



Expansión de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire REDSPIRA

**Redspira - Fundación para la Investigación de la Calidad del Aire, A.C.
Air Pollution Control District & Imperial - Mexicali Air Quality Task Force
BORDER 2020 SOLTA-C-19-008**

**Cerro de las campanas 384
Insurgentes Oeste,
21000 Mexicali, Baja California, México**

Dirigido a:

Oficina Regional de la EPA

Firma de aprobación (requerida antes del inicio del proyecto)

_____ Date:

Administradora del Proyecto
Gabriela Patricia Torres Galaz

_____ Date:

Oficial de Seguridad de Calidad del Proyecto
Iván Alejandro Martínez Zazueta

_____ Date:

Administrador del Proyecto USEPA
Lorena Lopez-Power

_____ Date:

Administradora de la Rama de Aseguramiento de la Calidad
Audrey L. Johnson

Tabla de Contenidos

1.0 ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	4
1.1 Título y Aprobación	4
1.2 Tabla de Contenidos	4
1.3 Lista de Distribución	4
1.4 Organización del Proyecto	5
1.5 Definición del Problema / Antecedentes	6
1.6 Descripción y Calendarización del Proyecto / Actividades	7
1.7 Objetivos de Calidad y Criterios para la Medición de Datos y Modelos	11
1.7.1 Objetivos y Decisiones del Proyecto	12
1.8 Capacitación Especial / Certificación	12
1.9 Documentación y Registros	13
1.9.1 Distribución del Plan del Proyecto de Aseguramiento de Calidad	14
1.10 Escala de Monitoreo y Ubicación de los Sensores	14
1.10.1 Escala de Monitoreo	14
1.10.2 Ubicación	14
2.0 GENERACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS	17
2.1 Requerimientos para la Adquisición de Datos	17
2.1.1 Diseño Experimental	17
2.1.2 Métodos de Muestreo	17
2.1.3 Manejo / Custodia de Muestras y Datos	18
2.1.3.1 <i>Diseño de la Base de Datos</i>	18
2.1.3.2 <i>Limpieza de Datos (Revisión, análisis y verificación de los datos)</i>	19
2.1.3.2.1 <i>Asignación de Banderas durante Limpieza de Datos (Revisión y Análisis de los Datos)</i>	20
2.1.4 Métodos Analíticos	21
2.1.5 Control de Calidad	22
2.1.5.1 <i>Calibración/Co-ubicación (Collocation) Inicial</i>	22
2.1.5.2 <i>Comprobación de conexión</i>	22
2.1.5.3 <i>Verificación de compleción de datos.</i>	23
2.1.5.4 <i>Consistencia espacial</i>	23
2.1.6 Pruebas de Instrumentos / Equipos, Inspección y Mantenimiento	23
2.1.7 Frecuencia de Calibración del Instrumento / Equipo	25
2.1.8 Uso de Datos Existentes	26
2.2 Manejo de Datos	26
3.0 EVALUACIÓN Y SUPERVISIÓN	27
3.1 Evaluación / Supervisión y Acciones de Respuestas	27
4.0 DESARROLLO O MODIFICACIÓN DEL MODELO	28

4.1 Aplicabilidad	28
4.2 Requerimientos del Plan del Proyecto para su Desarrollo o Modificación	29
4.2.1 Evaluación del Marco Modelo	30
5.0 EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL MODELO	31
6.0 REPORTES PARA LA ADMINISTRACIÓN	33
7.0 REFERENCIAS	34
8.0 ANEXOS	35
8.1 ANEXO 1: ACTIVIDADES / TAREAS DEL PLAN DE TRABAJO	35
8.2 ANEXO 2: BASE DE DATOS	41
8.3 ANEXO 3: FORMATO DE INSTALACIÓN DE SENSOR REDSPIRA	43
8.4 ANEXO 4: FORMATO OPERATIVO REDSPIRA	45
8.5 ANEXO 5: FORMATO BITÁCORA DE SERVICIOS REDSPIRA	46
8.6 ANEXO 6: FORMATO REPORTE DE ESTUDIO DE COUBICACIÓN	47

1.0 ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

1.1 Título y Aprobación

Ver página 1.

1.2 Tabla de Contenidos

Ver página 2.

1.3 Lista de Distribución

Nombre	Rol	Organización	Información de Contacto
Alberto Mexía Sánchez	Líder del Proyecto	Redspira, Fundación para la Investigación de la Calidad del Aire, A.C.	+5216861579600 amexia@certuit.com Cerro de las campanas 384, Insurgentes Oeste 21000 Mexicali, Baja California, México
Belén López	Administradora de Fondo	Imperial County Air Pollution Control District (ICAPCD)	(442) 265-1800 belenleon@co.imperial.ca.us 150 S. 9th Street El Centro, CA 92243-2839
Gabriela Patricia Torres Galaz	Administradora de Proyecto	Redspira, Fundación para la Investigación de la Calidad del Aire, A.C.	+5216865433724 gpatytorres@gmail.com Cerro de las campanas 384, Insurgentes Oeste 21000 Mexicali, Baja California, México
Iván Alejandro Martínez Zazueta	Coordinador de Tecnología y Estadística	Redspira, Fundación para la Investigación de la Calidad del Aire, A.C.	+5215539350488 imartinez@certuit.com Cerro de las campanas 384, Insurgentes Oeste 21000 Mexicali, Baja California, México
José Luis Zamora García	Coordinador de Operaciones	Redspira, Fundación para la Investigación de la Calidad del Aire, A.C.	+5216861311510 jzamora@certuit.com Cerro de las campanas 384, Insurgentes Oeste 21000 Mexicali, Baja California, México
Alejandro Figueroa Quintanar	Coordinador de Infraestructura	Redspira, Fundación para la Investigación de la Calidad del Aire, A.C.	+5216861614973 afigueroa@certuit.com Cerro de las campanas 384, Insurgentes Oeste 21000 Mexicali, Baja California, México
Fernando Amador	Asesor del Proyecto	California Air Resources Board	(626) 5756635 fernando.amador@arb.ca.gov 9528 Telstar Ave. El Monte, CA 91731
Alberto Raúl Tovar	Asesor del Proyecto	Secretaría de Economía Sustentable y Turismo (SEST) Gobierno del Estado de Baja California	+526865662268 ext. 5623 artovar@baja.gob.mx Blvd. Benito Juárez 1 esquina con Francisco L. Montejano, Col. Esteban Cantú, 21260, Mexicali, Baja California
Lorena López-Power	Administradora de Proyecto USEPA	EPA San Diego	lopez-powers.loreana@epa.gov
Audrey L. Johnson	Administradora de la Rama de Aseguramiento de Calidad USEPA	US EPA Región 9	johnson.audreyl@epa.gov

1.4 Organización del Proyecto

Líder del Proyecto: Alberto Mexia Sánchez. Será el responsable del desarrollo, implementación y seguimiento de alianzas y relaciones estratégicas, así como el representante de Redspira frente a autoridades gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil, instituciones académicas, y el sector empresarial tanto en México como en Estados Unidos. Tiene experiencia en desarrollo de negocios, administración de empresas y administración de proyectos de tecnología.

Administradora del Fondo: Belén López. Se encargará de la administración de los recursos y el seguimiento del plan de trabajo. Desde hace un año es la Co-Coordinadora por Estados Unidos en el Grupo de Trabajo para la Calidad del Aire (GTCA por sus siglas en inglés). Tiene 11 años de experiencia en temas de la agenda Border 2020.

Administradora del Proyecto: Gabriela Patricia Torres Galaz. Será la responsable de la gestión y administración del proyecto. Tiene experiencia en administración de organizaciones de la sociedad civil, gestión de fondos, desarrollo e implementación de programas de voluntariado, y relación con medios de comunicación.

Coordinador de Tecnología y Estadística: Iván Alejandro Martínez Zazueta. Será responsable de elaborar, aprobar, administrar, implementar y supervisar del Plan del Proyecto de Aseguramiento de Calidad (QAPP). Se encargará además del funcionamiento, mantenimiento y seguridad de la plataforma virtual Redspira, así como la estadística y manejo de datos. Tiene experiencia en desarrollo de software y plataforma GIS.

Coordinador de Operaciones: José Luis Zamora García. Es el líder de campo encargado de la capacitación de instaladores, así como la operación, mantenimiento y gestión de la red de sensores. Tiene experiencia en la operación de Redspira Mexicali.

Coordinador de Infraestructura: Alejandro Figueroa Quintanar. Será el responsable del funcionamiento de la infraestructura de hardware y software del proyecto. Revisará y dará mantenimiento periódicamente al servidor de aplicaciones, además de realizar los respaldos de seguridad de la base de datos y software.

Asesor Técnico Externo: Fernando Amador. Se encargará de brindar la asesoría a fin de integrar un QAPP validado por expertos, así como apoyar con la revisión de los reportes de actividades mensuales relacionados con el mismo. Se ha desempeñado como supervisor de los técnicos encargados del monitoreo de la calidad del aire en la Junta de Recursos del Aire de California (CARB por sus siglas en inglés) desde hace varios años.

Asesor Técnico Externo: Alberto Raúl Tovar. Se encargará de brindar asesoría a fin de integrar un QAPP validado por expertos, así como apoyar con la revisión de los reportes de actividades mensuales relacionados con el mismo. Es biólogo de profesión y ha trabajado durante varios años como Jefe del Departamento de Calidad del Aire en la extinta Secretaría de Protección al Ambiente del Estado, hoy Secretaría de Economía Sustentable y Turismo, participando en la elaboración y actualización de Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con esta área.

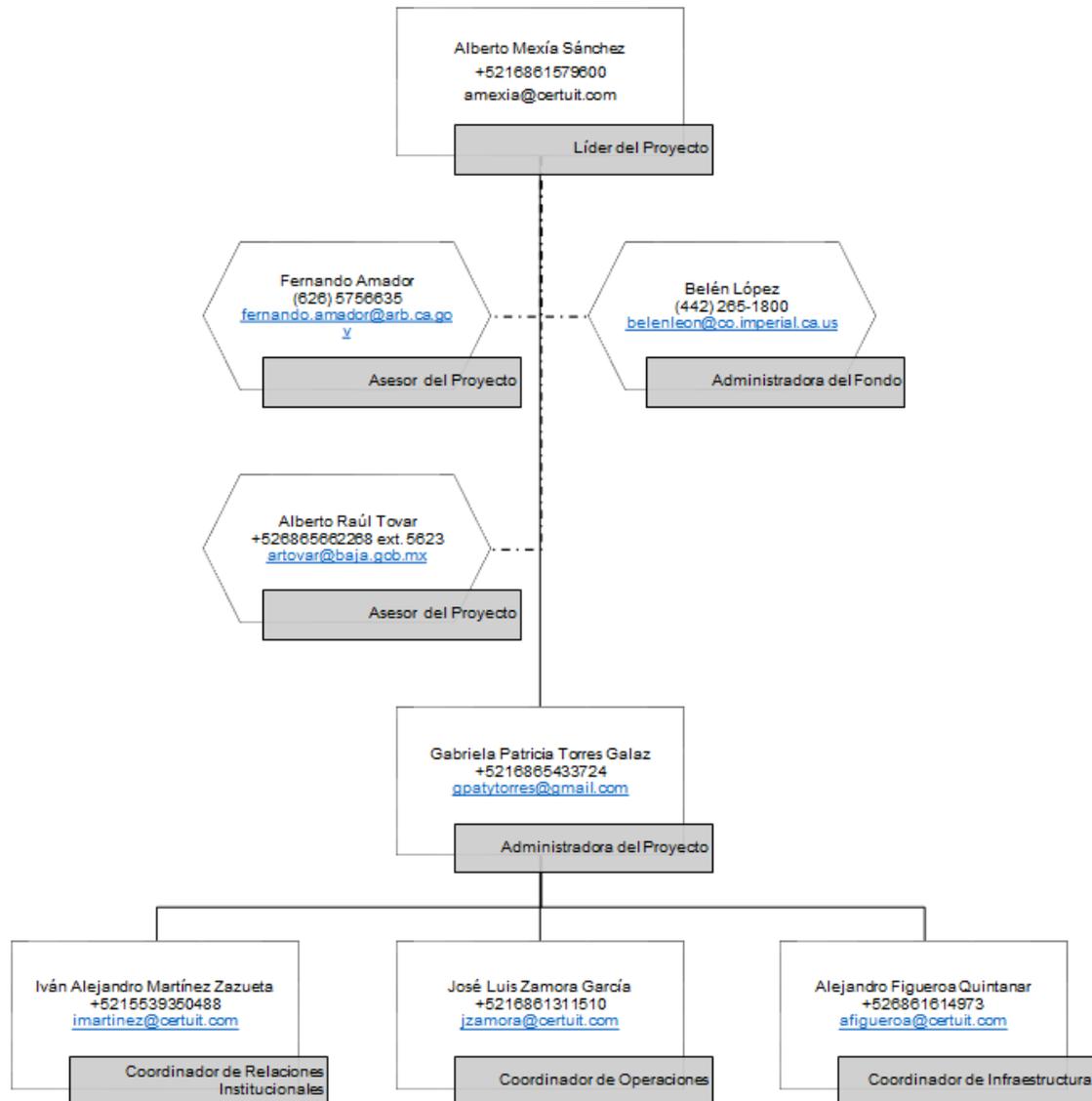


Diagrama de la Organización

1.5 Definición del Problema / Antecedentes

La importancia del problema de la calidad del aire se ha acrecentado debido a los peligrosos niveles de contaminación que se han alcanzado en muchas ciudades del mundo, ocasionando problemas de salud a la población, tales como rinitis alérgica, agudizaciones de asma o incluso enfermedades pulmonares obstructivas crónicas.

Al respecto, en la reciente NOM-172-SEMARNAT-2019 Lineamientos para la Obtención y Comunicación del Índice de la Calidad del Aire y Riesgos a la Salud, se hace referencia a que “*El estudio de carga global de la enfermedad publicado por el Institute for Health Metrics and Evaluation en el año 2010 ubicó a la contaminación del aire como la séptima causa de muerte en el mundo con aproximadamente 3.2 millones de muertes atribuibles. En América Latina y el Caribe se ubicó como la onceava causa de muerte, con más de 45 mil muertes atribuibles; mientras que para México representó la novena causa de muerte, con más de 20 mil muertes atribuibles. Por su parte, las estimaciones correspondientes al año 2012 de la Organización Mundial de la Salud (OMS), indican que la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año más de 3 millones de muertes prematuras (WHO, 2016)*”.

Por esta razón, medir y evaluar el impacto de la contaminación del aire es indispensable. Y para tal efecto, se requiere un sistema de monitoreo de la calidad del aire que nos permita conocer los índices de la contaminación en diferentes puntos de una zona geográfica determinada, de forma precisa, eficiente y económica, a fin de ubicar sus fuentes y diseñar las estrategias adecuadas para reducirla, procurando que no exceda los niveles establecidos por las instituciones oficiales.

A pesar de que la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en su artículo 112 señala que los gobiernos de las entidades federativas, los Municipios y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, deberán establecer y operar sistemas de monitoreo de la calidad del aire, en buena parte del territorio nacional no se realizan estas mediciones. De acuerdo con la Secretaría de Salud Federal, sólo 4 de cada 10 mexicanos viven en ciudades o zonas en donde se realiza un monitoreo de la calidad del aire, en tanto 15 estados no cuentan con redes de monitoreo atmosférico que formen parte del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA).

Mexicali sólo cuenta con 3 estaciones de monitoreo normativas, todas en la ciudad, las cuales resultan insuficientes atendiendo al tamaño del municipio y a la creciente población. Desafortunadamente el costo de cada estación asciende a \$5'000,000.00 de pesos, en tanto el mantenimiento anual a \$500,000.00 (MXN), por lo que su adquisición es financieramente poco viable.

La Red Colaborativa de Monitoreo Ambiental REDSPIRA, surge en el año 2018 como una iniciativa de responsabilidad social con el propósito de ofrecer una solución a esa problemática. Esta plataforma tecnológica se encuentra integrada por hardware y software. El hardware se compone por sensores de bajo costo instalados en diferentes puntos de una determinada área geográfica, diseñados para medir la contaminación del aire; en tanto el software comprende tanto aplicaciones móviles como un portal web que despliega de manera georreferenciada la ubicación de los sensores y sus mediciones.

Una ventaja que ofrece REDSPIRA, gracias a su naturaleza colaborativa, consiste en su capacidad para integrar infraestructura de monitoreo y datos sobre calidad del aire, recolectados tanto por autoridades ambientales como por ciudadanos, en una plataforma común. De hecho, gracias a esta característica y a los convenios celebrados con las autoridades competentes, se incluyen en la red las mediciones arrojadas por las estaciones de monitoreo oficiales.

Nuestra solución permite la creación o fortalecimiento de las redes de monitoreo en regiones en donde, debido a restricciones presupuestales, la adquisición de estaciones normadas no es una opción, o bien, los costos de operación o mantenimiento no serían viables, obstaculizando el monitoreo óptimo de la calidad del aire.

1.6 Descripción y Calendarización del Proyecto / Actividades

Con el proyecto beneficiado por la convocatoria Border 2020 se pretende atender a las comunidades de Imperial y el Valle de Mexicali, con una población estimada de 180 mil y 1 millón, respectivamente, las cuales tendrán acceso a una aplicación móvil y un sitio web para consultar información en tiempo real, certera, confiable y verificable, sobre la calidad del aire que respiran.

Esta herramienta permitirá a los beneficiarios tomar mejores decisiones para proteger su salud, y les proveerá de información útil para evitar o reducir actividades que producen contaminación. Adicionalmente, las autoridades de los Estados Unidos y México tendrán una herramienta de consulta para conocer la calidad del aire, identificar las fuentes de emisión y las áreas geográficas en donde se ubican, entre otros datos importantes para desarrollar e implementar políticas públicas a fin de controlar, reducir y mitigar la contaminación atmosférica.

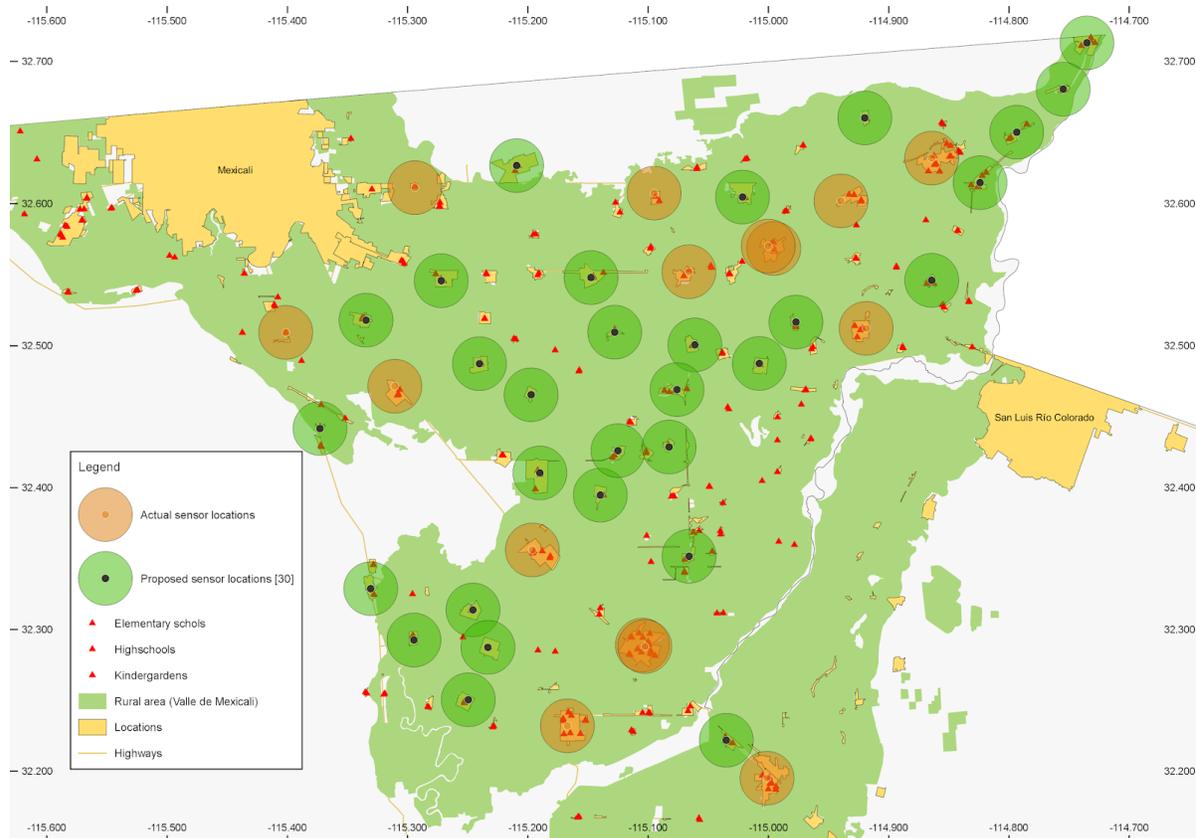
Esta colaboración es crítica para el éxito del proyecto, por lo que se ha acordado el intercambio de información con las autoridades municipales y estatales de Baja California. Actualmente estamos en la etapa de redacción de los instrumentos legales con los funcionarios públicos que recién han iniciado su encargo en la Administración Pública de ambos órdenes de gobierno.

Por cuanto hace a la relación con autoridades de Estados Unidos, Redspira forma parte del Grupo de Trabajo de Calidad del Aire, lo que nos permite intercambiar herramientas, información y experiencias con autoridades de ambos lados de la frontera, contribuyendo con la consecución de sus fines, específicamente aquellos relacionados con el monitoreo de las concentraciones de material particulado y la concientización sobre la calidad del aire en el Valle Imperial y el de Mexicali.

Redspira dirige sus esfuerzos a la “*reducción de la contaminación del aire*”, particularmente al objetivo identificado como “*realizar monitoreo, inventario de emisiones u otros estudios para entender mejor las alternativas para controlar las fuentes de emisión y/o el transporte binacional de la contaminación del aire en las áreas de California/Baja California que no cumplen con el estándar*”, esto, con respecto a sus objetivos para PM10 y PM2.5 en Imperial/Mexicali. En este sentido, los objetivos del proyecto son los siguientes:

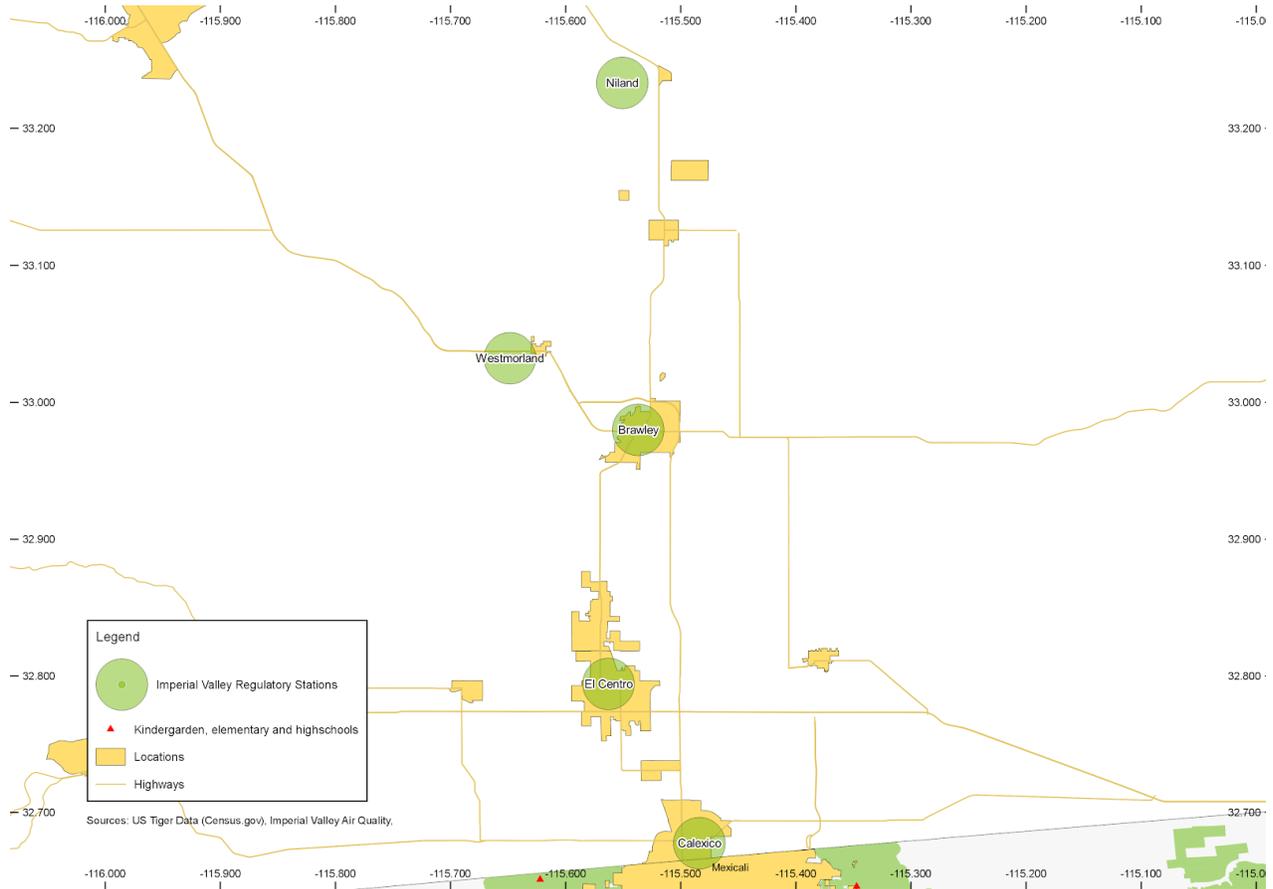
Objetivo 1: Fortalecer la infraestructura para el monitoreo de la calidad del aire en el área de Imperial y Mexicali.

Expandir la red mediante la instalación y operación de 30 sensores Redspira hacia los centros de población del Valle de Mexicali con más de 1,000 y menos de 10,000 habitantes, en los que se ubiquen escuelas de nivel preescolar, primarias o secundarias, tal como se muestra en el mapa que se inserta a continuación.



Mapa 1: Propuesta de ubicación de 30 sensores en el Valle de Mexicali.

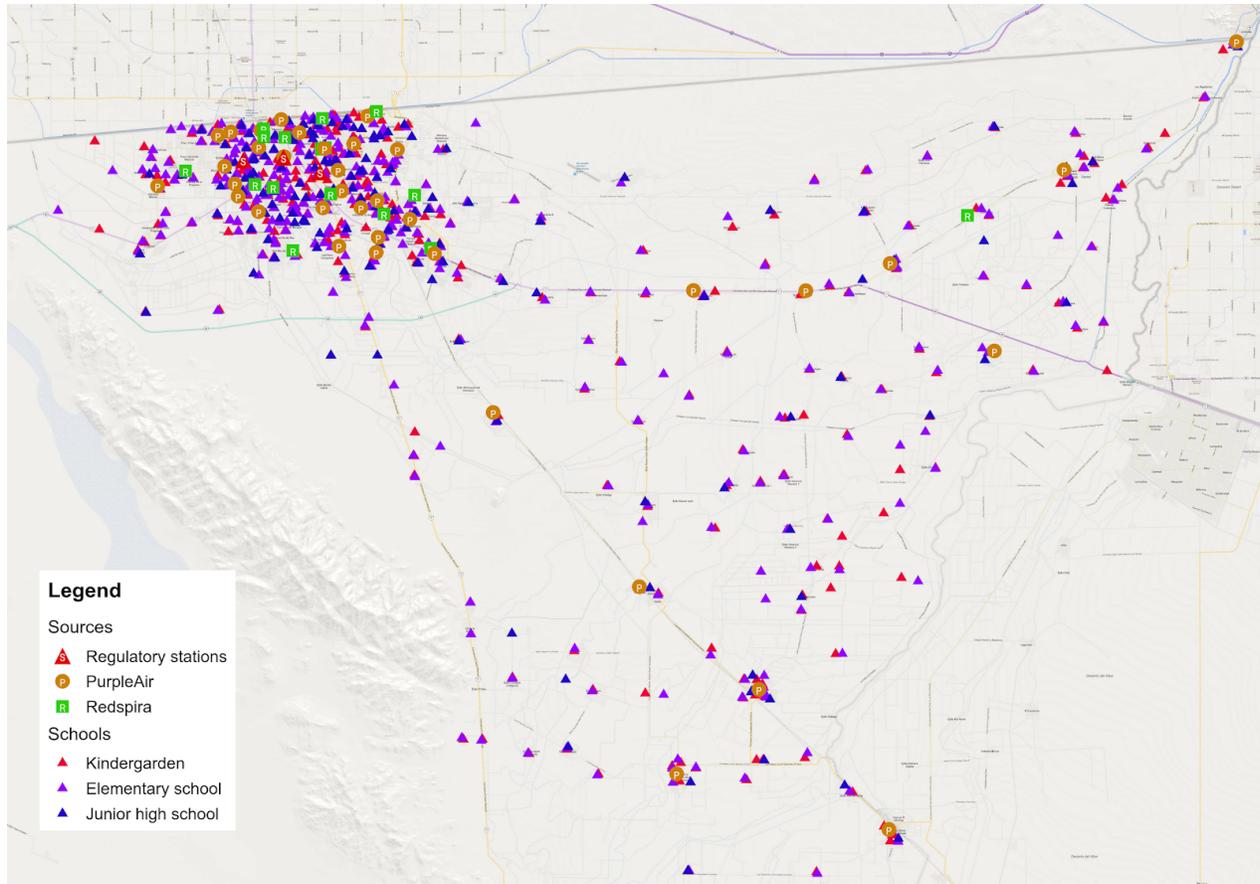
Adicionalmente se incluyen 5 monitores del área de Imperial en California, mismos que se muestran en el mapa siguiente:



Mapa 2: Monitores de Imperial, CA. incorporados a la red.

Tenemos ya la experiencia de instalar sensores Redspira e integrar tanto sensores de bajo costo como estaciones normadas a nuestra red, dentro de la región de Mexicali - Calexico, en donde en el área urbana actualmente operan:

- 18 sensores de partículas Redspira;
- 50 sensores Purple Air asignados para operación a la Dirección de Protección Ambiental del Ayuntamiento de Mexicali, por la Junta de Recursos del Aire de California; y
- 3 estaciones de monitoreo reguladas, de las cuales 2 son propiedad de la Secretaría de Economía Sustentable y Turismo del Estado, y 1 de la Dirección de Protección al Ambiente.



Mapa 2: Sensores y escuelas de Mexicali y su Valle en febrero 2020.

Nuestra infraestructura de monitoreo para el área rural comprende 4 sensores Redspira y 11 sensores Purple Air incorporados a la red de acuerdo con el esquema de colaboración mencionado anteriormente. Es precisamente en esta zona en donde buscamos ampliar el alcance de la red para proporcionar información a fin de que las personas puedan tomar mejores decisiones sobre su salud, además de avanzar en la implementación del Programa de Banderas al proporcionar informes sobre la calidad del aire basados en áreas geográficas específicas de las comunidades afectadas.

Objetivo 2: Garantizar la calidad de los datos de calidad del aire disponibles para la población y las autoridades.

La consolidación de Redspira requiere necesariamente una herramienta de verificación que brinde certeza y genere confianza respecto de la información que brindamos. En esta área, nuestro objetivo es el desarrollo de un Programa de Aseguramiento de Calidad del Proyecto (QAPP), para el cual formamos un equipo interno multidisciplinario, fortalecido con la participación de un experto en gestión de datos de calidad del Gobierno del Estado de Baja California, y un experto en procesos de validación de datos de la California Air Resources Board.

El proyecto incluye la recopilación de 5 meses de datos obtenidos de la red en el valle de Mexicali con la ejecución de las actividades y protocolos diseñados en el QAPP.

Objetivo 3: Ampliar el programa de Banderas de Calidad del Aire en las escuelas primarias del Valle de Mexicali.

Este programa toma como referencia el implementado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en las escuelas de los Estados Unidos, adaptándolo a la realidad de las escuelas primarias en México. Hoy en día el programa se ha

implementado en conjunto con el Comité Cívico Ambiental de Mexicali, interviniendo 77 escuelas en Mexicali. Nuestro objetivo es involucrar a 30 escuelas más, del Valle de Mexicali. El programa incluye:

1. Material educativo y para difusión.
2. Kit de banderas de colores.
3. Lona informativa.
4. Capacitación a los responsables del programa en la escuela.
5. Seguimiento semestral.

Objetivo 4: Formalizar un plan de auto sustentabilidad que permita a la Fundación para la Investigación de la Calidad del Aire, A. C. operar el proyecto Redspira en Mexicali y su Valle.

Aunque la iniciativa Redspira surge de un programa de responsabilidad social del sector empresarial, es necesario formalizar un nombre corporativo con personalidad jurídica propia, específicamente una Asociación Civil, que permita la operación y escalabilidad del proyecto sin fines de lucro, lo que conlleva el diseño de esquemas de auto sustentabilidad.

El cronograma de trabajo y las tareas específicas se resumen en la tabla informativa que se incluye (**ver ANEXO 1**).

1.7 Objetivos de Calidad y Criterios para la Medición de Datos y Modelos

La recopilación de datos sobre la contaminación del aire por partículas (PM2.5 y PM10) en la frontera entre Estados Unidos y México, se realizará utilizando los dispositivos diseñados y manufacturados en México de la marca Redspira, apegándose a los objetivos de calidad de datos que se mencionan a continuación:

- a) **Compleción:** Se requiere que al menos el 75% de todos los datos recopilados sean transferidos y almacenados correctamente en el centro de datos de la plataforma Redspira, a través de una conexión a Internet durante la fase de operación. También se requiere tener el 75% de las horas necesarias para calcular el AQI NowCast e Índice AIRE y SALUD; es decir, 75% de datos minutales dentro de una hora son necesarios para el promedio horario y 75% de las horas son necesarias para calcular el promedio móvil (12 u 8 horas) de los índices mencionados. Una tarjeta SD local de respaldo almacenará datos si el proceso de carga se retrasa hasta que se restablezca la conexión. Las comunicaciones serán monitoreadas para minimizar los tiempos de inactividad, mediante procesos automatizados.
- b) **Comparabilidad entre dispositivos.** El objetivo es que los dispositivos de monitoreo muestren respuestas comparables entre sí durante las co-ubicaciones en campo (R^2 mayor que 0.85 y menos del 10% de diferencia en la media). Esto se juzgará según las comparaciones entre un sensor instalado en campo y la co-ubicación de tres sensores previamente co-ubicados en una estación normativa. Se espera que ninguno de los dispositivos en campo sean rechazados con base en este criterio. Los dispositivos que se rechacen tendrán la opción de ser reemplazados.
- c) **Comparabilidad con los instrumentos de referencia.** Las concentraciones obtenidas por los sensores se compararán con la concentración medida por un instrumento de referencia. Este procedimiento se efectuará sobre una muestra equivalente al 33% de los sensores instalados. Esperamos que el factor de correlación (R^2) sea mayor que 0.75 para los datos por hora y mayor que 0.8 para los datos diarios.
- d) **Representatividad.** Se realizará la instalación de los sensores en poblaciones rurales con una población entre 1,000 y 10,000 habitantes, cercanía a zonas agrícolas y alto déficit de pavimentación. Se buscará cubrir el conjunto de la extensión del Valle de Mexicali, colocando los sensores a por lo menos 2.5 kilómetros de distancia entre uno y otro.

- e) **Compensación de Humedad.** El Gobierno del Estado de Nuevo León realizó un estudio de correlación entre el sensor Redspira y un medidor normativo T640, dando como resultado una tendencia temporal y concentraciones cercanas a entre las mediciones. En el análisis de correlación se observa un alto valor ($p=0.87$), indicando que las mediciones se asemejan. Con respecto a la Humedad Relativa se observa que, a medida que la humedad aumenta más del 80%, las mediciones del sensor son diferentes entre los equipos de medición, lo cual puede indicar que el sensor puede tener una saturación del contaminante.

Actualmente EPA ha desarrollado un algoritmo de corrección para los dispositivos Purple Air, cuyo sensor de PM2.5 es similar al utilizado por los sensores Redspira. Tomando en cuenta lo anterior, se contempla:

- Participar en un estudio de co-ubicación en las estaciones normativas disponibles en Mexicali durante la temporada de altas concentraciones en conjunto con CARB y la SEST con las siguientes características:
 - Instalación de 3 sensores Purple Air, e
 - Instalación de 3 sensores Redspira.
- Recabar datos durante los meses de noviembre y diciembre de 2020, así como enero de 2021.
- Implementación del factor de corrección U. S. $PM2.5=0.541*PA_cf1(avgAB)-0.0618*RH+0.00534*T+3.634$ para analizar la pertinencia del mismo en el área de estudio.
- Ajustar el factor de corrección para el área de estudio.
- Generar una versión de los datos validados aplicando el algoritmo de corrección.

1.7.1 Objetivos y Decisiones del Proyecto

El objetivo de fortalecer la infraestructura de monitoreo de calidad del aire en las áreas del condado de Imperial, California y el municipio de Mexicali, Baja California, se cumplirá con el aumento cuantitativo en el número de dispositivos de medición instalados y desplegados en el área de estudio, así como con la aplicación de un modelo de calidad de datos, que garantice la certeza y confiabilidad de la información reportada.

Si se incrementa el número de dispositivos de medición y la calidad de los datos generados, entonces podrá ampliarse y aplicarse con mayor efectividad el Programa de Banderas de la Calidad del Aire en las escuelas primarias del valle y la ciudad de Mexicali, así como otras campañas de sensibilización orientadas a la ciudadanía. Para tal fin, se considera fundamental contar con una entidad autosostenible que opere la infraestructura de monitoreo y que garantice la continuidad a los programas de sensibilización y educación ambiental.

1.8 Capacitación Especial / Certificación

Todos los integrantes del equipo Redspira deberán recibir una capacitación y evaluación sobre la totalidad de temas descritos a continuación:

- Conocimiento general de la normatividad en la materia;
- Conocimientos generales sobre contaminación atmosférica y meteorología;
- Unidades y conversiones usadas en contaminación del aire;
- Principios y prácticas de control de la contaminación del aire;
- Aseguramiento y control de calidad para sistemas de medición de la calidad del aire;
- Muestreo y monitoreo de la calidad del aire;
- Operación de redes de monitoreo de bajo costo;
- Instalación y configuración de sensores;
- Metrología básica (trazabilidad, estadística, incertidumbre, entre otros);

- Manejo de los datos; y
- Evaluación de la calidad de los datos.
- QAPP

1.9 Documentación y Registros

Los registros de datos de este estudio comprenderán la siguiente documentación:

1. Una base de datos mantenida en los servidores de Redspira, que contenga las lecturas de los sensores individuales incluidos en cada instalación, identificados por dirección Mac y especificando la versión del dispositivo (**ver ANEXO 2**). Cada lectura se compondrá de los siguientes campos:
 - Lectura (Número de lectura, valor entero autoincremental),
 - Pm25 (PM_{2.5}, campo flotante con 2 decimales),
 - Pm10 (PM₁₀, campo flotante con dos decimales),
 - Temperatura (Temperatura en grados celsius, campo flotante con dos decimales),
 - Humedad (Porcentaje de humedad relativa, campo flotante con dos decimales),
 - Presión (Presión atmosférica, campo flotante con dos decimales),
 - Fecha-hora (Fecha y hora de la lectura, campo timestamp),
 - X (Coordenada X, campo doble precisión),
 - Y (Coordenada Y, campo doble precisión),
 - RSSI (Fuerza de la señal recibida mediante WiFi, valor entero)
2. Los registros provenientes de los formatos de instalación (**ANEXO 3**), operación (**ANEXO 4**) y mantenimiento (**ANEXO 5**) se almacenarán en base de datos relacionados a las lecturas de cada sensor y serán capturados a través de formatos electrónicos.
3. Se contempla la impresión y encuadernado de una copia del Plan de Aseguramiento de Calidad de Proyecto.
4. Toda la documentación se resguardará mensualmente de manera digital en Google Drive:
 - a. Actividades y tareas del plan de trabajo
 - b. Modelo de base de datos
 - c. Formatos de instalación de sensor
 - i. Instalación de sensor
 - ii. Operativo
 - iii. Bitácora de Servicios
 - d. Datos crudos y validados (copia de los datos del mes almacenada en correo contacto@redspira.org)
 - i. de sensores Redspira
 - ii. de estaciones normativas
5. Los datos recopilados se almacenarán en bases de datos SQL, resguardándose por un periodo máximo de 5 años. El acceso a todas las bases de datos está protegido con contraseña y restringido al personal de datos del proyecto. La información en crudo se deberá procesar cada hora mediante un script automatizado que ejecute las validaciones de calidad de datos. En caso de no cumplir con el criterio de completación, no se generará un promedio horario, ni se incluirá el valor en los cálculos de los índices AQI NowCast e Índice AIRE y SALUD.

Se llevará a cabo un proceso de control de versiones de los cambios y actualizaciones efectuadas al software bajo la plataforma Git, documentando dichos cambios y los motivos que los detonaron.

1.9.1 Distribución del Plan del Proyecto de Aseguramiento de Calidad

El responsable de la distribución del Plan del Proyecto de Aseguramiento de Calidad (QAPP) será el Coordinador de Tecnología y Estadística, quien funge en el proyecto como administrador y supervisor del Plan del Proyecto de Aseguramiento de Calidad (QAPP), el cual deberá ser validado por la Administradora y el Líder del Proyecto, para su revisión por parte de cada uno de los Asesores del Proyecto (Ver Sección 1.4) antes de remitirse a la Oficina Regional de la EPA para su validación.

1.10 Escala de Monitoreo y Ubicación de los Sensores

1.10.1 Escala de Monitoreo

Los objetivos del proyecto surgen de la necesidad de fortalecer la infraestructura para el monitoreo de la calidad del aire de Imperial y Mexicali, específicamente la zona valle que está compuesta por poblaciones de baja densidad separadas entre sí por varios kilómetros. Estas comunidades carecen de calles pavimentadas, una adecuada recolección de basura y son afectadas por actividades culturales como el uso de leña y carbón para cocinar, a manera de calefacción, o bien, mantener el agua caliente en invierno. Esto, aunado a actividades económicas como quema de ladrillo y quemas agrícolas no reguladas.

Tomando en cuenta lo anterior, se diseñará la red con una escala de monitoreo a nivel “vecindario o local”. En esta categoría las mediciones representan condiciones en una subregión urbana razonablemente homogénea con dimensiones que van desde los 500 metros cuadrados hasta los 5 kilómetros cuadrados.

Esta categoría supone condiciones de homogeneidad en la parcela de aire correspondiente, por lo que no debe haber influencia significativa de alguna fuente en particular. Las mediciones de la escala local pueden ser asociadas con concentraciones de línea de base en áreas de crecimiento proyectado y en estudios sobre respuestas de la población a la exposición a contaminantes, por ejemplo: efectos sobre la salud. Se espera que con esta escala podamos realizar comparaciones de calidad del aire entre la ciudad de Mexicali o el Valle Imperial.

1.10.2 Ubicación

La ubicación deberá asumir el compromiso de resguardo y operación durante 18 meses, proporcionando una conexión a energía eléctrica segura y exclusiva, así como señal de internet al 85%.

Alturas y distancias

1. Instalar el sensor una altura fija de 2 a 15 metros de altura sobre el nivel del piso.
 - a. Al instalar sobre la orilla de un techo se utilizará un brazo de aluminio de un metro para separar el sensor del techo.
2. Fijar el sensor a una distancia mínima de 2 metros de separación con cualquier tipo de muro.
3. Ubicar el sensor a 10 metros de separación de los árboles.
4. Instalar el sensor a una cercanía máxima de 10 metros de caminos y avenidas.
5. Tener una corriente de aire ilimitada mayor o igual a los 270°, debido a que sus lecturas son con base en dispersión láser.
6. Mantener una separación mínima de 10 metros de fuentes de contaminación como chimeneas, hornos o centros de carga.
7. Conservar una distancia en la que la señal del router inalámbrico comparta dos o más barras de señal WiFi; estas barras representan la intensidad de la señal WiFi (4 Barras = Excelente, 3 - Buena, 2 - Justa 1 - Débil) y se pueden observar al conectar el sensor a la red WiFi e ingresando al URL 192.168.4.1.
8. Contar con instalación eléctrica para exterior.

9. Proteger con cinta aislante la unión entre el eliminador de corriente y la extensión en caso de utilizar una extensión de corriente eléctrica.
10. Procurar que el domicilio cuente con seguridad perimetral.
11. Buscar una zona a la cual el usuario pueda acceder fácilmente al sensor; que se pueda colocar una escalera, por ejemplo.
12. Instalar el sensor en la base vigilando que el botón de encendido apunte hacia el suelo. El sensor cuenta con dos rendijas traseras que permiten adaptarse a diferentes escenarios. Se recomienda utilizar cinchos o cintas metálicas.

Los sensores meteorológicos cumplirán con los lineamientos señalados previamente, dado que se ubican en el interior de los monitores de bajo costo.

Variabilidad del entorno

- El entorno puede cambiar en el tiempo por lo que es necesario re-evaluar periódicamente.
- En el caso de ubicaciones que no cumplan uno o varios de las condiciones ideales de instalación, se documentarán estas deficiencias para enfatizar el estudio y comportamiento de los sensores en dichos ambientes.

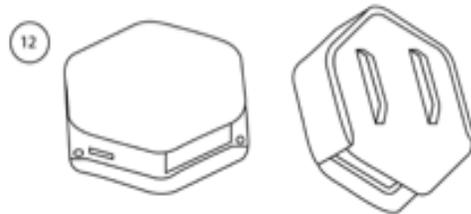
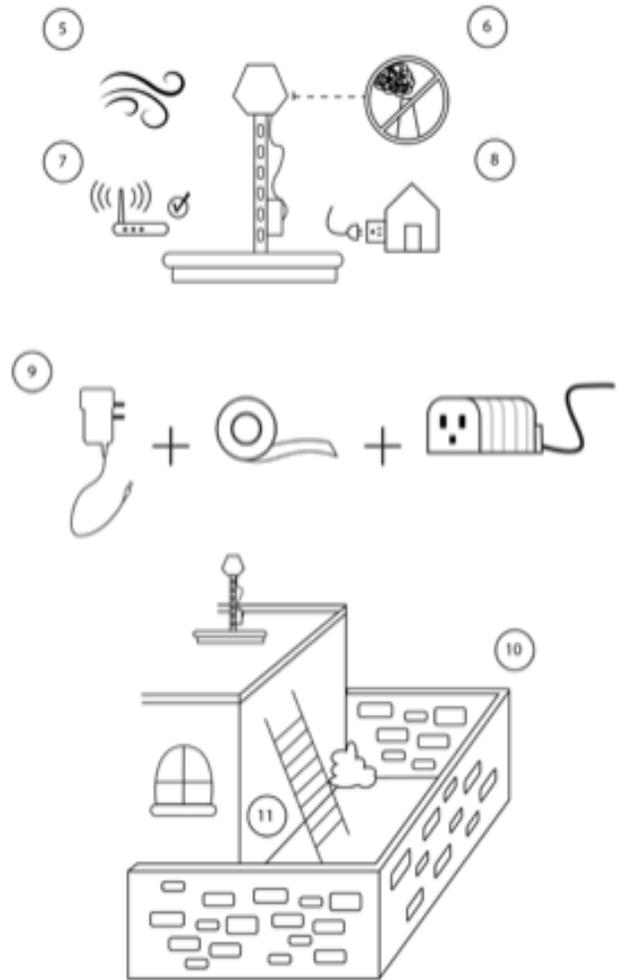
Seguridad del personal

El cableado, los accesos y escaleras utilizadas en la instalación, operación y mantenimiento deben cumplir con todos los códigos relevantes y las regulaciones laborales y de sentido común, para minimizar la posibilidad de lesiones al personal o equipo.

Seguridad Física

Los sensores se instalarán en las viviendas de ciudadanos que voluntariamente ofrecerán seguridad física, Internet y corriente eléctrica. Para tal efecto, se emprenderán las siguientes acciones:

- Verificar que cuente con cerco perimetral que no obstruyan el flujo de aire y que el sensor no sea accesible para personal no autorizado;
- Solicitar la firma de una carta responsiva por parte del voluntario para hospedar el sensor durante 18 meses;
- Realizar visitas aleatorias para supervisar el estado del sensor; y
- Monitorear las condiciones de medición del sensor de manera remota.



Lineamientos para la instalación de sensores de bajo costo

2.0 GENERACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

2.1 Requerimientos para la Adquisición de Datos

2.1.1 Diseño Experimental

El propósito del monitoreo del aire comunitario es utilizar tecnologías de sensores de calidad del aire en tiempo real, de menor costo, para proporcionar una resolución espacial mejorada de los datos de monitoreo de la calidad del aire ambiental para material particulado.

Aunque los sensores para material particulado (PM2.5 y PM10) utilizan nuevas tecnologías que no se basan en el método de referencia federal (FRM) de la EPA, las SEMARNAT-NOM o los instrumentos del Método Federal Equivalente (FEM) usados para determinar los estándares de calidad del aire, su objetivo es informar los gradientes espaciales en una calidad del aire relativa, que no son observables debido a las escasas ubicaciones en la red de monitoreo regulatorio SEMARNAT-INECC o EPA.

Específicamente, al establecer dispositivos de bajo costo en sitios sin monitoreo regulatorio del aire, recopilaremos datos que se utilizarán para establecer la distribución espacial y temporal de la contaminación del aire a través de la frontera entre Estados Unidos y México.

Cada sensor desplegado contiene un contador de partículas óptico. Antes del despliegue, una muestra del 33% de los dispositivos se instalarán conjuntamente durante un mínimo de una semana en el área de la estación de monitoreo ambiental de la Dirección de Protección al Ambiente del Ayuntamiento de Mexicali.

Cada sensor de aire comunitario medirá:

- Material particulado 2.5 en tiempo real (valores promedio de 1 minuto, $\mu\text{g}/\text{m}^3$), e
- Información atmosférica en tiempo real (temperatura, humedad y presión).

2.1.2 Métodos de Muestreo

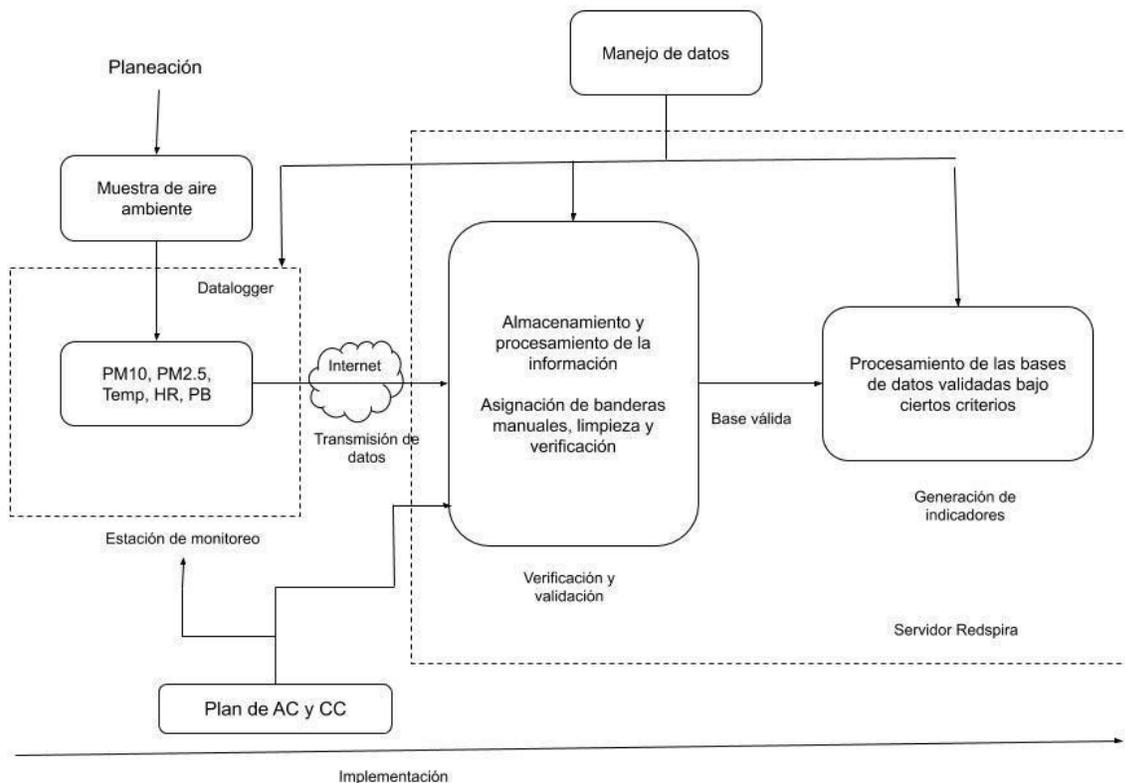
No existen estándares reconocidos para la selección de prototipos/redes de muestreo de aire basadas en el ámbito comunitario, por lo que utilizaremos la experiencia de nuestro equipo técnico para seleccionar ubicaciones de monitoreo apropiadas dentro de nuestra área de estudio, privilegiando la instalación en centros educativos, tales como escuelas de nivel preescolar, primaria o secundaria en los centros de población a instalar.

Se realizará la instalación de los sensores en poblaciones rurales con una población entre 1,000 y 10,000 habitantes, con cercanía a zonas agrícolas y alto déficit de pavimentación. Además, la ubicación del monitor prototipo se basará en la lista de verificación de criterios de ubicación contenidos en el numeral 1.10.2.

Muestreo

El sensor utiliza el método de dispersión de láser para medir el concentrado de partículas suspendidas en el aire de 0.3 a 10 micrómetros ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) realizando muestreos por segundo. Para fines del registro en la base de datos, utilizaremos el promedio de una hora (también referido como dato horario o concentración horaria), el cual es un promedio de las concentraciones minutales dentro de la hora. El promedio se calcula sobre el periodo de tiempo anterior a la hora que se está determinando, esto es, si se quiere determinar el promedio de la hora 01:00, este se obtiene con datos del periodo que comprende de las 00:01 a las 01:00 horas.

2.1.3 Manejo / Custodia de Muestras y Datos



Manejo de datos y esquema de muestreo

El esquema de manejo y muestreo de datos antes incluido inicia con una etapa de planeación, que incluye el diseño de los objetivos de aseguramiento de la calidad de datos y el plan de implementación de la red de sensores. La etapa de muestreo de aire ambiente está relacionada con la instalación y configuración de los equipos de medición (sensores), los cuales se desplegarán representativamente en el área de estudio. Estos sensores miden material particulado (PM2.5 y PM10) mediante el método de dispersión láser (lector PMS5003), además de parámetros atmosféricos, tales como temperatura, humedad relativa y presión barométrica (mediante el chip BME280). Una vez instalados, los sensores registrarán en un datalogger interno (memoria SD) las lecturas minutas de los parámetros especificados, y las transmitirán al servidor central a través de una conexión WiFi a Internet. Una vez recibidos, las lecturas se almacenarán en crudo en una base de datos y posteriormente se procesarán aplicando las reglas de verificación, validación y limpieza de datos, asignando las banderas correspondientes. Hecho lo anterior, se procesará la información validada y se generarán indicadores (AQI NowCast e Índice AIRE y SALUD) para comunicar la información a los usuarios.

2.1.3.1 Diseño de la Base de Datos

Para garantizar la integridad de los datos durante la recopilación y el análisis, su manejo se realizará de conformidad con lo siguiente:

- Una base de datos local se almacenará en el dispositivo (en una memoria SD) y se sincronizará cada minuto con la base de datos central. En caso de perderse la conexión, se guardarán los datos no enviados y se sincronizará cuando se recupere el acceso a Internet.
- Los archivos de valores separados por comas se crearán en la estación con valores promedio de 1 minuto y se enviarán al servidor central para fines de recuperación y análisis.
- La base de datos central consistirá en una colección de bases de datos individuales, una para cada dispositivo, por lo que los datos sin procesar serán independientes y no se modificarán.
- Cualquier método de control de calidad se puede realizar en conjuntos de datos separados.

2.1.3.2 Limpieza de Datos (Revisión, análisis y verificación de los datos)

Es la etapa inicial del manejo de datos. En esta se aplican una serie de criterios, de forma manual, semiautomática o automática en algunos casos, para diferenciar los datos correctos de los falsos o incorrectos. Es decir, aquellos valores que no corresponden a mediciones de calidad del aire. **NOTA: En ningún momento se borrarán datos. Solamente se señalan con banderas para que posteriormente sean verificados o usados para alguna estadística sobre el funcionamiento de los equipos de medición.**

- **VA (Dato válido).** Aquel dato que se considera correcto o verdadero pero que está sujeto a revisión en la etapa de verificación de datos.
- **IR (Dato inválido por rango de operación).** En esta categoría se incluyen valores fuera de los límites superior e inferior fijados en el equipo de medición. Para el caso de los contaminantes, el límite superior se fija de acuerdo a las condiciones de la localidad y podrá diferir en aquellas localidades que se encuentren en zonas críticas de calidad del aire, con alta densidad industrial, en donde los niveles medidos pudieran ser mayores que los límites superiores recomendados en este documento.

Parámetro	Rango de operación
Temperatura	10 a 60 C
Humedad relativa	0 - 100%
Presión Barométrica	500 - 760 mmHg
PM2.5	Rango efectivo: 0 - 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Rango máximo: $\geq 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	Rango efectivo: 0 - 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Rango máximo: $\geq 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- **VZ (Dato inválido por valor nulo o negativo).** Esta bandera se aplica a datos con valores negativos, con excepción de las mediciones de temperatura, así como a datos nulos.
- **IF (Dato inválido por falla en equipo).** Esta bandera debe asignarse a aquellos datos de los que exista evidencia en bitácora o en listas de verificación, de alarmas en equipos, es decir, aquellos cuyos parámetros de operación (temperaturas, flujos, presiones, voltajes) se encuentran fuera de los valores normales de operación.
- **ND (Dato que no está disponible).** Se aplica a cualquier dato ausente ya sea por fallas en la transmisión-recepción o por cortes de energía. A este dato se le asigna en la base de datos un número que le dé carácter de nulidad (null).

- **DS (Dato Sospechoso).**
 - a) Se asignará cuando existan valores constantes por más de 6 horas consecutivas.
 - b) Sí una ubicación presenta mediciones continuas por 12 horas que superen 2 veces la media de la red (hacia arriba o hacia abajo)
 - c) Se aplicará la bandera de dato sospechoso (DS) y se realizará una revisión (checklist) de fallas con el voluntario.

- **IO (Invalido por Operador).** Se aplicará de manera manual cuando el operador registre en la bitácora de operación alguna actividad relacionada con pruebas, mantenimiento o cualquier operación que afecte las mediciones del sensor.

- **OL (Outlier).** Cada 24 horas se identificarán los datos por minuto que excedan el rango de mediciones detectadas a lo largo del día, mediante el método outliers, y la duración de los picos, señalando con una bandera en la base de datos cualquier anomalía a fin de que se elimine del cálculo de promedios. Las banderas también se generarán para cualquier concentración negativa y cualquier concentración que exceda las concentraciones ambientales esperadas en más de 1 orden de magnitud (contaminante específico, según los rangos de valores establecidos por la EPA y la SEMARNAT).

Se asignará cuando:

- a) La relación de PM_{2.5} entre PM₁₀ sea mayor a 1.15.
- b) La temperatura cambie en más de 5 °C respecto a la hora previa.
- c) La temperatura no varíe en más de 0.5 °C en doce horas consecutivas.
- d) La presión barométrica tenga cambios de más de 0.75 mm Hg en tres horas consecutivas (asignar bandera IO).

No se verificarán datos meteorológicos relacionados con viento dada la falta de instrumentos.

Nota: La nomenclatura utilizada para indicar las banderas se basa en los lineamientos del Manual 5. Protocolo de Manejo de Datos de Calidad del Aire, emitido por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). El uso de identificadores basados en los protocolos de otros países se explorará en proyectos futuros.

2.1.3.2.1 Asignación de Banderas durante Limpieza de Datos (Revisión y Análisis de los Datos)

1. Se deberán respetar las banderas que ya están asignadas y en caso necesario, asignar aquellas que corresponden a datos fuera de intervalo de operación, abanderándolos con IR, VZ o ND, según sea el caso.

2. Se usan dos columnas en la base de datos en relación con cada sensor. En una se manejan los valores adquiridos por los equipos de medición y en la otra las banderas asignadas a los datos.

Nota sobre el concepto de “Limpieza de datos”: El concepto de limpieza de datos en la normatividad mexicana se refiere a la “revisión y análisis de los datos. **En ningún momento se borrarán datos. Solamente se aplicará una revisión y calificación de los promedios horarios mediante la asignación de las banderas descritas en las reglas de aseguramiento de la calidad de los datos, para que posteriormente sean verificados o usados para alguna estadística sobre el funcionamiento de los equipos de medición. Las lecturas minutales se almacenarán íntegramente en la base de datos, sin aplicar ningún criterio de revisión, ni calificación. Las banderas de calidad de datos sólo aplican a los promedios por hora. Todo el procesamiento se realiza sobre un modelo de datos relacional que asegura la integridad de los mismos.**

2.1.4 Métodos Analíticos

Se utilizan monitores de la calidad del aire de bajo costo que permiten medir y reportar concentraciones de material particulado (PM 2.5 y PM 10), temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.

Los requerimientos para su funcionamiento son un suministro eléctrico de 5 Voltios y conexión a Internet mediante una red WiFi de 2.4 Ghz.

El sensor utiliza el método de dispersión de láser para medir el concentrado de partículas suspendidas en el aire de 0.3 a 10 micrómetros (ug/m3). Cuenta con un diseño que evita la acumulación de polvo en la parte frontal de la PCB, mediante un ventilador incorporado. El sensor tiene calibración de fábrica. Además se incluye un sensor digital combinado BME280 que mide la humedad relativa, la presión barométrica y la temperatura, basado en principios de detección probados. Cuando el sensor está desactivado, el consumo de corriente cae a 0.1 μ A. El BME280 puede funcionar en tres modos de potencia:

- Modo de reposo,
- Modo normal, o
- Modo forzado.

Las especificaciones del parámetro de humedad son la siguientes:

- Tiempo de respuesta: 1s
- Tolerancia de precisión: +-3% de humedad relativa
- Hysteresis: +-1% de humedad relativa.

El monitor realiza una lectura cada segundo y al completar un minuto, promedia los valores leídos y los envía al servidor a través de Internet. El servidor recibe los datos y los almacena en crudo en una base de datos. Además del envío, guarda la información en un registro en la memoria SD interna del dispositivo. Si se pierde la conexión al Wifi o a Internet, el dispositivo guarda un registro especial de lecturas no enviadas y al recuperar la conexión, sincroniza esas lecturas en el servidor.

Una vez obtenidos los datos validados, se aplica el modelo matemático de correspondencia.

2.1.5 Control de Calidad

2.1.5.1 Calibración/Co-ubicación (Collocation) Inicial

1. Se realizará una primera co-ubicación de 3 sensores Redspira en la estación normativa de Valle de Imperial, a una distancia no mayor de diez metros y a la misma altura de la entrada de aire del sensor de material particulado con el objetivo de conocer la correlación entre el sensor de bajo costo y la medición normativa.
2. Se realizará una segunda co-ubicación de 3 sensores Redspira en la estación normativa del Gobierno del Estado de Baja California denominada COBACH, durante la temporada de altas concentraciones para obtener datos que sirvan de insumo para el diseño del factor de corrección.
3. Se elaborará una bitácora de observación utilizando el Formato Operativo (**Anexo 4**) para cada visita:
 - Hora, fecha y duración;
 - Actividades y observaciones;
 - Estado de los sensores;
 - Condiciones climáticas;
 - Problemas observados y soluciones; y
 - Notas sobre las decisiones y comportamiento de los datos durante el análisis.
4. Se deberá contar con las mediciones minutas de los datos crudos de los sensores Redspira y de la Estación Normativa, en promedios de una hora.
5. El muestreo deberá incluir al menos una semana de recolección de información exitosa; aproximadamente 2,000+ pares de datos válidos
6. Se deberán considerar los datos de Humedad Relativa y Temperatura.
7. Si el periodo de medición es mayor a una semana, se deberá visitar para revisar la instalación cada dos semanas.
8. Se deberá contar con un checklist de verificación sobre fallas de los sensores para estandarizar la estadística derivada de la documentación de la bitácora
9. El procedimiento de recuperación y revisión de los datos deberá considerar:
 - Identificación de patrones;
 - Interferencias; y
 - Picos y Crestas (gradual[drift] or sudden [sift])
10. Una vez terminada la recuperación y revisión de los datos se utilizará un reporte de estudio de co-ubicación (**ver Anexo 6**) diseñado en el dashboard Redspira, el cual consiste en un análisis de correlación simple de dos fuentes de datos, que incluye el coeficiente de determinación R². Con este reporte se realizará la comparación de la estación normada y el sensor.
11. Se realizará el análisis de Accuracy, Bias and Precision

2.1.5.2 Comprobación de conexión

Se cuenta con un script en la base de datos que se ejecuta diariamente, permitiendo que automáticamente se envíe un correo electrónico al Coordinador de Operaciones señalando el estado operativo de los sensores. Asimismo, se enviará un correo electrónico al voluntario, notificando cuando el sensor hospedado se encuentra desconectado (ya sea por falla en la corriente eléctrica o en la conexión a Internet).

El Coordinador Operativo contactará vía telefónica al voluntario para solucionar el problema utilizando el Checklist de fallas y soluciones.

Si el voluntario no es capaz de solucionar la falla, se agendará una visita por parte del Coordinador de Operaciones dentro de las siguientes 48 horas, indicando los problemas y sus posibles soluciones en el “Formato Operativo”. Una vez realizadas las actividades el Coordinador Operativo y el Voluntario deberán firmar el formato, aceptando que el sensor está funcionando correctamente.

2.1.5.3 Verificación de completión de datos.

El proceso de adquisición de datos y obtención de promedios horarios tomará en cuenta que existan por lo menos un 75% de registros transferidos respecto al número esperado de registros por hora y día. En caso de cualquier discrepancia, ya sea que esté por debajo de ese porcentaje o que supere el 100%, se revisará la estación, y en dado caso, se dará de baja del sistema, hasta que se corrija la situación.

2.1.5.4 Consistencia espacial

Las verificaciones automáticas incluirán comparar:

- a) La media de las estaciones vecinas, generando una bandera cuando las concentraciones medias difieren en más del 200% del valor medido promedio; y
- b) El QVC con el de los sitios vecinos, generando una bandera con el QVC que difiera en un factor de 5 o más.

Nota sobre los procesos de revisión y análisis de los datos:

- Existen dos tipos de validaciones: automáticas y manuales. Ambas se aplican sólo a los promedios horarios.
- Hemos generado procedimientos que se ejecutan automáticamente para hacer la revisión de los datos minutales para obtener el promedio horario y después aplicarles una serie de reglas de validación y asignación automática de banderas (VA, IR, VZ, ND, DS, IO).
- Las revisiones manuales se realizarán cuando los equipos hayan recibido mantenimiento. Esto se ejecutará a través de un panel de revisión de datos. La bandera a aplicar aquí es IF. Asimismo las revisiones horarias y diarias presentan un reporte previo al proceso manual de revisión en el que señala las desviaciones para que sea validado por el responsable.

2.1.6 Pruebas de Instrumentos / Equipos, Inspección y Mantenimiento

El Coordinador de Operaciones realizará inspecciones de campo periódicamente, al menos cada dos meses, para prevenir y/o solucionar posibles fallas en el funcionamiento del dispositivo.

Es indispensable que los responsables de la operación de la red de sensores “Redspira” efectúen el registro de las actividades realizadas durante su visita, en un Formato Operativo (**ver ANEXO 4**), con el propósito de evaluar el desempeño de los monitores, dar soporte a los problemas que surjan y encontrar las soluciones adecuadas.

El mantenimiento que brindará podrá ser de dos tipos:

1. **Preventivo.** Es aquel que deriva de una programación previa de actividades, con el fin de lograr la operación óptima de los equipos durante su vida útil, reduciendo la posibilidad de daños imprevistos y disminuyendo tanto los tiempos muertos de producción por fallas como los costos. Comprende tanto la inspección de los dispositivos

como la detección de las fallas. Como parte de un buen mantenimiento preventivo, se requiere cumplir con las siguientes actividades:

- a) **Aplicación de aire comprimido.** El sensor de partículas utiliza un método de dispersión de luz láser para irradiar las partículas suspendidas en el aire, además de que cuenta con un diseño que evita la acumulación de polvo en la parte frontal de la PCB, mediante un ventilador incorporado, sin embargo, al estar expuesto al contaminante por largos períodos de tiempo, su efectividad puede disminuir. Por tal motivo, se requiere la aplicación de aire comprimido para reducir posibles errores en las lecturas.
 - b) **Limpeza de circuito electrónico impreso.** Un circuito impreso se define como una tarjeta o placa utilizada para realizar el emplazamiento de los distintos elementos que lo conforman y las interconexiones eléctricas entre ellos. Al estar expuesta a la humedad, se genera oxidación o corrosión que produce la pérdida de contacto entre los elementos. Para prevenir esto, se requiere aplicar alcohol isopropílico y frotarlo con un cepillo.
 - c) **Revisión de cableado.** Ciertos componentes internos utilizan cableado para la transmisión de datos, por lo que se debe revisar que el cable no tenga algún desgaste y que las conexiones estén fijas. En tal caso, será necesaria la sustitución del cableado.
 - d) **Aplicación de silicón frío.** Para evitar la afectación del funcionamiento del dispositivo por algún factor ambiental, se aplicará silicón frío en las uniones de la carcasa como medida de seguridad.
 - e) **Respaldo de registros generados en MicroSD.** Para un resguardo adecuado de los datos, el Coordinador Operativo generará un respaldo de los registros almacenados internamente, que se guardará en la base de datos para su validación.
2. **Correctivo.** Su función principal consiste en corregir una falla una vez que esta se ha producido, o al menos, en iniciar el proceso para finalizar con su ocurrencia. La procedencia de estas actividades se determinará al realizar las visitas de inspección, o al detectar el funcionamiento anormal de los dispositivos mediante las banderas definidas en el punto 2.1.3.3. Un mantenimiento correctivo adecuado comprende solucionar cualquiera de los siguientes requerimientos:
- a) **Reemplazo de adaptador de corriente (5V, 2A).** De observar alguna anomalía en el adaptador de corriente, se deberá realizar el cambio de este, asegurándose de que el tipo de conexión, voltaje y amperaje sea el requerido.
 - b) **Reemplazo de riel / base metálica.** En caso de requerirse el cambio de la base asignada para sostener el dispositivo, será necesario utilizar una base de metal, sostenida por mínimo dos tornillos que la mantengan en una posición fija.
 - c) **Reemplazo de carcasa.** La carcasa es la estructura diseñada para proteger el circuito impreso y sus componentes interconectados, así que deberá reemplazarse si se detecta un daño grave.
 - d) **Reemplazo de circuito electrónico impreso.** Es necesario analizar qué tan severo es el daño y definir si es recomendable realizar su reparación o proceder a su reemplazo.
 - e) **Reemplazo de lector de partículas (PMS5003).** Se revisará que los jumpers que conectan el sensor con la placa tengan continuidad; en caso contrario será indispensable un intercambio de jumpers, o el reemplazo del sensor PMS5003.

- f) **Reemplazo de componente BME280.** Se revisará que los jumpers que conectan el sensor con la placa tengan continuidad; en caso contrario, será indispensable un intercambio de jumpers, o el reemplazo del sensor BME280.
- g) **Reemplazo de tarjeta de memoria (Micro SD 16 GB).** Si se detecta que la Micro SD está dañada, tendrá que sustituirse por otra de la misma capacidad de 16 GB, para el registro interno de datos.
- h) **Reemplazo de tornillos.** El circuito electrónico impreso cuenta con dos tornillos que internamente le permiten mantenerse en una posición fija.
- i) **Reemplazo de batería litio 3.3v.** Se realizará un diagnóstico visual para determinar si muestra alguna anomalía. En tal caso, se requerirá su cambio de manera inmediata.
- j) **Reemplazo de batería tipo botón.** Si los registros generados en el dispositivo tienen una fecha u hora diferente a la zona horaria actual, se requerirá el reemplazo de esta batería cuya capacidad es de 3 Volts y 150 mAh. Una vez aplicado el reemplazo de la batería se requerirá volver a programar el dispositivo.
- k) **Reemplazo de dispositivo completo.** Si al revisar el dispositivo, no se advierten circunstancias que afecten sus lecturas, este se reemplazará con uno nuevo, y la efectividad del sensor dañado será analizada en oficinas de Redspira. Para realizar el reemplazo correctamente se requerirá asignar el ID del dispositivo dañado a su sustituto, con la finalidad de continuar con un registro de datos en esa ubicación.

Para mantener la seguridad y calidad en las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo es conveniente contar con la disponibilidad de los componentes sustituibles, o en su defecto, con dispositivos para su sustitución.

Cabe mencionar que los sistemas electrónicos dentro del dispositivo no recibirán mantenimiento en el campo. Si falla la electrónica o cesa la transmisión, el dispositivo será devuelto a las oficinas de Redspira para su reparación por parte del Coordinador de Operaciones. Cada vez que un miembro del equipo de campo visite una ubicación, el dispositivo se reiniciará electrónicamente desenchufándolo durante un minuto y luego volviendo a enchufarlo a la fuente de alimentación.

Adicionalmente, los instrumentos podrán ser reemplazados si se leen valores cero (bandera VZ), negativos (bandera VZ), fuera del rango válido (bandera IR) o repetidos durante un período de 3 horas (bandera DS), lo cual indica falla del instrumento. Las comprobaciones de calibración descritas en el punto 2.1.7 pueden sugerir atenuación de respuesta; si la respuesta se atenúa en más del 40%, el sensor podrá ser sustituido para su limpieza y reparación. En ambos casos, la decisión será tomada por el Coordinador de Operaciones.

Cada dispositivo dado de alta en la plataforma web deberá tener una Bitácora en la cual se registran cronológicamente las actividades realizadas durante la visita del operador (**ver ANEXO 5**).

2.1.7 Frecuencia de Calibración del Instrumento / Equipo

Con el objetivo de evaluar la consistencia y calidad de los datos generados por los sensores en campo, cada dos meses se llevará a cabo una co-ubicación en campo, con una duración mínima de una semana, consistente en seleccionar un sensor aleatoriamente de la red, e instalar los tres sensores que referidos en la sección 2.1.5 Control de Calidad, a una distancia no mayor a 10 metros y a su mismo nivel de altura.

2.1.8 Uso de Datos Existentes

Para difusión al público en general, se incorporarán datos de las estaciones normadas (nodo) de la SPABC, hoy Secretaría de Economía Sustentable y Turismo (SEST), y de la Dirección de Protección al Ambiente (DPA) del Ayuntamiento de Mexicali. Mediante un algoritmo se deberá recopilar cada hora la información de cada nodo descrito y se integrará en la base de datos central.

Los Sets de Datos que se utilizarán para efectos de procesos de co-ubicación y validación serán los provenientes de la estación de COBACH y una de las estaciones de Valle Imperial, considerando los datos relativos a PM2.5, PM10, temperatura, humedad y presión.

Con esta información se podrán hacer comparaciones del comportamiento de los dispositivos en relación con los instrumentos normativos, ya sean históricas o en tiempo real.

2.2 Manejo de Datos

Todos los datos recopilados en el sistema se deberán gestionar de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Cada dispositivo transferirá información en crudo recabada por los sensores, a la base de datos central en donde se almacenará en conjuntos de datos individuales. Cada registro incluirá la fecha-hora del registro y las coordenadas de ubicación del sensor. Además, almacenará en una memoria SD interna, el registro de cada lectura, con la finalidad de no perder información en caso de pérdida de conexión a Internet. Lo anterior deberá contemplar los siguientes criterios de transmisión de datos:
 - **Transmisión total.** Todas las mediciones realizadas se transmiten al servidor Redspira de manera automática y sin interferencia del personal operativo o de mantenimiento, en un periodo no mayor a 1 minuto.
 - **Transmisión segura.** La transmisión de los datos será segura, pues cada sensor tiene un identificador único secreto con el que se verifica que el dato sea válido, sin intromisión, ni alteración de un agente externo.
 - **Transmisión nítida y confiable.** Los datos transmitidos no se alterarán ni sufrirán ningún cambio durante la transferencia o almacenamiento. Los datos en crudo transmitidos cada minuto se guardarán sin alteraciones en la base de datos.
 - **Transmisión directa.** Dado que los sensores necesitan una conexión a WiFi, requieren pasar por la red del proveedor del servicio de Internet. Sin embargo, se evitará que el dato pase por algún sistema ajeno al del proveedor de Internet.
- QA / QC generará conjuntos de datos separados para mantener los datos sin procesar en su estado original.
- El resumen de datos (por hora, diario, mensual y anual) se calculará automáticamente y estará disponible en el sitio web de Redspira.org.
- Los conjuntos de datos, resúmenes e informes se cargarán en el repositorio de datos de Redspira.
- Se realizará una copia de seguridad de todas las bases de datos utilizando una combinación de esquema incremental / completo.
- Los registros de inspección y mantenimiento de los equipos se almacenarán utilizando el sistema de archivos del servidor centralizado, independiente de las bases de datos. Todos los datos, registros e información producida se almacenarán durante un mínimo de 15 años.

3.0 EVALUACIÓN Y SUPERVISIÓN

3.1 Evaluación / Supervisión y Acciones de Respuestas

La evaluación y validación de este proyecto se garantizará con las actividades a cargo del Coordinador de Tecnología y Estadística, que se mencionan a continuación:

- Revisión de los objetivos de calidad de los datos descritos en el apartado 1.7;
- Revisión preliminar de los datos y comprobaciones automáticas diarias basadas en los criterios descritos el apartado 2.1.5; y
- Revisión diaria de registros almacenados internamente a fin de garantizar la integridad de los datos.

Esto, además de la revisión y mantenimiento bimestral de los dispositivos que realizará el Coordinador de Operaciones.

Dichas actividades de evaluación asegurarán que todos los elementos del Plan de QA se hayan implementado correctamente, que la implementación del Plan de QA haya generado datos de calidad adecuada, y que las acciones correctivas necesarias se hayan implementado de manera oportuna y efectiva. Para revisar el calendario de evaluaciones, revisar el **ANEXO 1**.

El Coordinador de Estadística y Tecnología y Coordinador de Operaciones realizará informes mensuales de evaluación del modelo, conforme a los criterios especificados anteriormente, tanto de los registros almacenados en la base de datos, como de la operación de la red de monitoreo. Se contará con una Bitácora (**ver ANEXO 5**) en la que se anotarán los resultados de las revisiones, así como los responsables y resultados generados.

4.0 DESARROLLO O MODIFICACIÓN DEL MODELO

4.1 Aplicabilidad

Actualmente México no cuenta con un método de referencia para medir la concentración de contaminantes denominados Partículas Suspendidas Finas (PM10 y PM2.5).

Según los Principios de Medición de Calidad del Aire del Instituto Nacional de Ecología, la medición de contaminantes atmosféricos se puede lograr a través de diversos métodos que se agrupan de acuerdo a sus principios de medición en:

- Muestreo pasivo;
- Muestreo con bioindicadores;
- Muestreo activo;
- Método automático;
- Método óptico de percepción remota.

Dadas las características de los sensores utilizados en el proyecto, se seguirá el método automático.

Este método es el mejor en términos de la alta resolución de sus mediciones, permitiendo llevarlas a cabo de forma continua para concentraciones horarias y menores (minutales). Los monitores de partículas se utilizan para determinar la concentración de partículas suspendidas principalmente PM10 y PM2.5.

Algunas ventajas de este tipo de sensores, son: valores en tiempo real, alta resolución temporal y espacial, así como obtención de concentraciones máximas y mínimas. Además, permite por la detección de valores máximos en tiempo real, establecer situaciones de alerta para implantar las respectivas medidas de contingencia

Criterios de comunicación de la calidad del aire

El método de cálculo de las concentraciones según la NOM-172-SEMARNAT-2019 señala que se partirá de concentraciones promedio horario reportadas por las estaciones de monitoreo, tomando en cuenta las cifras decimales significativas y en mg/m^3 como unidad de medida para los contaminantes PM2.5 y PM10.

Asimismo, para el cálculo del Índice AIRE Y SALUD, se partirá de la concentración promedio móvil ponderado de 12 horas. Este método de cálculo es conocido en Estados Unidos como NowCast y es empleado por la Agencia de Protección Ambiental de ese país en el cálculo y comunicación de su Índice de Calidad del Aire en tiempo real para estos contaminantes, dando a la población la posibilidad de tomar medidas oportunas para reducir su exposición y proteger su salud.

El cálculo de la concentración promedio móvil ponderado de 12 horas se obtiene aplicando las siguientes fórmulas:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i W^{i-1}}{\sum_{i=1}^N W^{i-1}}$$

Dónde:

$$W = \begin{cases} w & \text{sí } w > 0.5 \\ 0.5 & \text{sí } w \leq 0.5 \end{cases} \quad \text{y} \quad w = 1 - \frac{C_{max} - C_{min}}{C_{max}}$$

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^{12} (C_i W^{i-1})}{\sum_{i=1}^{12} (W^{i-1})}$$

\bar{C} = Concentración promedio móvil ponderada.

$N = 12$.

Σ = Sumatoria de datos.

C_i = Concentración promedio horaria de la hora i .

i = hora consecutiva de medición (la hora más reciente de medición es la hora 1 y la primera hora de medición en el conjunto de datos considerados en el cálculo sería la hora 12).

W = Factor de ponderación.

w = Valor del peso.

C_{max} = Concentración promedio horaria máxima en el periodo de 12 horas.

C_{min} = Concentración promedio horaria mínima en el periodo de 12 horas.

Nota:

Para aplicar esta metodología de cálculo es necesario que se cumplan con las siguientes dos condiciones:

- Contar con datos para al menos dos de las tres horas más recientes de medición. Si esta condición no se cumple, no se debe efectuar el cálculo del subíndice correspondiente para esa hora;
- El valor de i (*hora consecutiva de medición*) debe mantenerse aún en situaciones en las que haya horas en las que no se cuente con concentraciones medidas. Esto es, por ejemplo, si de las tres horas más recientes de medición sólo contamos con registros de concentración para la hora 1 y 3, la ponderación de la concentración de la hora 1 deberá ser $C1(w)0$ y la de la hora tres $C3(w)2$ y no $C2(w)1$. Esto es, a la medición de la hora tres le corresponde $i=3$, no $i=2$.

4.2 Requerimientos del Plan del Proyecto para su Desarrollo o Modificación

El modelo incluirá una plataforma informática que reciba en tiempo real las lecturas de los dispositivos vía servicios HTTP. La información será procesada cada hora mediante scripts automatizados que aplicarán las reglas de control de calidad de datos y generarán los promedios por hora y por día de los parámetros medidos. Se contará con una aplicación web que muestre en un mapa interactivo el Índice de Calidad del Aire manejado por la EPA, y el Índice AIRE y SALUD de la Semarnat-NOM, para cada dispositivo, además de gráficos interactivos que muestran los datos históricos registrados por la red. Adicionalmente se incluirá una aplicación móvil para mostrar el estado de la calidad del aire de acuerdo a la ubicación del dispositivo.

Los servicios web recibirán y validarán los datos enviados por los dispositivos de medición, aplicando las reglas de calidad de datos. Posteriormente la información procesada se almacenará en la base de datos, relacionándolos con los metadatos del dispositivo específico emisor de los mismos.

El software que se utilizará para el desarrollo de la plataforma es el siguiente:

- *Sistema manejador de base de datos:* PostgreSQL 12.0 con extensión espacial PostGIS 2.5.
- *Servicios web:* Apache Tomcat 8.0. y Java SDK.
- *Aplicación web:* Apache HTTP Web Server y PHP 7.0.
- *Scripts de procesamiento de datos:* Python 2.7
- *Aplicaciones móviles:* Swift (iOS) y Kotlin (Android).

Las características del servidor de aplicaciones para implementar la plataforma son:

- *Sistema operativo:* Ubuntu Server 16.04 LTS.
- *Memoria RAM:* 6 GB.
- *Procesador:* 4 núcleos, 2.2 GHz.
- *Almacenamiento:* Disco duro de 80 GB.

En términos de seguridad, el servidor contará con el sistema de monitorización de redes Zabbix, mediante el cual, el Coordinador de Infraestructura podrá monitorear los servicios de red y el rendimiento del hardware. Se realizará un respaldo de seguridad de la base de datos cada día y del conjunto del servidor cada semana.

4.2.1 Evaluación del Marco Modelo

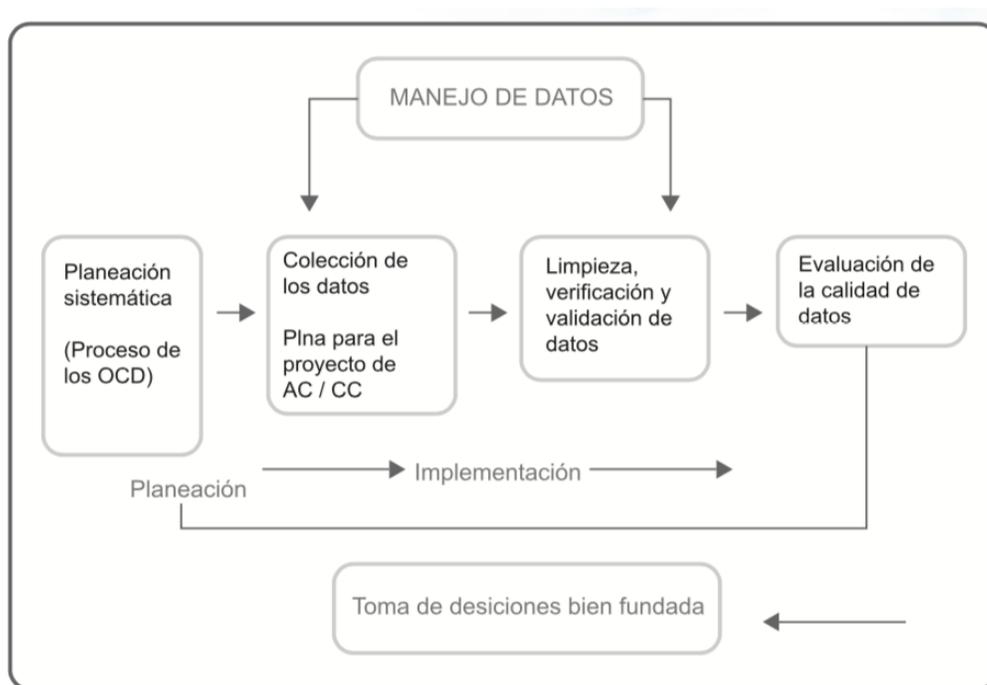
El modelo será revisado mensualmente para verificar su consistencia en la generación de certeza respecto a la calidad de los datos y efectividad en la difusión de los mismos. Contará además con la retroalimentación periódica de los asesores invitados al proyecto (peer review), así como de los Oficiales de Calidad asignados por la EPA.

5.0 EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL MODELO

En México no se cuenta con un modelo para la implementación y control de los objetivos de calidad de los datos para redes de monitoreo que utilice equipos de bajo costo por lo que se partirá de la documentación utilizada para la regulación de redes de monitoreo de calidad del aire normativas.

El siguiente párrafo es un extracto del Manual 5. Protocolo de manejo de la calidad del aire del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático:

El ciclo de vida del proyecto comprende tres etapas, de acuerdo a la US-EPA (2000c): a) *Planeación*, donde se definen los objetivos de calidad de los datos y se determinan los criterios para el muestreo (mediciones), con los que se alcanzará el nivel de confiabilidad deseado; b) *Implementación*: consistente en la aplicación del plan de aseguramiento de la calidad de datos, los métodos de muestreo, procedimientos analíticos y criterios de control de calidad, así como la recolección, limpieza, verificación y validación de los datos; c) *Evaluación*: consiste en determinar si se cumplió con los objetivos planteados en la etapa de planeación.



De acuerdo con el esquema anterior, al proceso de evaluar los datos contra los OCD se le llama evaluación de la calidad de los datos (ECD) y consiste en volver a revisar las rutinas de AC y CC, así como las de limpieza, verificación y validación de datos para determinar si los OCD se cumplieron y que los datos son adecuados para el uso previsto.

Para el caso específico del actual proyecto, una vez implementada la red de 30 sensores de calidad del aire en el Valle de Mexicali, al igual que el despliegue de la plataforma de almacenamiento y procesamiento de los datos, que contiene las reglas de aseguramiento de la calidad de datos, se procederá a ejecutar la recopilación de mediciones por un periodo de 5 meses. Una vez finalizado el periodo de estudio, se procederá a revisar los objetivos de calidad de datos sobre el conjunto de la información generada y almacenada en la base de datos (específicamente, se revisarán los promedios procesados, la generación de banderas y los reportes de revisión y mantenimiento de los dispositivos). Los objetivos a validar se describen en la sección 1.7 del documento.

6.0 REPORTES PARA LA ADMINISTRACIÓN

En el marco del proyecto, se elaborarán los siguientes reportes:

1. **Reporte mensual de calidad del aire**, que muestre los promedios horarios, diarios, semanales y mensuales de los datos generados por la red de sensores. El reporte permitirá ver la información agregada del conjunto de sensores o de manera individual. También incluirá los días, horas y ubicaciones con valores máximos y mínimos respecto a los parámetros medidos.
2. **Reporte mensual de calidad de los datos y funcionamiento de la red de sensores**, que exhiba los resultados de la aplicación de los criterios de verificación y limpieza de datos, control de calidad y generación de banderas. Se añadirá un apartado de las visitas de campo y aplicación de mantenimientos operativos. Con base en este reporte se planearán las inspecciones bimestrales.
3. **Reporte final de la implementación del proyecto**, que consiste en un extenso informe que comprenderá una evaluación del cumplimiento de los objetivos del proyecto, incluyendo la aplicación del plan de calidad de datos, la implementación de la red de sensores, los resultados de la medición de la calidad del aire, la implementación del Programa de Banderas y la relación financiera de gastos.

7.0 REFERENCIAS

Instituto Nacional de Ecología (INE) 2010a. *Manual 1. Principios de Medición de la Calidad del Aire.*

<https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Quality%20del%20Aire.pdf>

<https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

Instituto Nacional de Ecología (INE) 2010b. *Manual 2. Sistemas de Medición de la Calidad del Aire.*

<https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/2%20-%20Sistemas%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

Instituto Nacional de Ecología (INE) 2010c. *Manual 3. Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.*

<https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/3%20-%20Redes,%20Estaciones%20y%20Equipos%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

Instituto Nacional de Ecología (INE) 2010d. *Manual 4. Operación de Estaciones de Medición de la Calidad del Aire, Mantenimiento y Calibración de sus Componentes.*

<https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/4%20-%20Operaci%C3%B3n%20de%20Estaciones%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire,%20mantenimiento%20y%20calibraci%C3%B3n%20de%20sus%20Componentes.pdf>

Instituto Nacional de Ecología (INE) 2010e. *Manual 5. Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire.*

<https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/5%20-%20Protocolo%20de%20Manejo%20de%20Datos%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgosa la Salud.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019

El estudio de la carga global de enfermedades publicado por el Instituto para las Métricas de Salud y Evaluación en 2010

https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/about/en/

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf

Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA

<https://sinaica.inecc.gob.mx/>

Redspira

<http://Redspira.org/#z=10&x=-115.9689&y=32.3550>

EPA Air Sensor Tool Box

<https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox>

8.0 ANEXOS

8.1 ANEXO 1: ACTIVIDADES / TAREAS DEL PLAN DE TRABAJO

	Actividad	Inicio	Final	Rol	Horas
1	Plan de Aseguramiento de la Calidad de Proyecto (QAPP)	-	-	-	242
2	Establecer el equipo interno del QAPI (Oficial de la EPA pendiente)	01/12/19	01/12/19	Líder del Proyecto	5
2	Determinar metas y objetivos	01/12/19	01/12/19	Equipo del QAPI	4
2	Documentar información contextual	02/12/19	06/12/19	Equipo del QAPI	20
2	Fortalecer los objetivos del Proyecto	09/12/19	13/12/2019	Equipo del QAPI	8
2	Desarrollar los requerimientos para el muestreo y análisis de los datos	09/12/19	13/12/2019	Equipo del QAPI	20
2	Desarrollar el plan de implementación	09/12/19	13/12/2019	Equipo del QAPI	20
2	Generar una versión preliminar de los procedimientos de operación y el QAPP	16/12/2019	16/12/2019	Equipo del QAPI	126
3	Diseñar el proceso de muestreo	16/12/2019	20/12/2019	Equipo del QAPI	8
3	Diseñar los métodos de muestreo	16/12/2019	20/12/2019	Equipo del QAPI	12
3	Establecer los requerimientos para el muestreo y resguardo	16/12/2019	20/12/2019	Equipo del QAPI	12
3	Establecer los métodos de análisis	23/12/2019	23/12/2019	Equipo del QAPI	12
3	Definir los requerimientos para el control de la calidad	24/12/2019	24/12/2019	Equipo del QAPI	12
3	Documentar el mantenimiento de equipo, pruebas y procedimientos de inspección	27/12/2019	28/12/2019	Equipo del QAPI	6
3	Establecer la frecuencia de calibración	30/12/2019	30/12/2019	Equipo del QAPI	6
3	Identificar necesidades externas de recopilación de datos	06/01/2020	08/01/2020	Equipo del QAPI	6
3	Establecer el modelo para la gestión de datos	06/01/2020	10/01/2020	Equipo del QAPI	12
3	Control de riesgos y contingencias	06/01/2020	10/01/2020	Equipo del QAPI	12
3	Diseño de reportes	13/01/2020	17/01/2020	Equipo del QAPI	8
3	Diseñar la metodología para validación y verificación	13/01/2020	17/01/2020	Equipo del QAPI	20
2	Solicitar la validación de los procedimientos y el QAPP	14/02/2020	14/02/2020	Equipo del QAPI	1
2	Generar la versión final de los procedimientos y el QAPP	21/02/2020	28/02/2020	Equipo del QAPI	20
2	Iniciar formalmente el proyecto de medición (condicionado a la validación del QAPP)	01/04/2020	01/04/2020	Equipo del QAPI	2
2	Evaluar y refinar el plan del proyecto	01/04/2020	30/09/2020	Equipo del QAPI	16

1 Base de datos y servicios de información						109
2	Diseñar base de datos con los criterios de QAPP	02/01/2020	14/01/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	20	
2	Implementar el servidor de la base de datos y el sistema para su gestión	02/01/2020	06/01/2019	Coordinador de Tecnología y Estadística	8	
2	Generar scripts para el procesamiento de datos	06/01/2020	20/01/2019	Coordinador de Tecnología y Estadística	40	
2	Diseñar los servicios de datos	16/01/2020	20/01/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	32	
2	Contratar servicios para el mantenimiento del software	02/12/2020	20/12/2020	Líder del Proyecto	1	
2	Desplegar los servicios de información en el servidor Web	02/12/2019	20/12/2019	Coordinador de Tecnología y Estadística	8	
1 Expansión de la red de sensores:						196
2	Identificar ubicaciones en conjunto con la Agencia de Protección Ambiental (DPA)	24/02/2020	28/02/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	16	
2	Diseñar base de datos GIS y mapas de las ubicaciones seleccionadas	26/02/2020	28/02/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	8	
2	Adquirir 30 sensores de bajo costo	02/01/2020	15/03/2020	Líder del Proyecto	4	
2	Reclutar 30 voluntarios para hospedar los sensores	16/02/2020	15/03/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	12	
2	Visitar a los voluntarios para asegurarse de las condiciones de seguridad	16/02/2020	15/03/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	40	
2	Identificar los requerimientos o el material para la instalación	16/02/2020	15/03/2020	Coordinador de Operaciones	12	
2	Resolver los requerimientos o el material para la instalación	16/02/2020	15/03/2020	Líder del Proyecto	6	
2	Calendarizar las visitas de instalación	16/02/2020	15/03/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	6	

2	Realizar la instalación de 30 sensores en las ubicaciones de los voluntarios	15/03/2020	31/03/2020	Coordinador de Operaciones	60
2	Implementar la campaña de difusión sobre la expansión de la red	03/04/2020	28/04/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	40
1	Actualización de GIS y el generador de reportes Web	-	-	-	232
2	Identificar los requerimientos de software	02/12/2019	20/12/2019	Coordinador de Tecnología y Estadística	20
2	Generar el prototipo para la aplicación de GIS Web	09/12/2019	23/12/2019	Coordinador de Tecnología y Estadística	80
2	Generar el prototipo para el generador de reportes Web	09/12/2019	23/12/2019	Coordinador de Tecnología y Estadística	60
2	Contratar servicios para el mantenimiento del software	16/12/2019	20/01/2020	Líder del Proyecto	16
2	Realizar pruebas con un pequeño grupo de usuarios	09/12/2019	13/12/2019	Coordinador de Tecnología y Estadística	20
2	Desplegar cambios para el público	21/01/2020	24/01/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	16
2	Implementar campaña de difusión en redes sociales	03/02/2020	28/02/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	20
1	Actualización de la aplicación para iPhone y Android	-	-	-	132
2	Identificar los requerimientos para la aplicación móvil	10/03/2020	13/03/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	20
2	Generar los prototipos de la aplicación	16/03/2020	20/03/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	40
2	Contratar servicios para el mantenimiento de las aplicaciones móviles	23/03/2020	23/03/2020	Líder del Proyecto	16
2	Realizar pruebas con un pequeño grupo de usuarios	13/04/2020	17/04/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	20
2	Desplegar cambios para el público	01/05/2020	01/05/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	16
2	Implementar campaña de difusión en redes sociales	01/05/2020	15/05/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	20

1	Programa de capacitación y difusión (Programa Banderas):				342
2	Diseñar material educativo del Programa Banderas de la EPA	02/12/2019	23/12/2019	Líder del Proyecto	60
2	Diseñar e implementar cursos de concienciación	30/12/2019	03/01/2020	Líder del Proyecto	40
2	Diseñar agenda de capacitación para 15 escuelas primarias y 15 escuelas secundarias	06/01/2020	17/01/2020	Líder del Proyecto	6
2	Contratar el diseño e implementación de una página Web para difusión	01/01/2020	31/01/2020	Líder del Proyecto	20
2	Capacitar 15 escuelas primarias y 15 escuelas secundarias	02/03/2020	13/03/2020	Equipo de Capacitación	20
2	Diseñar campaña de difusión en redes sociales	16/03/2020	31/03/2020	Coordinador de Educación	20
2	Implementar campaña de difusión en redes sociales	01/04/2020	30/04/2020	Coordinador de Educación	12
2	Asistir a las mesas de los grupos de trabajo	05/12/2019	05/12/2019	Líder del Proyecto	40
2	Asistir a las reuniones del comité núcleo	15/01/2020	15/01/2020	Líder del Proyecto	40
2	Participar en eventos medioambientales			Líder del Proyecto	24
3	Participar en enero	15/01/2020	15/01/2020	Líder del Proyecto	4
3	Participar en febrero	17/02/2020	17/02/2020	Líder del Proyecto	4
3	Participar en marzo	23/03/2020	23/03/2020	Líder del Proyecto	4
3	Participar en abril	20/04/2020	20/04/2020	Líder del Proyecto	4
3	Participar en mayo	25/05/2020	25/05/2020	Líder del Proyecto	4
3	Participar en junio	22/06/2020	22/06/2020	Líder del Proyecto	4
2	Participar en medios electrónicos			Líder del Proyecto	28
3	Participar en diciembre	23/12/2019	23/12/2019	Coordinador de Relaciones Institucionales	4
3	Participar en enero	01/01/2020	31/01/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	4
3	Participar en febrero	01/02/2020	28/02/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	4

3	Participar en marzo	01/03/2020	31/03/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	4
3	Participar en abril	01/04/2020	30/04/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	4
3	Participar en mayo	02/05/2020	31/05/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	4
3	Participar en junio	01/06/2020	30/06/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	4
2	Contratar traductor del material educativo al idioma inglés	01/01/2020	31/01/2020	Líder del Proyecto	12
2	Obtener 30 kits de banderas y canvas para implementar el Programa Banderas	01/01/2020	31/01/2020	Líder del Proyecto	20
1	Administración del Proyecto				336
2	Coordinar la reunión de inicio del proyecto	02/12/2019	06/12/2019	Administrador del Proyecto	6
2	Monitorear y controlar el plan de trabajo	02/12/2019	31/07/2020	Administrador del Proyecto	100
2	Administrar los cambios según el alcance	29/07/2020	27/01/2021	Administrador del Proyecto	24
2	Coordinar las reuniones de seguimiento	01/01/2020	27/01/2020	Administrador del Proyecto	28
3	Seguimiento de febrero	01/02/2020	28/02/2020	Administrador del Proyecto	4
3	Seguimiento de marzo	01/03/2020	31/03/2020	Administrador del Proyecto	4
3	Seguimiento de abril	01/04/2020	30/04/2020	Administrador del Proyecto	4
3	Seguimiento de mayo	02/05/2020	31/05/2020	Administrador del Proyecto	4
3	Seguimiento de junio	01/06/2020	30/06/2020	Administrador del Proyecto	4
3	Seguimiento de julio	01/07/2020	31/07/2020	Administrador del Proyecto	4
3	Seguimiento de agosto	01/08/2020	31/08/2020	Administrador del Proyecto	4
3	Seguimiento de septiembre	22/09/2020	29/07/2020	Administrador del Proyecto	4
2	Implementar control de riesgos	04/02/2020	05/10/2020	Administrador del Proyecto	28
2	Implementar control de adquisiciones	02/12/2019	31/07/2020	Administrador del Proyecto	40
2	Administrar los comprobantes de gastos	02/12/2019	31/07/2020	Administrador del Proyecto	60

2	Recolectar información para la elaboración de los reportes de avance	03/02/2020	07/02/2020	Administrador del Proyecto	24
3	Enviar reporte de progreso en marzo	10/03/2020	10/04/2020	Administrador del Proyecto	12
3	Enviar reporte de progreso en julio	11/07/2020	11/08/2020	Administrador del Proyecto	12
2	Recolectar y procesar información para la elaboración del reporte final	12/08/2020	06/10/2020	Administrador del Proyecto	20
3	Enviar reporte final en octubre 2020	06/10/2020	03/12/2020	Administrador del Proyecto	20
2	Ejecutar la clausura del proyecto	31/03/2020	30/10/2020	Administrador del Proyecto	6
1	Programa de auto sustentabilidad				152
2	Firmar un acuerdo con empresas locales para patrocinar el reemplazo bianual de los componentes del sensor	01/05/2020	29/05/2020	Líder del Proyecto	16
2	Implementar una campaña de difusión para obtener patrocinios	01/04/2020	30/04/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	40
2	Firmar un acuerdo con el proveedor de los sensores para el reemplazo periódico de los componentes	01/04/2020	30/04/2020	Líder del Proyecto	16
2	Diseñar un programa de voluntariado pro-bono	01/05/2020	15/05/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	80
1	Medición de la calidad del aire en el Valle de Mexicali				330
2	Operar y mantener la red de sensores	01/02/2020	12/31/2020	Coordinador de Operaciones	80
2	Operar y mantener el software y la base de datos	01/02/2020	31/07/2020	Coordinador de Tecnología y Estadística	80
2	Ejecutar las actividades del QAPP	01/02/2020	31/07/2020	Equipo del QAPI	50
2	Presentar reportes digitales mensuales validados por EPA, CARB, e Imperial Valley	29/02/2020	31/07/2020	Líder del Proyecto	45
2	Presentar reportes digitales validados al Ayuntamiento de Mexicali y el Gobierno del Estado	29/02/2020	31/07/2020	Líder del Proyecto	15
2	Implementar campaña de difusión en redes sociales sobre los reportes mensuales validados	01/02/2020	31/07/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	40
2	Difundir reportes mensuales en eventos medioambientales	01/02/2020	31/07/2020	Coordinador de Relaciones Institucionales	20

8.2 ANEXO 2: BASE DE DATOS

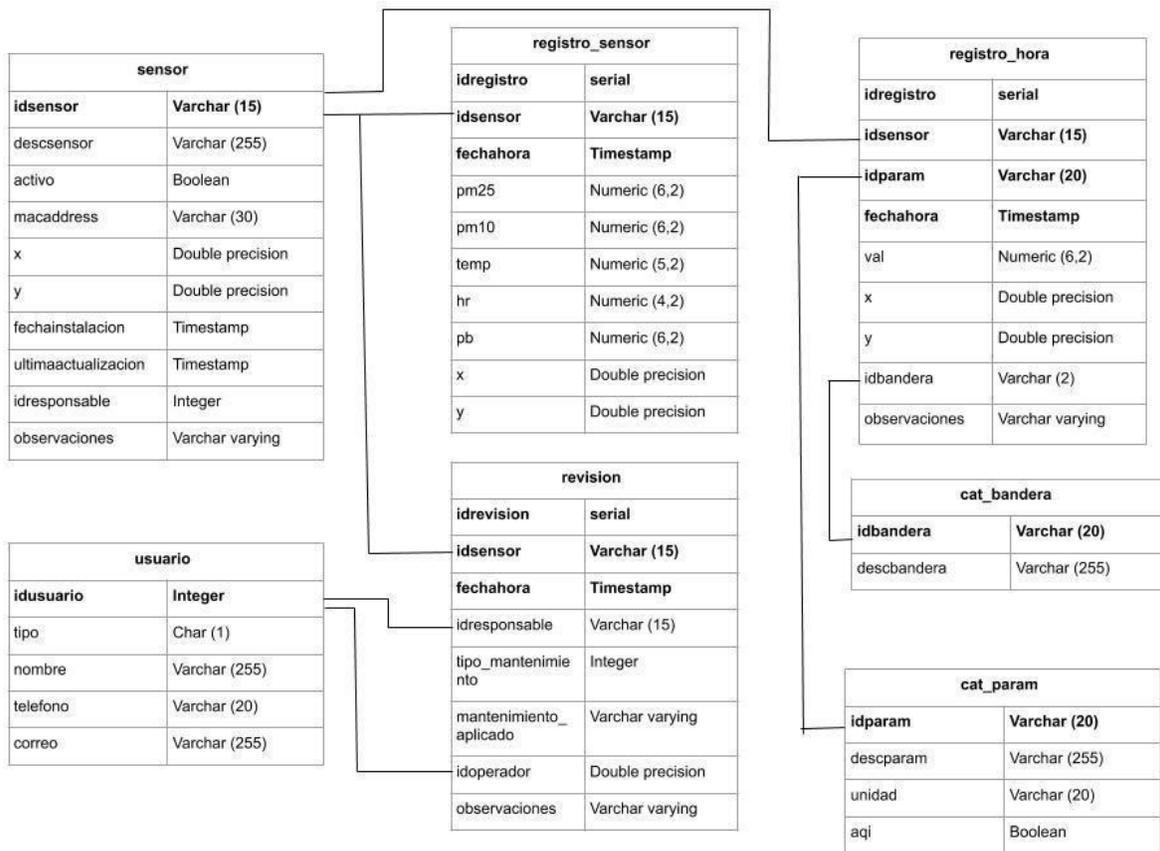
**Tabla: sensor**

Tabla para el registro de los sensores instalados.

Campos:

- idsensor: Identificador del sensor.
- descsensor: Ubicación del sensor y/o descripción del nombre.
- activo: Indica si el sensor se encuentra activo o no.
- macaddress: MAC address del sensor.
- x: Ubicación del sensor Coordenada X (WGS 84).
- y: Ubicación del sensor Coordenada Y (WGS 84).
- fechainstalacion: Fecha y hora de la instalación.
- ultimaactualizacion: Fecha y hora de la última actualización de la base de datos.
- observaciones: Notas sobre la instalación del sensor.

Table: cat_param

Parámetros leídos por los dispositivos / catálogo de sensores.

Campos:

- idparam: Identificador del parámetro.
- descparam: Descripción de parámetro.
- unidad: Unidad de medida del parámetro.
- aqi: Indica si aplica o no el Índice de la Calidad del Aire (AQI). Por ejemplo, el AQI aplica para PM2.5 y PM10, pero no para Temperatura y Humedad.

Tabla: registro_sensor

Almacena las lecturas por minuto enviadas por los sensores.

Campos:

- idregistro: Identificador numérico autoincremental que indica el registro / número de lectura.
- idsensor: Identificador del sensor.
- fechahora: Fecha y hora de la lectura.
- pm25: Valor PM2.5.
- pm10: Valor PM10.
- temp: Valor de la Temperatura.
- hr: Valor de Humedad Relativa.
- pb: Valor de Presión Barométrica.
- x: Ubicación del sensor Coordenada X (WGS 84).
- y: Ubicación del sensor Coordenada Y (WGS 84).
- rssi: Indicador de fuerza de la señal recibida de Wifi

Tabla: registro_hora

Almacena los promedios por hora obtenidos de las lecturas del sensor y otras fuentes de datos (estaciones normativas). La asignación de banderas se incluye después del procesamiento de datos y la aplicación de reglas de calidad.

Campos:

- idregistro: Identificador numérico autoincremental que indica el número de registro.
- idsensor: Identificador de sensor.
- fechahora: Fecha y hora de lectura.
- val: Valor de Parámetro.
- x: Ubicación del sensor Coordenada X (WGS 84).
- y: Ubicación del sensor Coordenada Y (WGS 84).
- idbandera: Identificador de la bandera de aseguramiento de calidad de los datos.
- observaciones: Notas en atención al promedio.

Tabla: usuario

Almacena los usuarios involucrados en el proyecto, sean usuarios administradores, operadores técnicos o usuarios responsables de los sensores.

Campos:

- idusuario: Identificador único de usuario.
- es_staff: Especifica si el usuario es parte del equipo de administración del proyecto (staff).
- nombre: Nombre del usuario.
- telefono: Teléfono del usuario.
- correo: Correo electrónico del usuario.

Tabla: revision

Esta tabla registra las revisiones de campo (preventivas o correctivas).

Campos:

- idrevision: Identificador único de revisión (valor autoincremental)
- idsensor: Identificador del sensor revisado.
- fechahora: Fecha y hora de la revisión.
- idresponsable: Identificador del responsable del sensor.
- tipo_mantenimiento: Tipo de mantenimiento (P=preventivo y C=correctivo).
- mantenimiento_aplicado: Descripción del mantenimiento aplicado.
- idoperador: Identificador del usuario operador de la revisión.
- observaciones: Notas de la revisión.

Tabla: cat_bandera

Catálogo de las banderas de calidad de datos.

Campos:

- idbandera: Identificador de la bandera.
- descbandera: Descripción de la bandera.

8.3 ANEXO 3: FORMATO DE INSTALACIÓN DE SENSOR REDSPIRA

FORMATO DE INSTALACIÓN DE SENSOR REDSPIRA						
Fecha:	Hora:	Duración:	Número de Servicio:			
Operador Técnico						
Nombre:						
Dispositivo						
ID:	Ciudad:			Versión:		
MAC ADDRESS:	Dirección:			Estado del sensor:		
Latitud:		Longitud:				
Condiciones climáticas:		Estado del sensor:				
Usuario del Dispositivo						
Nombre:						
Número telefónico:						
Condiciones de Instalación						
Distancia aproximada entre dispositivo y nivel del suelo:						Metro(s)
Distancia aproximada entre dispositivo y pared de igual o mayor tamaño:						Metro(s)
Distancia aproximada entre dispositivo y árboles:						Metro(s)
Distancia aproximada entre dispositivo y fuentes de ventilación:						Metro(s)
Observaciones:						
Instalación Eléctrica						
Tipo de instalación eléctrica:	Fija			Extensión		
Calidad de instalación eléctrica:	Mala		Regular		Buena	
Total de conectores disponibles:	1	2	3	4	5	6 o más
Resistente a la intemperie:	Sí		No		Tal vez	
Observaciones:						
Conexión WiFi						
Red inalámbrica:			Clave:			
Intensidad señal WiFi:			Extensor:		Sí	No
Proveedor de servicios de Internet:		Telnor	Izzi	Otro:		
Observaciones:						
Análisis de datos						
Comportamiento:			Decisiones:			
Notas Generales						
Observaciones:			Soluciones:			
Firma del Operador Técnico			Firma del Usuario del Sensor			

8.4 ANEXO 4: FORMATO OPERATIVO REDSPIRA

Formato Operativo Redspira			
Fecha:	Hora:	Duración:	Número de Registro:
Operador Técnico			
Nombre:			
Dispositivo			
ID:	Ciudad:		
MAC ADDRESS:	Versión:		
Domicilio:			
Latitud:		Longitud:	
Condiciones climáticas:		Estado del sensor:	
Usuario del Dispositivo			
Nombre:			
Número Telefónico:			
Mantenimiento Aplicado (Marcar con una X)			
Preventivo		Correctivo	
Aplicación de aire comprimido		Reemplazo de adaptador de corriente (5V, 2A)	
Limpieza de circuito electrónico impreso		Reemplazo de riel – base metálica	
Revisión de cableado		Reemplazo de carcasa	
Aplicación de silicón frío		Reemplazo de circuito electrónico impreso	
Respaldo de registros generados en Micro SD 16GB		Reemplazo de lector de partículas (PM 2.5 y 10)	
		Reemplazo de componente BME280	
		Reemplazo de tarjeta de memoria (Micro SD 16 GB)	
		Reemplazo de tornillos	
		Reemplazo de batería litio 3.3v	
		Reemplazo de batería tipo botón	
		Reemplazo de dispositivo complete	
		Actualización de firmware	
Notas Adicionales			
(Cambios en el proveedor de servicios de Internet, instalación eléctrica o altura de la instalación del dispositivo)			
Análisis de datos			
Comportamiento:		Decisiones:	
Notas Generales			
Observaciones:		Soluciones:	
Firma del Operador Técnico		Firma del Usuario del Sensor	

8.5 ANEXO 5: FORMATO BITÁCORA DE SERVICIOS REDSPIRA

FORMATO BITÁCORA DE SERVICIOS REDSPIRA					
Dispositivo					
ID:			Ciudad:		
MAC ADDRESS:			Versión:		
Domicilio:					
Latitud:			Longitud:		
Usuario del Dispositivo					
Nombre:					
Número Telefónico:					
Servicios					
Número	Número de Servicio	Fecha	Hora	Estado	Notas
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					

8.6 ANEXO 6: FORMATO REPORTE DE ESTUDIO DE COUBICACIÓN



Estudio de Coubicación

Objetivo:

Describir el objetivo del estudio

Tipo de estudio: Campo Condiciones controladas

Marcar con una X

Dirección de la ubicación: Colonia, Calle, Número, Ciudad, C. P. **Coordenadas Geográficas:** x= y=

Distancia de caminos: ___metros **Tipo de camino** (Asfalto, Tierra, Grava) : _____

Características geográficas:

Describir las características geográficas

Periodo del estudio

Fecha de inicio: día, mes, año **Fecha de fin:** día, mes, año

Temporada del año: Primavera Verano Otoño Invierno

Marcar con una X

Contaminantes y variables de estudio

PM2.5 PM10 CO O3 SO2 NO2 PB T H P

Marcar con una X



Características de los equipos

Equipo Normativo

Cantidad:

Administrado por:

Modelo / Tipo :

Sensor / monitor del contaminante a evaluar:

Intervalo de muestreo:

Transmisión de datos: ___Memory Card Wifi ___USB Ethernet ___Bluetooth ___Other [Marcar con una X](#)

Voltaje de Alimentación:

Características físicas de la instalación: [Describir](#)

Equipo Bajo Costo

Cantidad:

Administrado por:

Modelo / Tipo :

Sensor / monitor del contaminante a evaluar:

Intervalo de muestreo:

Transmisión de datos: ___Memory Card Wifi ___USB Ethernet ___Bluetooth ___Other [Marcar con una X](#)

Voltaje de Alimentación:

Características físicas de la instalación: [Describir](#)



Fotografías de la instalación:



Parámetros de evaluación de campo

La evaluación de campo de los sensores se basa en una comparación lado a lado entre los tres sensores dispositivos y el (los) instrumento (s) FRM / FEM que miden los mismos contaminantes. Una serie de resultados relacionados Se evalúan los parámetros que afectarían las mediciones de la calidad del aire en el campo.

- Recuperación de datos
- Variabilidad intramodelo
- Coeficiente de correlación R2
-

Recuperación de datos

La recuperación de datos se calcula utilizando una relación porcentual del número de puntos de datos del sensor válidos sobre el número total de puntos de datos recopilados durante el período de prueba (por ejemplo, 10 horas de prueba con una resolución de tiempo de 1 minuto dan como resultado hasta 600 puntos de datos en total) . La integridad es un factor importante para producir datos confiables y representativos, como se indica en las pautas de la EPA para la recopilación de datos reglamentarios.

Recuperación de datos (%) = (N datos válidos / N periodo de prueba) * 100
dónde,

Los datos no válidos son el número de puntos de datos del sensor válidos durante el período de prueba
El período de prueba es el número total de puntos de datos para el período de prueba (de principio a fin)

Ejemplo:

El periodo de datos para el análisis de recuperación de datos del sensor Redspira es de 77 días, 13 horas y 25 minutos,

- 77 días
- 1, 850 horas
- 111, 025 minutos o promedios de 5 minutos (22, 205 muestreos)
- 6, 661, 500 segundos

Para fines del estudio se generaron promedios de 5 minutos de lo cual se esperaría un total de 22,205 muestreos. Para los sensores **P0039** 22,188 , mientras que el **P0038** obtuvo un total de 22,180, el sensor **P0037** registró un total de 22,181 muestras para promedios de 5 segundos,

Los tres sensores lograron un **99.92% de recuperación de datos.**

Control de variabilidad del sensor a analizar (Redspira)

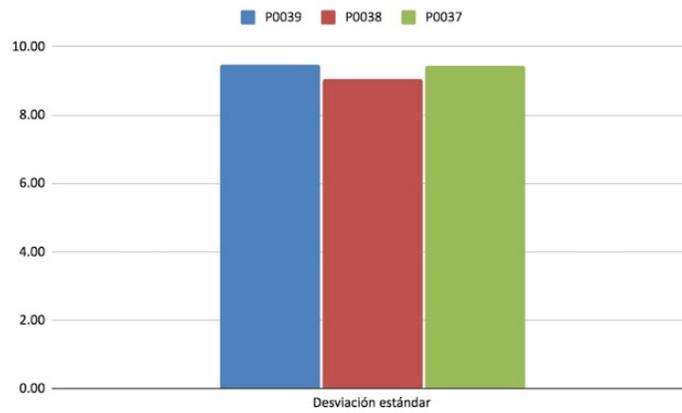
La variabilidad intra modelo está relacionada con qué tan cerca están las medidas de tres unidades del mismo tipo de sensor entre sí. Se evalúa mediante un conjunto de parámetros estadísticos descriptivos, como media, mediana, Desviación Estándar.



PM 2.5

	Sensor 1	Sensor 2	...Sensor N
Desviación estándar			
Máximo			
Media			
Mediana			

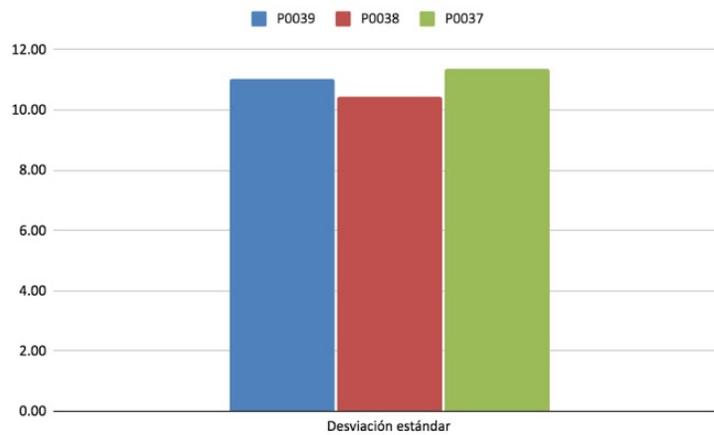
Agregar Gráfica



PM10

	Sensor 1	Sensor 2	...Sensor N
Desviación estándar			
Máximo			
Media			
Mediana			

Agregar Gráfica

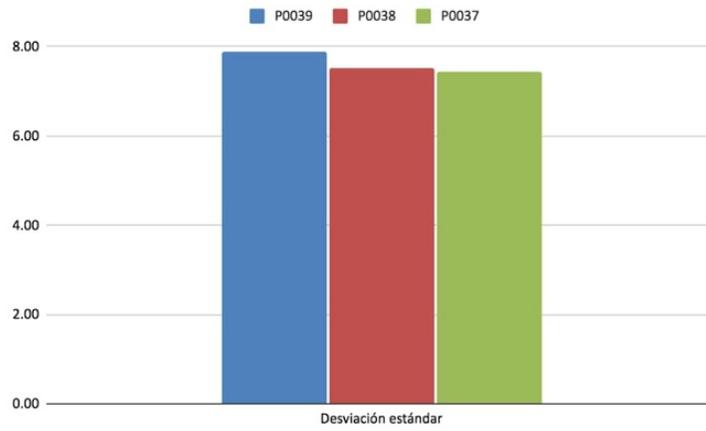




Temperatura

	Sensor 1	Sensor 2	...Sensor N
Desviación estándar			
Máximo			
Media			
Mediana			

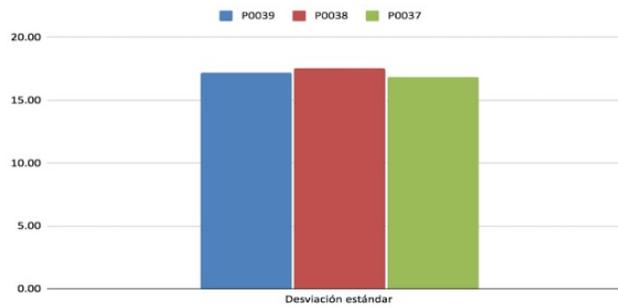
Agregar Gráfica



Humedad

	Sensor 1	Sensor 2	...Sensor N
Desviación estándar			
Máximo			
Media			
Mediana			

Agregar Gráfica





Coefficiente de correlación lineal (R2)

Este parámetro expresa la fuerza de la relación lineal entre las mediciones promedio de los dispositivos probados y los valores correspondientes del instrumento de referencia. El conjunto de datos emparejados se procesa y se calcula una curva de regresión (lineal) de mejor ajuste junto con el coeficiente de correlación (R2) correspondiente, la pendiente y los valores de intersección. Un R2 que se aproxima al valor de 1 refleja una concordancia casi perfecta entre los sensores y las lecturas de FRM / FEM, mientras que un valor de 0 indica una falta total de correlación.



CARB_Calexico - CARB - Calexico - Ethel Street Vs pa63423 - IV_APCD RTS

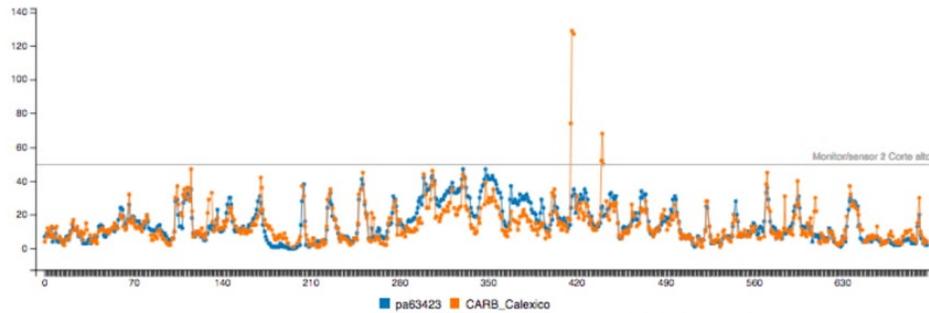
Periodo del estudio: 01/09/2020 - 30/09/2020

Tipo de muestra: Ej. Promedios horarios

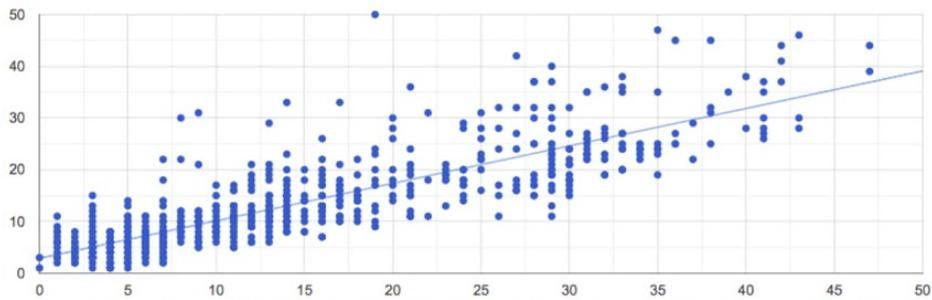
Consideraciones: Ej. Se descartaron valores de CARB_Calexico mayores a 50 mg

Indicador	Sensor 1	Sensor 2
Número de muestras esperadas		
Número de muestras válidas		
Porcentaje de muestras válidas		
Desviación estándar		
Media		
Mediana		
Máximo		

Agregar Gráficas



Promedio horario de las mediciones durante el periodo 1 al 30 de septiembre de 2020



Correlación entre X=PA63423 y Y=CARB Calexico Ethel Street del 1 al 30 de septiembre ($r^2 = 0.72$)



*Repetir la sección de análisis según sea necesario

Referencias:

Agregar cualquier referencia adicional utilizada para el estudio.

AQ-SPEC: Field Setup and Testing Protocol

<http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/protocols/sensors-field-testing-protocol.pdf?sfvrsn=0>

EPA Toolbox: How to Evaluate Low-Cost Sensor by Collocation with Federal Reference Method Monitors

https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/collocation_instruction_guide.pdf

EPA: Evaluation of Field-deployed Low Cost PM Sensors

https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NERL&dirEntryId=297517&simpleSearch=1&searchAll=EPA/600/R-14/464

I

