



Cómo evaluar sensores de bajo costo mediante la colocación con monitores del método de referencia federal

Laboratorio Nacional de Investigación de la
Exposición

Oficina de Investigación y Desarrollo

Noviembre de 2017



Oficina de Investigación y Desarrollo - EPA

Teri Conner, conner.teri@epa.gov

Andrea Clements, clements.andrea@epa.gov

Ronald Williams, williams.ronald@epa.gov

Oficina de Planificación y Estándares de Calidad del Aire - EPA

Amanda Kaufman, kaufman.amanda@epa.gov

Los avances tecnológicos recientes en el monitoreo de la calidad del aire han aportado monitores más pequeños, de menor costo basados en sensores.



- Estos sensores de bajo costo pueden medir algunos de los mismos contaminantes del aire que pueden medir los monitores de referencia más costosos.
- ¿Pero son buenos?

El objetivo de esta presentación es dar instrucciones para evaluar sensores de bajo costo al colocarlos con monitores de referencia y comparar mediciones de los dos para determinar la “fidelidad” de los sensores de bajo costo.

Antecedentes: Monitores de referencia

¿Qué son los monitores de referencia? ¿Por qué los necesitamos?

- La [Ley de Aire Limpio](#) exige que cada estado establezca una red de estaciones de monitoreo del aire para vigilar [contaminantes del aire regulados](#) que deben cumplir con los [Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental \(NAAQS\)](#). No todos los contaminantes regulados se miden en todas las estaciones.
- Los instrumentos de medición y los métodos utilizados en estas estaciones de monitoreo reglamentarias se llaman Métodos de Referencia Federales (FRM) o Métodos Equivalentes Federales (FEM).



- Los [instrumentos FRM/FEM](#) deben cumplir con estándares rigurosos de exactitud y confiabilidad (vea en la parte 53 del Título 40 del CFR para conocer los detalles). Estos instrumentos son “La regla de oro”.
- En esta presentación estos instrumentos FRM/FEM se llamarán *monitores de referencia* para simplificar.



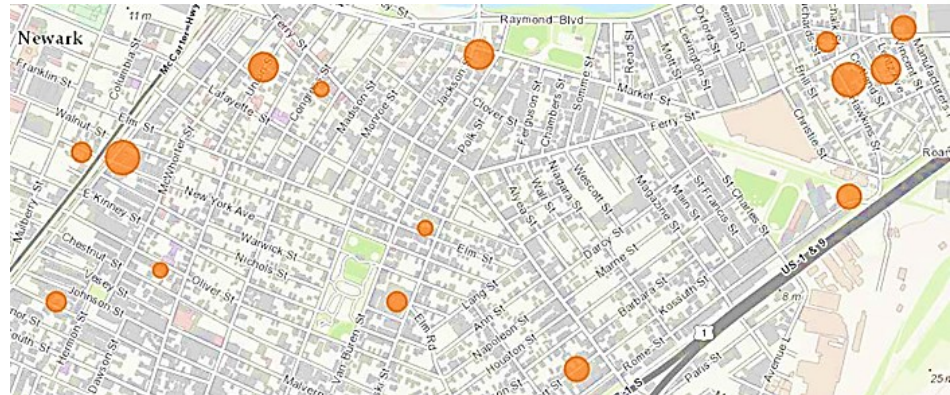
Antecedentes: Monitores de referencia y sensores de bajo costo

Aquí tiene cómo se comparan los sensores de bajo costo con los monitores de referencia:

	Monitores de referencia	Sensores de bajo costo
Gama de costo típico de compra	\$15,000 a \$50,000	\$100 a \$2500
Gasto operativo	Alto costo	Bajo costo
Ubicación del sitio	Ubicación fija (se necesita remolque/inmueble)	Portátil (protecciones básicas contra la intemperie)
Capacitación del personal	Personal técnico altamente capacitado	Poco o nada de capacitación
Calidad de datos	Calidad conocida y constante en una variedad de condiciones	Se desconoce y puede variar de un sensor a otro y en diferentes condiciones meteorológicas
Duración operativa	10+ años (calibrado y operado para mantener exactitud)	Breve (1 año) o se desconoce (puede tornarse menos sensible con el paso del tiempo)
¿Se usa para monitoreo reglamentario?	Sí	No

¿Cómo pueden usarse los sensores de bajo costo?

- El bajo costo y la portabilidad de estos sensores posibilita medir la calidad del aire en más lugares.
- Muchos de estos sensores pueden reportar mediciones con una frecuencia de minutos, o incluso segundos, haciendo posible conocer cambios en la calidad del aire a lo largo del día.



Los puntos naranja son puntos de monitoreo con sensores en el área de Newark.

Los sensores de bajo costo pueden usarse para localizar puntos álgidos de contaminación, identificar fuentes de contaminación, suplementar datos de monitoreo en sitios fijos, medir la exposición personal a los contaminantes, educar y mejorar la concienciación sobre la calidad del aire.



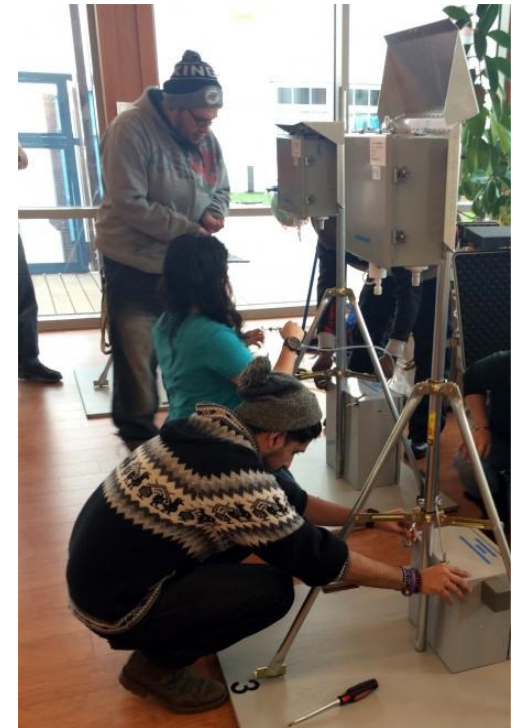
Antecedentes: Sensores de bajo costo

El bajo costo, la portabilidad y la facilidad de uso de la tecnología de sensores hace posible que los ciudadanos participen en el monitoreo de la calidad del aire dentro de sus comunidades. Aquí damos algunos ejemplos:

- [Ironbound Community, Newark, Nueva Jersey](#)
- [DISUR \(Desarrollo Integral del Sur\), Ponce, Puerto Rico](#)
- [Caja de Herramientas Federal de Crowdsourcing y Ciencia Ciudadana](#)



La EPA y ciudadanos en un punto de monitoreo.



Ciudadanos aprendiendo a operar pods de sensores EPA.



Evaluar sensores de bajo costo: Colocalización

¿Qué es la colocalización?

- **La colocalización** es el proceso mediante el cual un monitor de referencia (FRM/FEM) y un monitor no de referencia (sensor) son operados al mismo tiempo y colocados bajo condiciones de la vida real durante un periodo definido de evaluación.
- El rendimiento de los sensores puede evaluarse y es posible mejorar la exactitud de los datos al comparar datos de sensores con datos de monitores de referencia.
- Aquí tiene algunos ejemplos de evaluaciones de sensores mediante la colocalización con monitores de referencia:

- [Informe de evaluación del sensor de material particulado](#)
- [Informe de evaluación del sensor](#)

Hay más ejemplos de colocalización en la [página web de la Caja de herramientas de sensores de aire.](#)



- Los materiales provistos en esta presentación le darán un entendimiento de las importantes consideraciones de toda labor de colocalización.
- La meta de una labor de colocalización es evaluar la calidad de datos del sensor y ayudar a contestar algunas preguntas importantes como estas:

¿Por qué mis dos sensores indican cosas diferentes?

¿Son exactas las lecturas de mis sensores?

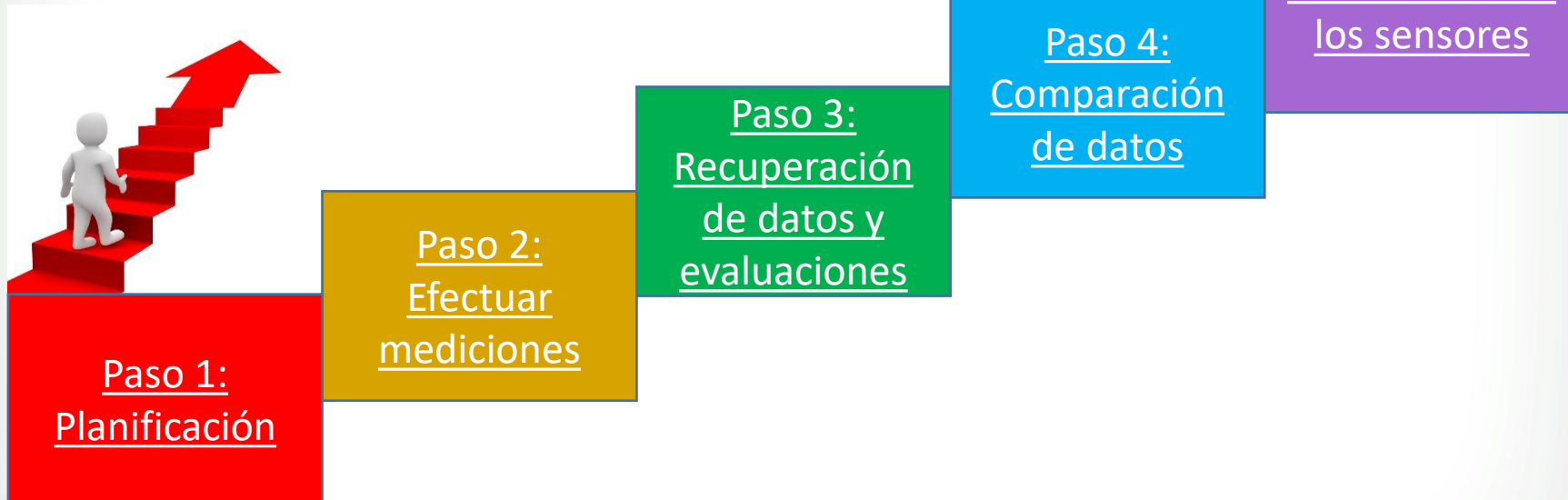
*¿Es malo este número?
¿Qué significa?*



¡Use la colocalización para ayudar a contestar estas preguntas!

La colocación es un proceso que consta de múltiples pasos.

Puede conectar con cada paso haciendo clic en esta gráfica:



Paso 1: Planificar una evaluación de sensores

¿Qué sensor evalúa?

• Si planea evaluar un sensor, probablemente ya ha determinado qué contaminante va a medir y qué sensor desea usar para medirlo. Tenga presente que no todos los contaminantes regulados pueden medirse con sensores de aire de bajo costo.

• De lo contrario, comience por hacerse una pregunta para empezar – algo como “¿A qué hora del día son más altas las concentraciones de material particulado en mi vecindario?” Piense en la logística – es decir, **quién, qué, dónde, cuándo, porqué y cómo**.



La [Guía de sensores de aire](#) es un buen punto de partida para adentrarse en temas como calidad del aire, contaminantes y sus fuentes (capítulo 2) y qué buscar en un sensor (capítulo 3).

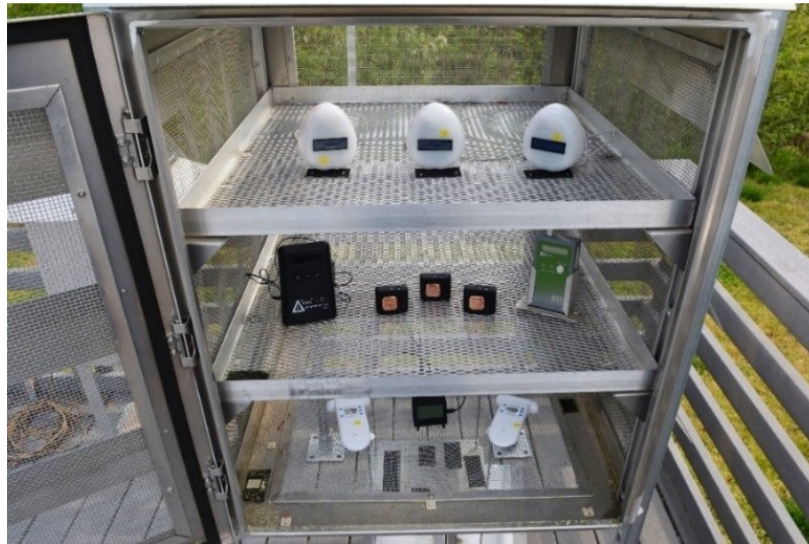
Paso I: Planificar una evaluación de sensores

¿Cuántos sensores necesito?

- Si es posible, adquiera al menos 3 unidades del mismo sensor.

¿Por qué debo evaluar tres (o más) sensores?

- Será más fácil reconocer un sensor defectuoso.
- Tendrá más datos para evaluar la exactitud y variabilidad de la medición del sensor.



Ejemplo de sensores sometidos a prueba en triplicado



Paso 1: Planificar una evaluación de sensores

Aparte de los sensores, ¿qué equipo y suministros necesito?

• ¿Qué fuente de alimentación necesito?

- Corriente alterna (AC): Confirme que tenga suficiente número y longitudes de cables de alimentación, y un lugar donde enchufar todo.
- Otro: Paneles solares/baterías/cables de carga

• ***¿Cómo se guardan o transmiten los datos?***

- Medios de almacenamiento: Típicamente microtarjetas SD
- Transmisión celular: ¿Hay suficiente señal celular o WiFi? ¿Dónde se transmiten los datos? ¿Cómo se transmiten? ¿Tengo que comprar un plan celular dedicado?
- Conexión de computadora: Cables para conectar sensor a computadora (si se requiere)

• ***¿Qué computadora y software necesito?***

- Software específico del sensor: Provisto por el fabricante del sensor
- Otro software: Para análisis de datos (por ej., Excel), descarga y transmisión de datos (por ej., PuTTY)
- Computadora: Debe ser suficiente para funcionar con todo el hardware y software

Antes de comenzar, lea la guía del usuario o las instrucciones provistas con su sensor. Es buena idea probar todo antes de hacer su evaluación de campo para entender mejor su sensor e identificar todo problema potencial.

¿Necesito alguna otra cosa?

- ¡Sí! Un componente importante de todo estudio de campo o proyecto de medición es un **cuaderno del proyecto**.
- Debe ser un cuaderno de tapas duras y a prueba de la intemperie si se usa al aire libre para mediciones de campo.
- Marque los errores trazando una sola línea encima del error, y ponga sus iniciales junto al cambio.
- Use el cuaderno del proyecto para documentar sus actividades en el campo, así como antes y después del despliegue de campo.
- **Aquí tiene algunos ejemplos de cosas que escribir en el cuaderno del proyecto:**
 - Pruebas y observaciones antes de la evaluación de campo
 - Detalles de las visitas de campo – hora, fecha y duración; sus actividades y observaciones; estatus de los sensores; actividades cercanas y eventos meteorológicos inusuales que pueden influir en las mediciones; problemas observados y soluciones
 - Observaciones y decisiones interesantes acerca de los datos después del despliegue durante el análisis de datos.





Paso 1: Planificar una evaluación de sensores

He seleccionado mi sensor. ¿Ahora qué?

- Una opción es contactar a la agencia o junta local de calidad del aire/recursos naturales. Un buen lugar donde comenzar es la [Asociación de Agencias de Control de la Contaminación del Aire](#) o la [Asociación Nacional para las Agencias de Aire Limpio](#).
- Contactar a estas agencias antes de empezar un proyecto puede ayudarle a definir sus proyectos y metas, y dirigirlo hacia los contactos correctos. También pueden ayudarle a identificar ubicaciones de los sitios de monitoreo de referencia, dado que generalmente están a cargo de ellos.
- Tenga presente que el acceso a sitios de monitoreo de referencia para fines reglamentarios estará probablemente restringido. Tendría que obtener permiso de la agencia local de calidad del aire para efectuar investigación muy cerca de sus ubicaciones protegidas de monitoreo.

El [Sistema de Calidad del Aire \(AQS\)](#) contiene datos de contaminación del aire ambiental recolectados por la EPA, agencias estatales, locales y tribales para el control de la contaminación del aire a través de miles de monitores. Aquí puede hallar instrucciones y enlaces para obtener datos de AQS.



¿Qué otras opciones tengo para colocalizar con un monitor de referencia?

- El monitor de referencia (FRM/FEM) utilizado para colocalización no necesita ubicarse en un sitio oficial reglamentario.
- Pero sí debe ser operado siguiendo los protocolos aprobados de aseguramiento de la calidad. Esto puede lograrlo cualquier entidad concedora y de buena reputación como las siguientes:
 - Agencia federal, tribal, estatal o local de calidad del aire/recursos naturales
 - Socio universitario – típicamente con pericia en ingeniería ambiental, ciencias atmosféricas y ámbitos similares – su agencia local puede estar en condiciones de recomendar contactos universitarios
 - Contratista de calidad del aire

Para poder preparar estas conversaciones iniciales, es aconsejable revisar las preguntas indicadas en el Apéndice A de la [Guía de Sensores de Aire](#).





Paso I: Planificar una evaluación de sensores

¿Cómo planifico recolectar datos para evaluación científica?

•Escriba un plan (llamado Plan de Proyecto de Aseguramiento de la Calidad) que conteste estas preguntas:

- ¿Qué pregunta trata de contestar?
- ¿Qué datos se necesitan?
- ¿Quién usará los datos y cómo se utilizarán?
- ¿Hay requisitos específicos para los datos? ¿Hora del día? ¿Temporada? ¿Duración de la medición?
- ¿Cómo se evaluará la calidad de los datos?
- ¡Colocalización con datos de referencia!
- ¿Quién efectuará el trabajo?
 - Indique participantes y sus responsabilidades en el proyecto.
 - Incluya participantes que pueden resolver problemas técnicos y entender datos.

Haga clic [aquí](#) para regresar a la diapositiva de pasos estratégicos.

Vea este video para conocer más detalles:

[Video de capacitación sobre aseguramiento de la calidad](#)

Descargue una plantilla para su plan:

[Plan de proyecto de aseguramiento de la calidad para proyectos de ciencia ciudadana](#)

¿Dónde debo colocar mis sensores?

- Idealmente, los sensores y monitores de referencia deben estar a una distancia de 10 metros (30 pies) entre sí, y las entradas (donde entra aire al sensor/monitor) deben estar aproximadamente a la misma altura.
- El movimiento de aire alrededor del sensor no debe bloquearse ni impedirse con ninguna otra estructura o dispositivo.
- Deben estar protegidos contra la intemperie.



Ejemplo de entrada del sensor situada cerca de la entrada del monitor de referencia.



Ejemplo de un refugio contra la intemperie fabricado especialmente para la evaluación del sensor.

¿Cómo hago una comparación útil de los datos del sensor y de la referencia?

- Averigüe con qué frecuencia el monitor de referencia reporta datos. ¿Es cada 5 minutos? ¿Cada hora? ¿Cada 24 horas (típico de las mediciones basadas en filtros)?
- ¿Puede su sensor reportar datos al menos con la misma frecuencia, y en las mismas horas, que el monitor de referencia? Si es posible, elija una frecuencia de informes de datos del sensor un poco más corta que la frecuencia de informes de datos del monitor de referencia.

Aquí damos un ejemplo de cómo hacer concordar los periodos de medición de datos del sensor y del monitor de referencia:

- 1) Situación***: El monitor de referencia reporta datos cada 5 minutos. Las opciones de frecuencia de datos del sensor son cada 5 minutos, 1 minuto o 1 segundo.
- 2) Elija la frecuencia de datos del sensor***: Elija 1 minuto. (Elegir 1 segundo crea más puntos de datos que lo necesario.)
- 3) Promedie los datos del sensor***: Tome cada cinco puntos de datos del sensor de 1 minuto y promédie los para obtener un punto de datos de 5 minutos a fin de concordar con los tiempos de informes de datos del monitor de referencia.

Paso 2: Efectuar mediciones



Aquí tiene algunas sugerencias para datos recolectados en intervalos de tiempos diferentes:

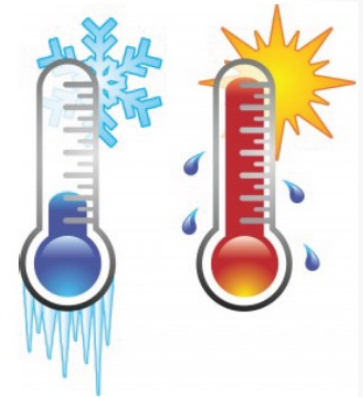
- Datos de 24 horas – 1 mes de recolección de datos exitosa - ~30 pares de datos válidos
- Datos de 1 hora – 2 semanas de recolección de datos exitosa - ~500+ pares de datos válidos
- Datos de 5 min – 1 semana de recolección de datos exitosa - ~2000+ pares de datos válidos

Otros factores a considerar:

- Muchos contaminantes siguen tendencias de temporadas. Si es posible, realice mediciones de colocación cuando sea más probable que el contaminante de interés esté en concentraciones más altas y cuando sea más probable que cambie a lo largo del periodo de medición.



- Los extremos de temperatura y humedad relativa pueden afectar las lecturas de los sensores.
- Algunos contaminantes o condiciones pueden interferir con el contaminante que trata de medir. Consulte las especificaciones provistas por el fabricante del sensor para ver detalles adicionales.
- Algunos sensores, como aquellos para gases, pueden perder gradualmente su reactividad a lo largo del tiempo y deben reemplazarse, comúnmente después de un año. Esto ocurre ya sea que se usen o no. ¿Cómo puede darse cuenta? Sus mediciones tienden hacia abajo cuando las mediciones de referencia no lo hacen.



Resolución de problemas:

- Hacer mediciones de cualquier tipo puede presentar dificultades, especialmente en ambientes al aire libre.
- Confirme que entienda su sensor y cómo es su funcionamiento normal.
- Visite el sitio de monitoreo regularmente para detectar problemas y solucionarlos antes de que se pierdan muchos puntos de datos.
- Hay muchas cosas que pueden salir mal, y no todos los problemas se deben a un sensor defectuoso. Estos son algunos problemas comunes que revisar:
 - ¿Recibe alimentación el sensor? Confirme la fuente de alimentación o el disyuntor.
 - ¿Ha habido algún evento meteorológico inusual?
 - ¿Hay evidencia de animales o insectos que interfieran con la medición?
 - ¿Están firmes todas las conexiones de cables?
 - ¿Está bloqueada la entrada o salida del sensor?
 - **¡ANOTE TODAS LAS OBSERVACIONES EN SU CUADERNO DEL PROYECTO!**

Haga clic [aquí](#) para regresar a la diapositiva de pasos estratégicos.

Paso 3: Recuperación de datos y evaluaciones

Ahora que tengo datos, ¿qué debo hacer?

- Una vez que tenga datos, es importante revisarlos para evaluar la calidad e identificar problemas.
- Es buena idea revisar sus datos durante la fase de recolección para identificar problemas que puedan afectar sus datos y corregirlos, así como al terminar la recolección de datos para evaluar todo el conjunto de datos.
- Cosas que buscar al evaluar sus datos:
 - Valores anormalmente altos o bajos (anomalías)
 - Tendencias imprevistas
 - Interferencias
 - Desviaciones o cambios



Estas características se definen con ejemplos en las siguientes diapositivas. Use información y observaciones registradas en su cuaderno de campo para poder entender cualquier problema que encuentre en los datos, y poder decidir cómo manejarlo (por ej., excluir ciertos puntos de datos.)

Paso 3: Recuperación de datos y evaluaciones

Anomalías – puntos de datos que se ven fuera de lugar – mucho más bajos o más altos que los puntos de datos cercanos

	A	B
1	Timbre de hora	PM2.5 (ug/m ³)
2	12/7/2016 18:15	33.57
3	12/7/2016 18:20	35.91
4	12/7/2016 18:25	105.69
5	12/7/2016 18:30	110.24
6	12/7/2016 18:35	37.44
7	12/7/2016 18:40	38.16
8	12/7/2016 18:45	38.51
9	12/7/2016 18:50	39.18
10	12/7/2016 18:55	37.32
11	12/7/2016 19:00	38.16
12	12/7/2016 19:05	37.72
13	12/7/2016 19:10	38.14
14	12/7/2016 19:15	0.00
15	12/7/2016 19:20	37.55
16	12/7/2016 19:25	36.57

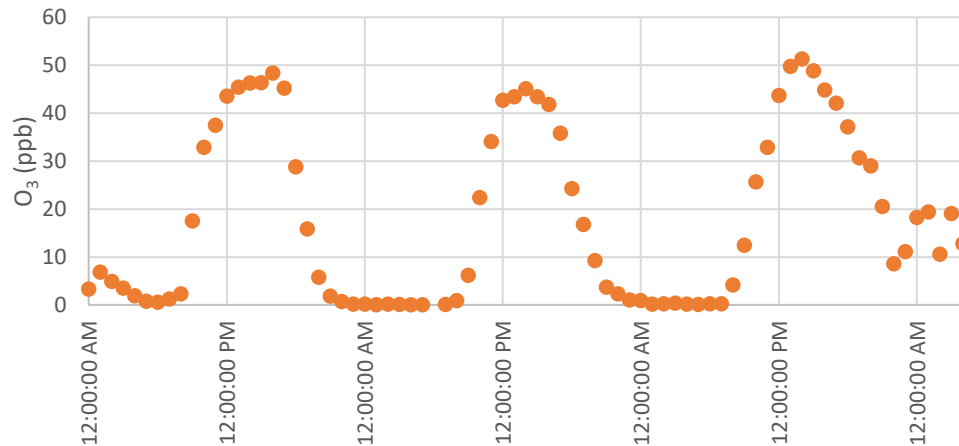
Las notas de campo confirman que yo estaba visitando el sensor y dejé en marcha mi vehículo. Eso explica probablemente estos valores altos.

Este valor es inusual. Me pregunto si este es un problema con el sensor o tal vez de comunicación de los datos. Voy a vigilar los datos para ver si ocurre de nuevo.

Paso 3: Recuperación de datos y evaluaciones

Tendencias previstas – podrían ser de temporada, diurnas/nocturnas, o de días hábiles/fines de semana - la ausencia de tendencias previstas puede indicar un problema con el sensor o con la estrategia de medición

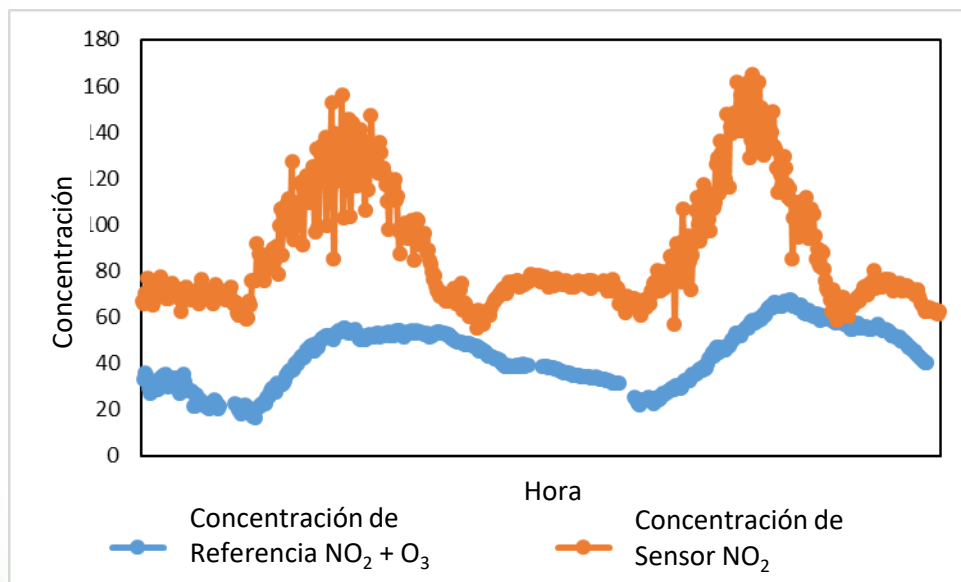
O₃ promediado 1 hora vs Tiempo



Las concentraciones de ozono están al nivel máximo al terminar la tarde, tal como se preveía.

Paso 3: Recuperación de datos y evaluaciones

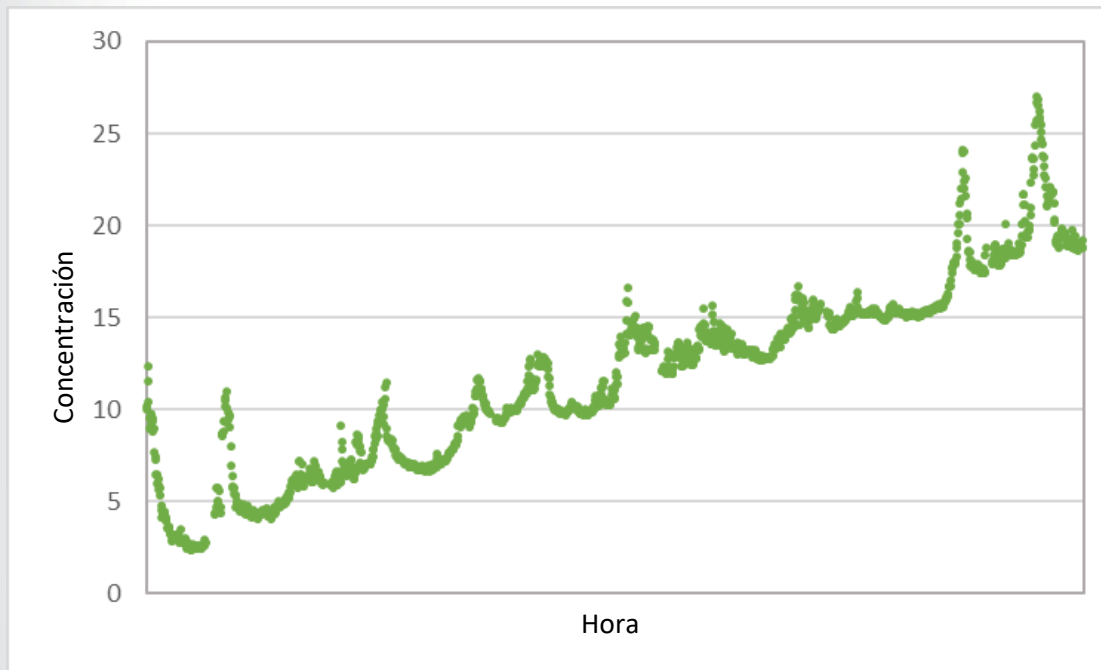
Interferencias - pueden tener un efecto positivo o negativo en la respuesta del sensor - pueden incluir contaminantes u otros compuestos químicos que no son de interés, condiciones meteorológicas, suciedad/polvo/insectos.



Se supone que el sensor mide NO₂, pero reporta concentraciones más alta que las concentraciones combinadas de referencia de NO₂ y O₃. Podría ser una interferencia en las mediciones.

Paso 3: Recuperación de datos y evaluaciones

Desviación o cambio- una modificación gradual (desviación) o repentina (cambio) en las características de respuesta de un sensor con el paso del tiempo – puede ser positiva o negativa - puede llevarlo a concluir equivocadamente que las concentraciones han aumentado o disminuido a medida que pasa el tiempo



Las concentraciones reportadas por el sensor aumentan gradualmente con el paso del tiempo. Parece que la respuesta de los sensores está desviándose.

Haga clic [aquí](#) para regresar a la diapositiva de pasos estratégicos.



¡Socorro! ¿Qué hago con todos estos datos que he recolectado?

- Puede parecer difícil trabajar con conjuntos de datos y hacer comparaciones, pero hay herramientas para facilitarlos.

¿Complicado con los datos? ¡Llévelos a la MAT!

- La herramienta de macroanálisis **MAT (Macro Analysis Tool)** es una macroherramienta basada en Excel que es fácil de usar creada por la EPA específicamente para los fines de comparar datos de sensores con datos de referencia.

- ¿Los conjuntos de datos no tienen timbres de hora-fecha que concuerden? ¿Los datos del sensor fueron recolectados en un intervalo diferente de tiempo que los datos de referenci? ¿Hay periodos de datos faltantes? No hay problema – ¡la **MAT** soluciona eso, y mucho más!

¿Tengo que usar la MAT (herramienta de macroanálisis) para comparar mis datos?

•No, puede usar cualquier software o herramienta de análisis de datos para comparar sus datos, dependiendo de su experiencia y nivel de comodidad. ¡Pero la MAT facilita mucho la comparación de datos!

¡Fantástico! ¿Cómo se usa la MAT?

•El usuario inserta una columna de datos del sensor en la página del sensor de la herramienta, y una columna correspondiente de datos de referencia en la página de referencia de la herramienta.

•Enseguida, el usuario ingresa información en el panel de control en la página de configuración, incluyendo lo siguiente:

- Nombre del contaminante
- Fechas y horas de inicio y fin
- Unidades reportadas e intervalos de muestreo
- Intervalo de tiempo deseado para promediar
- **[Criterios de integridad](#)** de los datos

•Luego pulse RUN [ejecutar] – ¡MAT se encarga del resto!

Hay una lista completa de funciones e instrucciones disponible en la primera página de la MAT. [Haga clic aquí para recibir una copia.](#)

¿Hay valores de datos faltantes o inutilizables?



- ¡No hay recolección de datos que sea perfecta!
- Pueden faltar algunos valores de datos previstos debido a tiempo improductivo del dispositivo de medición (por ej., cortes de energía, mantenimiento).
- Algunos valores de datos adquiridos pueden no ser utilizables (por ej., actividades cercanas que interfieren, condiciones inusuales), o anomalías (valor de dato que es anormalmente diferente de valores de datos cercanos). Puede decidir excluir estos de sus cálculos.
- Documente sus decisiones acerca de los datos – lo que hizo y porqué – en su cuaderno del proyecto.

La MAT le permitirá marcar estos puntos de datos inutilizables para excluirlos de su análisis.



Paso 4: Comparar los datos

¿Qué es la integridad de los datos?

Integridad de los datos se refiere a la cantidad de datos utilizables que se obtuvo, en comparación con la cantidad total prevista. Se expresa como porcentaje.

Ejemplo:

Haga clic [aquí](#) para regresar a la diapositiva de reseña de MAT.

- Supongamos que desea captar datos por hora y promediarlos en 24 horas.
- Ahora digamos que uno de los periodos de 24 horas en sus datos tuvo solo 18 de las 24 horas de datos utilizables.
- Ahora supongamos que usted decide que necesita que cada periodo de 24 horas sea íntegro en un 90%. (La integridad es otra cantidad que puede seleccionarse en la **MAT**.)
- En este ejemplo, no hay suficientes puntos de datos utilizables para cumplir con este requisito, dado que los datos tienen una integridad de solo el 75% ($18/24 \cdot 100 = 75\%$), de modo que no se reportaría un promedio en ese periodo de 24 horas.
- Mientras más puntos de datos haya disponibles para promediar (porcentaje más alto de integridad de los datos), mejor representa ese promedio el periodo de medición entero. El hecho de reportar el porcentaje de integridad de los datos aplicado a los datos le ayuda a usted y a los demás a entender mejor los datos.***

¿Qué información produce la MAT?

• Página de salida: Muestra los dos conjuntos de datos comparados según las selecciones efectuadas en el panel de control. Este es un ejemplo:

Fecha Hora promediado	Referencia O ₃	Puntos de datos no válidos	Sensor O ₃	Puntos de datos no válidos
10/13/2016 12:00	47.53	0		18
10/13/2016 13:00	51.58	0	57.42	0
10/13/2016 14:00	54.93	0	57.77	0
10/13/2016 15:00	58.65	0	62.83	0
10/13/2016 16:00	54.33	0	58.65	0
10/13/2016 17:00	53.69	0	58.66	5
10/13/2016 18:00	43.13	0	46.88	0
10/13/2016 19:00	29.21	0	31.67	0
10/13/2016 20:00	11.68	0	12.27	0

Han concordado los timbres de fecha/hora para el monitor de referencia y el sensor.

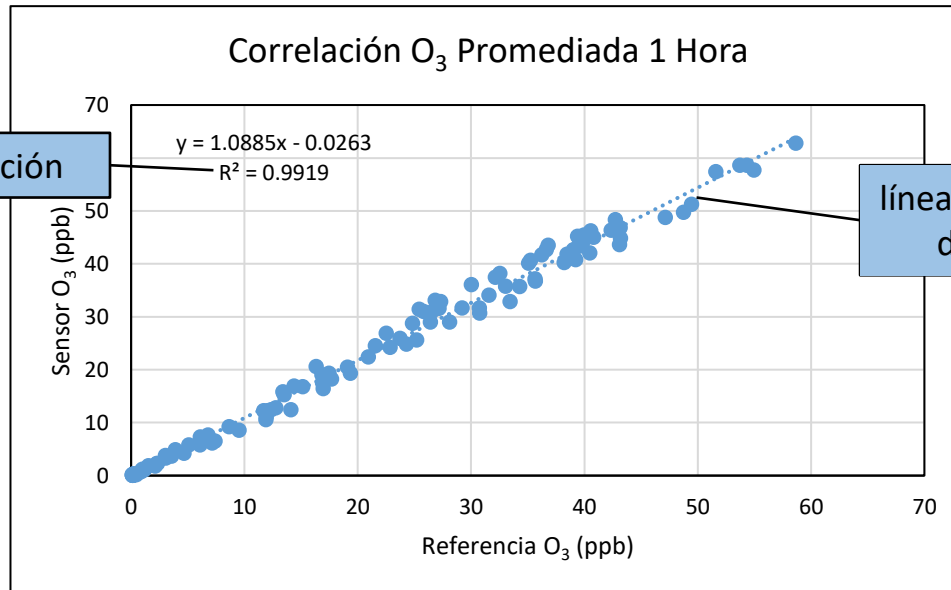
Aquí están los puntos de datos marcados o faltantes.

• Página de la gráfica: Muestra una comparación de serie temporal de los dos conjuntos de datos, una comparación de correlación de los dos conjuntos de datos, además de algunas estadísticas.

Esta es información que usted necesita comúnmente para su comparación independientemente de cuál herramienta de software elija para analizar los datos. Las siguientes diapositivas muestran ejemplos y explican cómo interpretar gráficas y estadísticas.

Paso 4: Comparar los datos

Una manera de comparar los datos del sensor con los datos de referencia es trazar los datos en una gráfica de correlación, como se muestra aquí:



coeficiente de determinación

línea de interceptación de pendiente

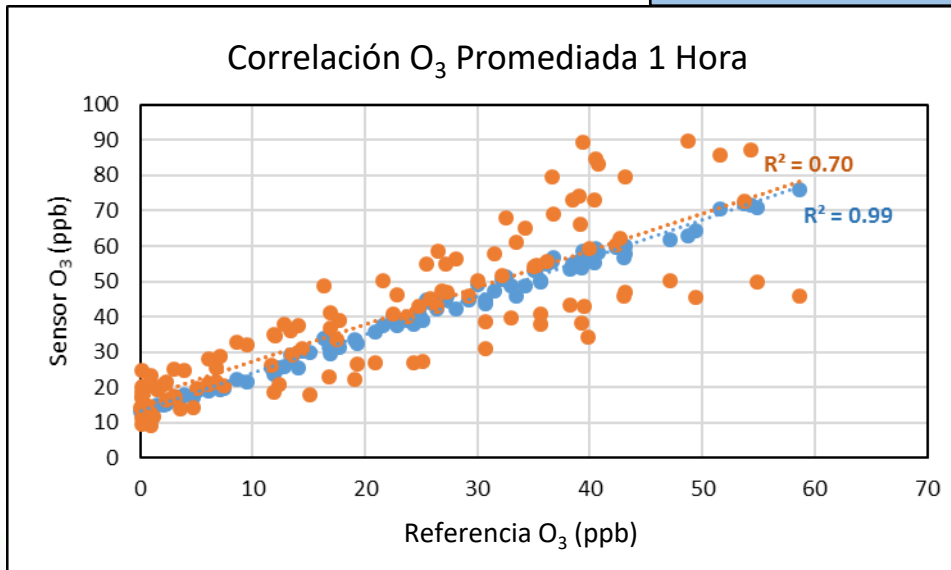
La línea que pasa por los datos se llama línea de “interceptación de pendiente” y está representada por la ecuación $y = mx + b$. Esta ecuación es un medio estadístico para comparar los datos del sensor con los datos de referencia. El **coeficiente de determinación**, representado por R^2 , es una medida de cuán cerca están los datos de la línea de interceptación de pendiente.

Encontrará más información disponible en las siguientes diapositivas. Aquí hay un video instructivo excelente sobre el tema: [video \$y=mx+b\$](#)

Más información acerca del coeficiente de determinación, R al cuadrado

R al cuadrado (R^2) es una medida estadística de cuán cerca están los datos de la línea de interceptación de pendiente; en otras palabras, cuánta dispersión hay en los datos. Sus valores fluctúan de 0 a 1. ***Mientras más cerca esté R^2 de 1, más sólida es la concordancia entre los datos del sensor y los de referencia.***

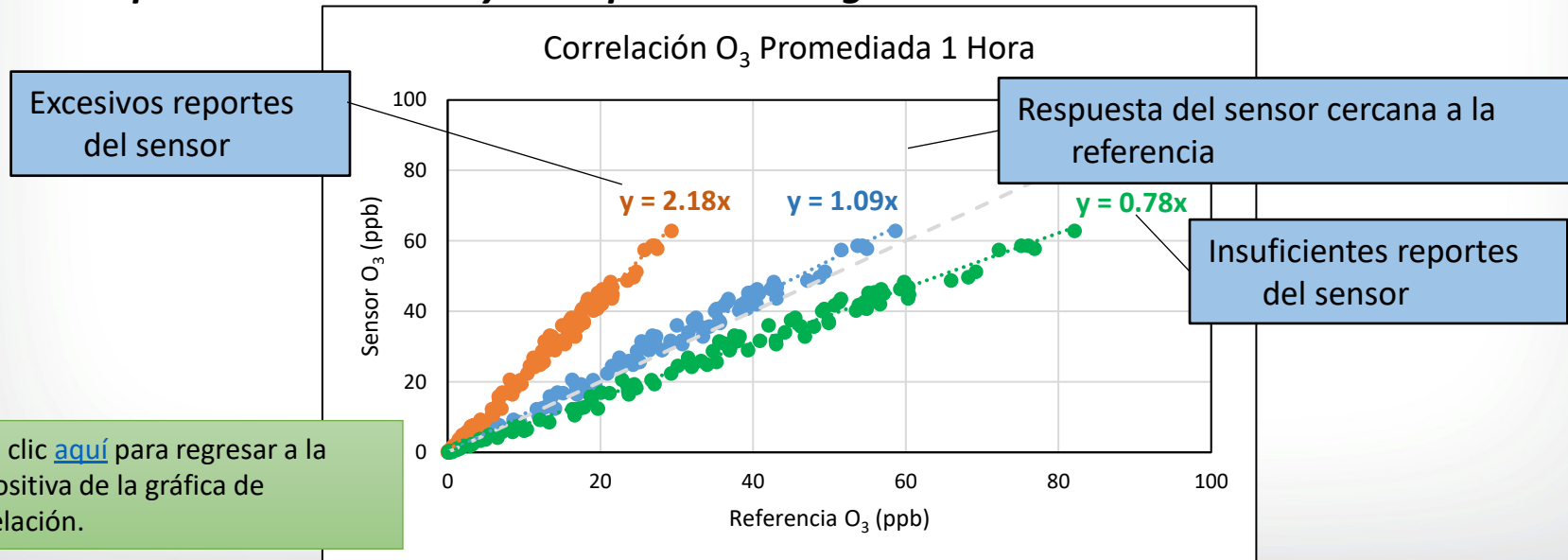
$R^2 = 0.99$ muestra concordancia más uniforme (menos dispersión) entre sensor y referencia que $R^2 = 0.70$



Haga clic [aquí](#) para regresar a la diapositiva de la gráfica de correlación.

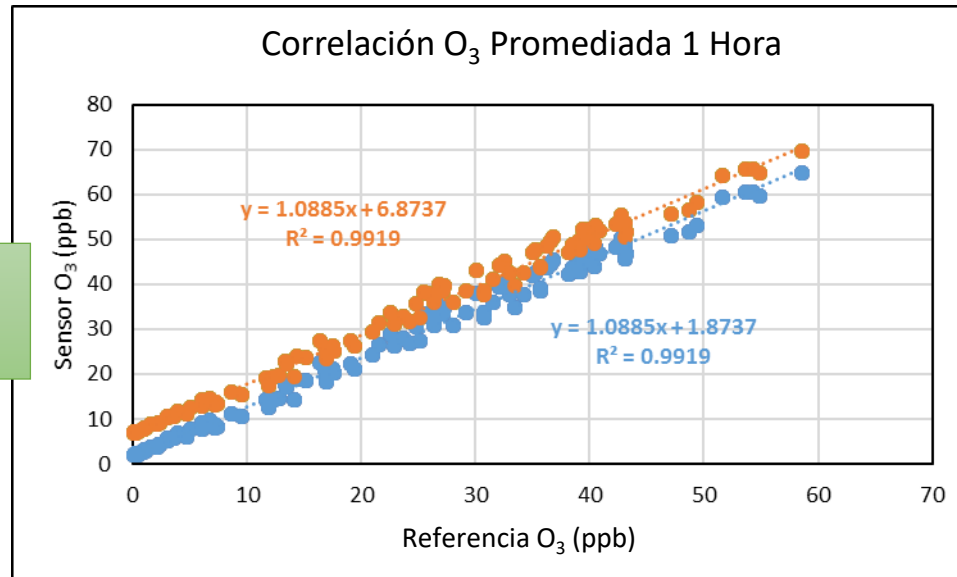
Más detalles sobre la ecuación de "interceptación de pendiente" $y = mx + b$

- Esta ecuación representa el comportamiento del promedio de los datos del sensor (eje vertical, representado por y) en comparación con los datos de referencia (eje horizontal, representado por x).
- La **pendiente (m)** muestra cuán similares, o diferentes, son las mediciones del sensor en comparación con las mediciones de referencia, en promedio. **Mientras más lejos esté " m " de 1, más reporta el sensor por encima o por debajo de la concentración. Mientras más cerca esté " m " de 1, más responde el sensor como (en proporción a) el monitor de referencia. La pendiente puede ser un valor ya sea positivo o negativo.**



Más detalles sobre la ecuación de “interceptación de pendiente” $y = mx + b$

La **interceptación (b)** muestra cuál será la medición del sensor, en promedio, cuando el monitor de referencia mide concentración cero. **Mientras más lejos esté “b” de cero, más reporta el sensor por encima o por debajo de la concentración. Mientras más cerca esté “b” de cero en el eje y (eje vertical), menos será la cantidad de “sesgo” en la respuesta del sensor.**



Haga clic [aquí](#) para regresar a la diapositiva de la gráfica de correlación.

Haga clic [aquí](#) para regresar a la diapositiva de pasos estratégicos.

Supongamos que desea llevar sus sensores a tomar mediciones lejos de un monitor de referencia. ¿Cómo puede asegurar de todos modos que los datos del sensor representen concentraciones cerca del valor verdadero (referencia)?

•Recuerde que la ecuación de interceptación de pendiente $y = mx + b$ relaciona las mediciones del sensor con las mediciones de referencia

$$\text{sensor} = m \cdot \text{reference} + b$$

•Use los valores de **m (pendiente)** y **b (interceptación)** que calculó a partir de los datos de colocación y aplíquelos a los nuevos datos del sensor para que concuerden mejor con los datos de referencia.

$$\text{adjusted sensor concentration} = \frac{\text{measured sensor concentration} - b}{m}$$

•Haga esto para **cada** sensor que evalúe.

•Tenga presente el valor **R²**. Mientras más dispersión haya en los datos (más lejos esté R² de 1), menos útil será este ajuste.

Aquí tiene algunos ejemplos de cómo ajustar los datos del sensor para acercarlos a los datos de referencia

•**Ejemplo #1:** Tome un ejemplo simple donde **b** es cero, y **m** es 1.1.

- La ecuación pasa a ser **SENSOR = 1.1*REFERENCIA**.
- Para acercar los nuevos valores del sensor a los que serían los valores de referencia, debe dividir el valor medido del sensor por la **pendiente 1.1**.

•**Ejemplo #2:** Ahora hagámoslo más interesante. Supongamos que **b** es igual a 1. Eso significa que el sensor mide 1 unidad más alto que la referencia.

- La ecuación pasa a ser entonces **SENSOR = 1.1*REFERENCIA + 1**.
- Para hacer el ajuste correcto, primero reste **b** (=1 en este ejemplo), luego divida por **m** (=1.1 en este ejemplo).

In summary, the equation becomes

$$\text{Adjusted SENSOR concentration} = \frac{\text{Measured sensor concentration} - b}{m}$$



Paso 5: Uso de los sensores

Ahora que he terminado mis comparaciones de datos de colocación, ¿cómo decido si mis sensores producen datos que son suficientemente buenos para mis propósitos?

- ¡Depende del propósito!
- Los resultados de colocación aportan un entendimiento acerca de las características clave de rendimiento del sensor
- Consulte la [Guía de sensores de aire](#) para conocer más detalles. En el Capítulo 4, se incluye información sobre cómo recolectar datos útiles. En el Capítulo 5 se describen diferentes tipos de aplicaciones de sensores y metas de rendimiento para cada uno.

Haga clic [aquí](#) para regresar a la diapositiva de pasos estratégicos.

Exactitud, sesgo y precisión – Parámetros importantes de calidad de datos

- La exactitud es cuán cerca se encuentra un valor medido del valor real (verdadero).
- El sesgo es un error sistemático (incorporado) que hace todas las medidas erradas en cierta cantidad.
- La precisión es cuán cerca se encuentran los valores medidos entre sí.
- Estos se ilustran en el diagrama siguiente:

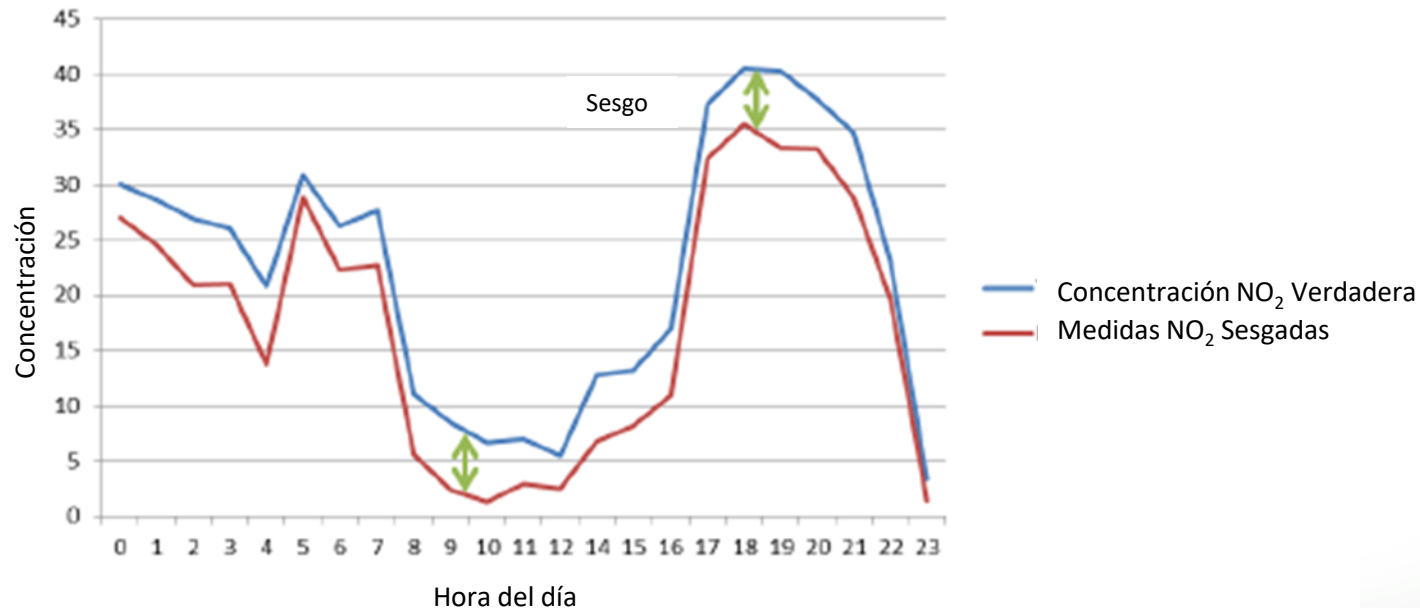


Encontrará más información disponible en las siguientes diapositivas.

Aquí hay un enlace a algunos videos instructivos excelentes: [Videos sobre sesgo y precisión](#)

Más sobre el sesgo

Sesgo es un error persistente en un proceso de medición que causa que todos los valores medidos sean excesivamente altos o excesivamente bajos en cierta cantidad, en comparación con el valor verdadero (de referencia). Este es el valor de *interceptación* en la ecuación pendiente-interceptación $y = mx + b$.

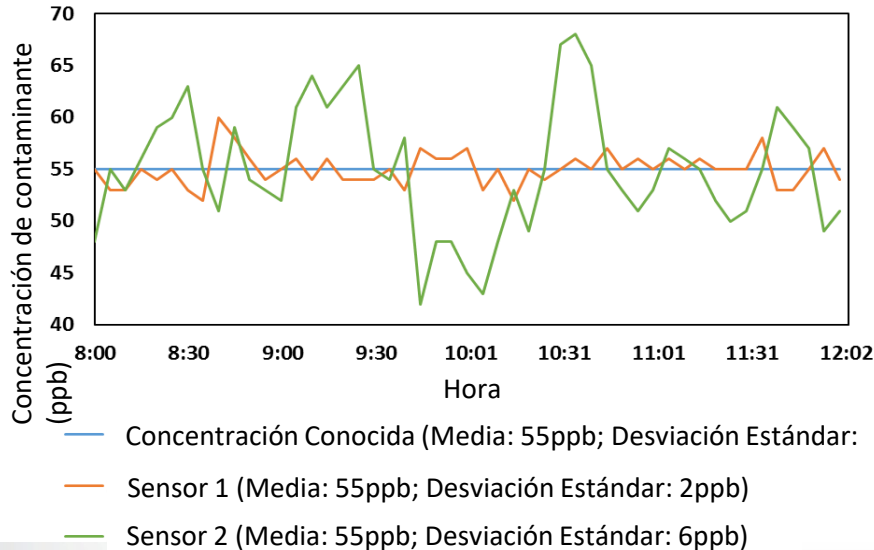




Información adicional sobre calidad de datos

Más sobre la precisión

La precisión es una medida de cuán cerca se encuentran las mediciones repetidas entre sí. Podría ser el mismo dispositivo ha efectúa mediciones repetidas bajo las mismas condiciones, o varios del mismo tipo de dispositivo que hacen mediciones en el mismo lugar a la misma hora.



¿Qué es la desviación estándar?

Desviación estándar es una medida estadística de precisión para describir cuán separados están los números. Se calcula tomando la raíz cuadrada de la varianza.

¿Y qué es la varianza?

Varianza es el promedio de las diferencias al cuadrado de la media. Media es simplemente otro término para referirse a promedio.



Información adicional sobre calidad de datos

¿Cómo calculo la varianza y la desviación estándar?

Hay muchos recursos en línea que explican cómo calcular la varianza y la desviación estándar. Este es un ejemplo: [Varianza y desviación estándar](#)

Aquí tiene un resumen:

1. Calcule el promedio de las mediciones. Esta es la media.
2. Calcule la diferencia entre la media del paso 1 y cada medición individual.
3. Calcule el cuadrado de cada uno de esos números del paso 2. Es decir simplemente hay que multiplicar cada número por sí mismo.
4. Sume todos esos valores al cuadrado del paso 3 y divida por *uno menos* que el número de valores. Es decir que si hay “N” mediciones, se divide por “N-1”. Así se obtiene la *varianza de la muestra*. (Su conjunto de datos es solo una *muestra* de lo que podría medirse.)
5. Calcule la raíz cuadrada de la *varianza de la muestra* del paso 1. Así se obtiene la *desviación estándar de la muestra*.

Los programas de software como Excel pueden hacer estos cálculos, ¡no tiene que hacer todos estos pasos manualmente!

Esperamos que haya sido útil esta presentación para planificar su evaluación de sensores de bajo costo al colocarlos con monitores de referencia. Puede hallar más información sobre la evaluación de los sensores y aplicaciones en la [página web de Caja de herramientas de sensores de aire](#). ¡Buena suerte!

