 Las mejoras son altas (~por encima de los límites de precisión informados) para determinar si la fuente de metano es de naturaleza biogénica o termogénica.

5.6.2 p. m.$_{2.5}$

El $PM_{2.5}$ sensor funciona mediante el dimensionamiento y conteo de partículas en seis canales distintos, de entre 0,3 y 2,5 µm de diámetro, y la conversión a masa mediante un modelo de sensor que incluye supuestos sobre la densidad de partículas, las propiedades ópticas y la forma. Se sabe que estos parámetros varían según la distribución del tamaño y la composición química del aerosol, lo que resulta en diferentes parámetros óptimos del modelo de sensor, específicos de cada ubicación. Como parte de las implementaciones en nuevas zonas geográficas, evaluamos cualquier posible sesgo sistemático en su conjunto, en lugar de a nivel de sensor individual, mediante comparaciones con los monitores regulatorios locales, cuando estén disponibles.En el documento adjunto “Sistema de garantía de calidad de estimación de concentración ambiental hiperlocal” se analiza con más detalle cómo se gestiona esto (Apéndice D del CAMP).

5.6.3 Óxido nítrico (NO)

El sensor de NO es propenso a la desviación de la línea base, lo cual se tiene en cuenta mediante un ajuste de la línea base como parte del procesamiento de datos. Como resultado, las mediciones finales pueden ocultar algunas de las tendencias espaciales y temporales más amplias en las concentraciones ambientales de NO. Además, el límite de detección del sensor de NO es alto (a 1 y 8 segundos).frecuencia de medición), en relación con las concentraciones ambientales típicas en condiciones limpias.Por lo tanto, las mediciones de NO indican principalmente lugares y momentos en los que el NO está presente en altas concentraciones y cerca de fuentes, lo que produce picos pronunciados en la serie temporal en escalas de tiempo de segundos a minutos.

5.6.4 Dióxido de nitrógeno (NO_2)

El NO_2 El sensor requiere el uso del O_3 sensor en la derivación de un NO_2 medición porque el sensor es sensible tanto al NO_2 y O_3. Como resultado, el sesgo en el O_3 sensor o el NO_2 sensor puede afectar el NO derivado$_2$ medición y la magnitud del error pueden variar según las

concentraciones relativas de ambos contaminantes. Los valores de incertidumbre que se presentan en la Tabla 5 reflejan la incertidumbre de ambos sensores y constituyen una descripción realista de la incertidumbre generada durante las implementaciones debido a esta fuente de error.

5.6.5 Compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC)

El sensor TVOC funciona según el principio de fotoionización, que permite la detección de la mayoría de los COV, pero no proporciona información sobre los compuestos específicos detectados. Si bien el sensor TVOC es sensible a una amplia gama de COV, su sensibilidad varía según las diferentes clases de COV, abarcando varios órdenes de magnitud. El sensor está calibrado con isobutileno, por lo que las unidades reportadas representan concentraciones equivalentes de isobutileno. Los factores de respuesta para muchos compuestos, en relación con el isobutileno, pueden variar significativamente; por ejemplo, el benceno tiene un factor de respuesta aproximadamente el doble que el del isobutileno, mientras que el etileno tiene una respuesta aproximadamente 0,1 veces mayor.

El sensor TVOC también es propenso a la desviación de la línea base en diversas escalas de tiempo. Sin embargo, en lugar de intentar aproximarse a las concentraciones ambientales, el producto de datos de tóxicos en el aire utiliza mejoras (del orden de segundos a minutos) en la señal con respecto a la línea base para detectar puntos críticos localizados. Por esta razón, la desviación de la línea base no es un aspecto crítico del rendimiento del sensor para su uso previsto.

Los criterios de aceptación para r^2 pendiente y la tolerancia de los sensores de COV son mayores que las de CO y PM. Esto se debe en parte a la inestabilidad de la línea base entre los diferentes sensores, pero también es probable que existan diferencias en los factores de respuesta a diferentes COV entre sensores. Por lo tanto, al muestrear mezclas reales de COV ambientales, la concordancia entre sensores puede variar según la mezcla exacta y, por lo tanto, la variabilidad entre sensores durante las implementaciones puede ser considerable (de -50 % a +100 %) en algunos casos. La concordancia típica entre sensores es del orden de +/-30 % (como se muestra en la Tabla 6).

6.0 Datos Etapas

Tras la ingesta inicial de datos sin procesar de los sensores de Aclima, estos pasan por un proceso de procesamiento que los transforma en nuestros productos finales. Si bien los datos sin procesar nunca se modifican ni eliminan directamente de la base de datos, a menudo se realizan modificaciones a los datos históricos en diversas etapas del proceso de procesamiento como parte de nuestras operaciones estándar de control de calidad para garantizar la máxima calidad de datos en nuestros productos finales.

Para comunicar al usuario cuándo los datos subyacentes de 1 Hz (0,5 Hz para ozono) son definitivos y no sufrirán más cambios, Aclima utiliza un sistema simple de etapas de datos que identifica cada punto de datos de 1 Hz mediante una de dos etapas posibles: (1) Preliminar (es probable que los datos cambien) y (2) Verificado (deben considerarse definitivos). La etapa de datos de cada medición de 1 Hz se propaga posteriormente a los productos de datos que agregan los datos de 1 Hz. Por este motivo, se pueden construir diferentes productos de datos a partir de una combinación de datos preliminares y verificados. Cada producto de datos que agrega estos datos de 1 Hz permanece en la etapa preliminar hasta que el 100 % de los datos de 1 Hz utilizados se etiqueta como verificado. Tenga en cuenta que las etapas de datos solo se aplican a los datos procesados y no a los datos sin procesar, ya que estos últimos en la base de datos de ingesta nunca se modifican ni eliminan.

Los datos preliminares están disponibles dentro de las 24 horas posteriores a su recopilación y han pasado por varias etapas de procesamiento. El primer paso es la conversión de las mediciones sin procesar en magnitudes físicas calibradas que representan las concentraciones de contaminantes. En esta etapa se utilizan los parámetros de entrada de calibración derivados de la calibración previa al despliegue más reciente. A continuación, los datos pasan por un paso automatizado de señalización de estado basado en umbrales predeterminados de concentraciones o variables de diagnóstico asociadas, diseñado para identificar y eliminar la mayor cantidad posible de datos de baja calidad sin requerir intervención manual. Las banderas de estado se clasifican en dos categorías básicas: amarillas o rojas. Una bandera amarilla indica datos que se consideran útiles, pero que probablemente presentan una incertidumbre ligeramente mayor, por ejemplo, si el rango de concentración medido está fuera del rango óptimo de concentración del sensor. Actualmente, el único caso en el que se aplica una bandera amarilla a los datos de Aclima es cuando el sensor de PM mide por encima del rango específico del fabricante. Una bandera roja indica que los datos no son válidos y se excluyen de análisis posteriores, pero se mantienen en el archivo de datos sin procesar. Las banderas rojas se aplican como resultado de operaciones de sensor estándar (por ejemplo, durante controles de cero del sensor PM), durante períodos de calentamiento del sensor o si hubo un problema obvio donde la integridad del sistema de flujo (frente a una ligera desviación en la velocidad de la bomba, es decir, dentro del 15 % del valor nominal).

En la etapa preliminar, los datos se modifican rutinariamente y deben considerarse susceptibles de cambio. Estas modificaciones suelen clasificarse en dos categorías: 1) datos eliminados por omisiones manuales derivadas de problemas detectados durante la revisión rutinaria de datos, o 2) actualizaciones de los parámetros de entrada de calibración debido a la desviación del sensor detectada durante las comprobaciones de calibración posteriores a la implementación. Ocasionalmente, también pueden producirse cambios en los umbrales de los indicadores de estado o modificaciones en el modelo de calibración del sensor subyacente, pero esto es menos frecuente y no forma parte de las operaciones rutinarias.

Cuando los sensores se someten a comprobaciones de calibración posteriores a la implementación, se activa una revisión manual de todos los datos recopilados por el sensor entre su calibración previa y posterior. Esta revisión manual es similar a la revisión semanal rutinaria a mitad de la implementación (Sección 5.3), pero el analista revisa toda la implementación a la vez, en lugar de solo los datos de la semana más reciente. Además, el analista revisa metadatos adicionales asociados con la implementación, incluyendo registros de todos los problemas detectados durante la misma, cualquier hallazgo relevante del mantenimiento posterior a la implementación que pueda afectar la calidad de los datos, los resultados de la calibración posterior a la implementación y cualquier corrección de desviación aplicada.

La responsabilidad del revisor es asegurarse de que se hayan identificado y aplicado todas las omisiones manuales y los ajustes de calibración necesarios. Una vez comprobado esto, el revisor marca el sensor como verificado en un sistema de seguimiento. Cada marca de verificación se aplica a un sensor y vehículo específicos, con fechas de inicio y fin asociadas a los eventos previos y posteriores a la calibración, respectivamente. Una vez que esto ocurre, cada punto de datos de 1 Hz entre las fechas de inicio y fin de ese sensor se marca como verificado en la base de datos. Una vez marcados como verificados, los datos no sufrirán más cambios. Los productos de datos que utilizan datos verificados de 1 Hz pueden sufrir revisiones, lo que cambia la forma en que se procesan y agregan los datos subyacentes de 1 Hz. Estos cambios se rastrean y se comunican mediante el control de versiones del software. Sin embargo, los datos verificados subyacentes utilizados como entrada para los productos de datos no cambiarán.

8.0Citas

Apte, J.S., Messier, K.P., Gani, S., Brauer, M., Kirchstetter, T.W., Lunden, M.M., Marshall, J.D., Portier, C.J., Vermeulen, R.C.H. y Hamburg, S. 2017. Mapeo de la contaminación atmosférica de alta resolución con vehículos de Google Street View: Explotación de macrodatos. Environ. Sci. Technol. 51, 6999–7008.https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00891.

Chambliss, S. E., Preble, C. V., Caubel, J. J., Cados, T., Messier, K. P., Alvarez, R. A., LaFranchi, B., Lunden, M., Marshall, J. D., Szpiro, A. A., Kirchstetter, T. W. y Apte, J. S. 2020. Comparación de mediciones de carbono negro en sitios móviles y fijos para el mapeo de la contaminación urbana de alta resolución. Environ. Sci. Technol. 54, 13, 7848–7857.https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01409.

EPA. 2002. Guía para planes de proyectos de garantía de calidad, EPA QA/G-5. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, DC.https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/g5-final.pdf.

Registro Federal. 2022. 40 CFR, Parte 58, Apéndice A, 4. Cálculos para la evaluación de la calidad de los datos. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, D. C.https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-C/part-58

Guan, Y., Johnson, M.C., Katzfull, M., Mannshardt, E., Messier, K.P., Reich, B.J., y Song, J.J. 2019. Análisis espaciotemporal a escala fina de la contaminación atmosférica mediante monitores móviles en vehículos de Google Street View. Revista de la Asociación Estadounidense de Estadística. 115(531), 1111-1124.https://doi.org/10.1080/01621459.2019.1665526.

Messier, K.P., Chambliss, S.E., Gani, S., Alvarez, R., Brauer, M., Choi, J.J., Hamburg, S.P., Kerckhoffs, J., Lafranchi, B., Lunden, M.M., Marshall, J.D., Portier, C.J., Roy, A., Szpiro, A.A., Vermeulen, R.C.H. y Apte, J.S. 2018. Mapeo de la contaminación atmosférica con vehículos de Google Street View: Enfoques eficientes con monitoreo móvil y regresión del uso del suelo. Environ. Sci. Technol. 52(21), 12563– 12572.https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03395.

Seinfeld, J.H. y Pandis, S.N. (2016). Química y física atmosférica: De la contaminación atmosférica al cambio climático, 3.ª ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ.Química y física atmosféricas: de la contaminación atmosférica al cambio climático, 3.ª edición, pág. 9781118947401.