

DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE SENSORES DE BAJO COSTO EN AMBIENTE CONTROLADO

Fecha: 22 de marzo del 2023

Resumen: 012_1

Jorge Eduardo Pachón, Universidad de La Salle.,
Boris Galvis, Universidad de La Salle .,
Sandro González, Ecopetrol.,
Oscar Casas, Ecopetrol.,
José Tumialan, Universidad de La Salle .,



Efraín Bernal, Universidad de La Salle.,
Duvan Betancourt, Universidad de La Salle.,
David Arias, Universidad de La Salle.,
Karen Pinzón Acosta , Universidad de La Salle.

Introducción

En el marco del convenio No. 3041059 con la Universidad de La Salle y Ecopetrol se desarrollaron actividades conjuntas para el estudio de tecnologías de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire, con el fin de identificar tecnologías costo-eficientes para el estudio del medioambiente, el fortalecimiento de capacidades locales y la apropiación social del conocimiento.

Sensores de Bajo Costo - SBC



VISUALIZACIÓN DE DATOS

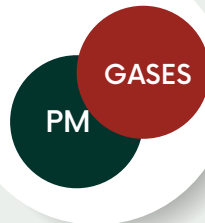
Permiten obtener datos en tiempo real.

TAMAÑO

Se pueden ubicar en diversos espacios por su tamaño.



MEDICIÓN DE CONTAMINANTES



Pueden medir más de un contaminante criterio (PM y Gases).

Los SBC son una tecnología en constante innovación que presenta ventajas en:

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Generan menos costos .



CONDICIONES METEOROLÓGICAS



Pueden medir: T, HR e Irradiancia.

ALIMENTACIÓN

Pueden tener panel solar y otros requieren conexión a la corriente.



Contenido

Tecnologías de Bajo Costo

- Marcas
- Características

Instrumentos profesionales de referencia

- PALAS Fidas 200
- DustTrak

Metodología de evaluación de tecnologías

- Diseño de cámara aislada
- Métricas de evaluación

Resultados finales y conclusiones



Tecnologías de Bajo Costo



Clarity

Tecnología:
OPC y electroquímico

PM NO₂



Modulair

Tecnología:
Nefelómetro

PM



NuboAir

Tecnología:
OPC

PM % °C



**CalidAirPM+
GASES**

Tecnología:
OPC y electroquímico

PM NO₂ O₃ % °C



EVA

Tecnología:
OPC

PM % °C



PurpleAir

Tecnología:
OPC

PM



DAVIS - AirLink

Tecnología:
OPC

PM



CalidAirPM

Tecnología:
OPC

PM % °C



Canair.io

Tecnología:
OPC

PM % °C

Gama Alta
≥2000 USD

Gama Media
1999USD - 250 USD

Gama Baja
≤249 USD



Instrumentos profesionales de referencia

PALAS Fidas - 200



Fuente: Palas, 2023

Palas Fidas 200

Dispersión de luz óptica en partículas individuales.

20 sep al 29 de oct del 2021

Rango de medición: 0,18 a 18 μm

DustTrak

Dispersión de luz y muestreo gravimétrico.

01 al 23 de dic del 2021

Rango de medición: 0,1 a 15 μm

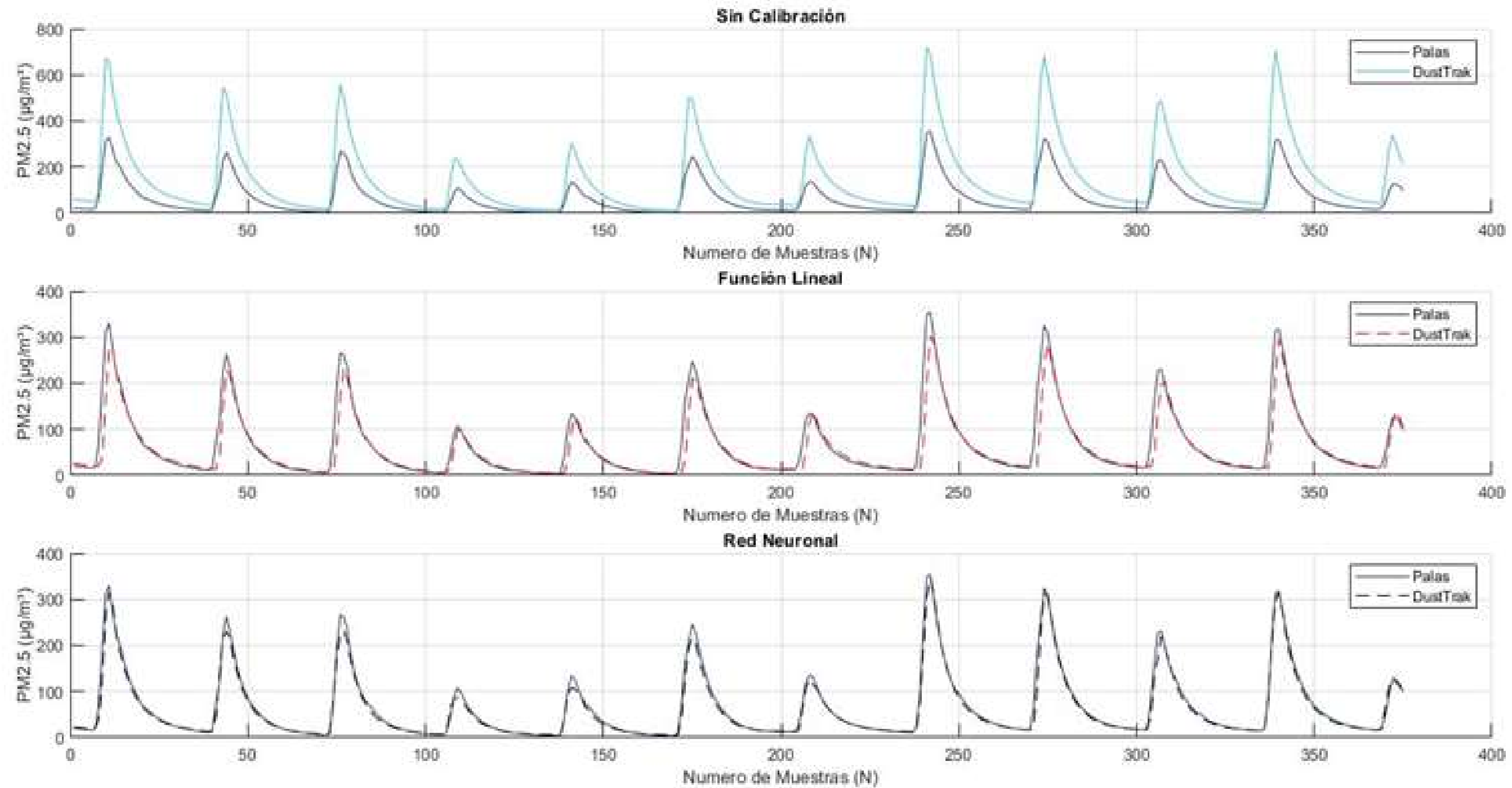
DustTrak



Fuente: TSI, 2023

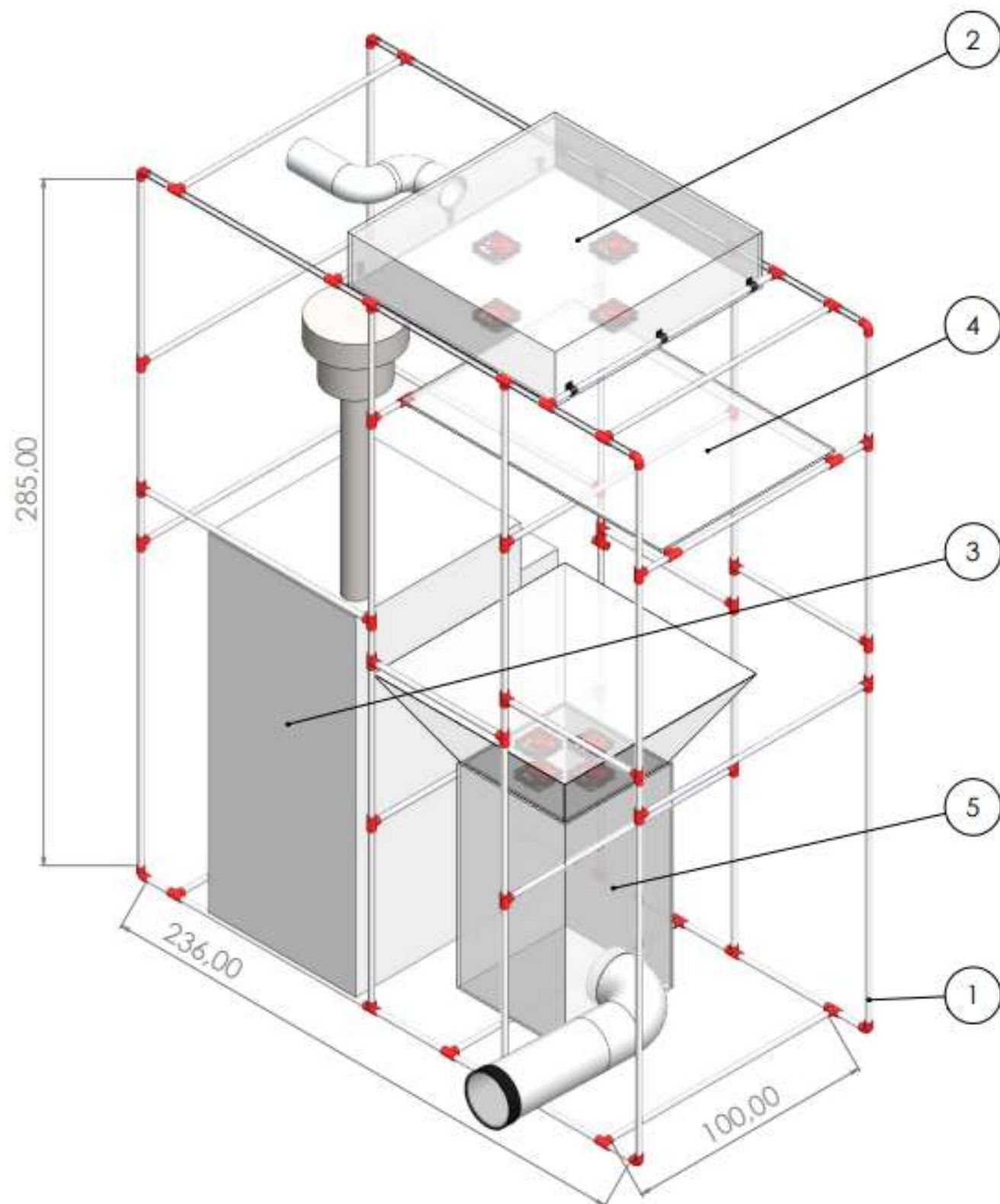


Instrumentos profesionales de referencia

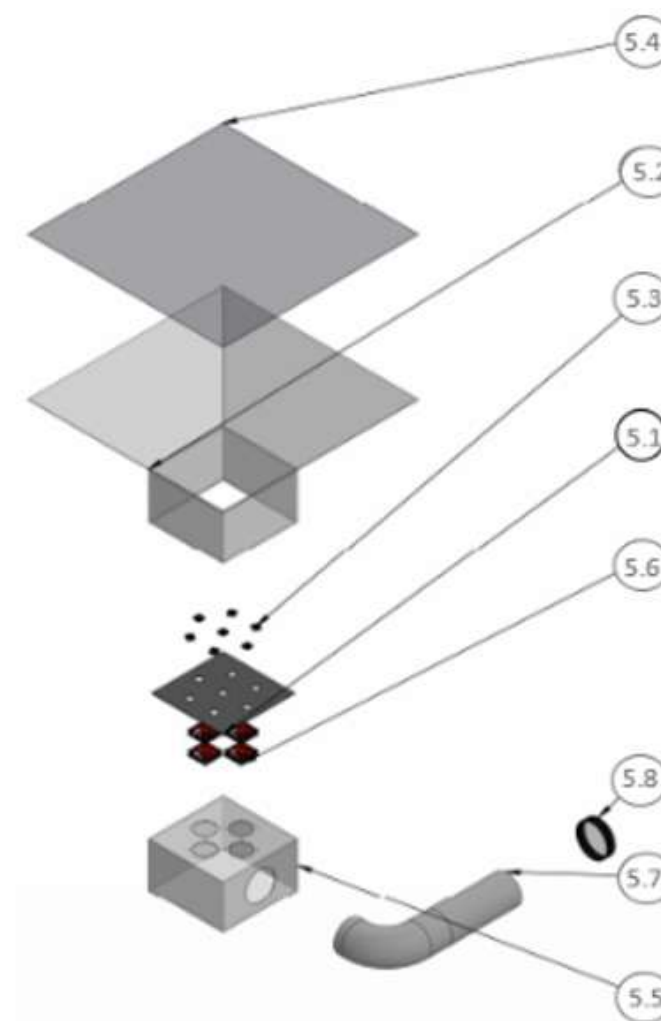


1. Diseño y construcción de cámara aislada

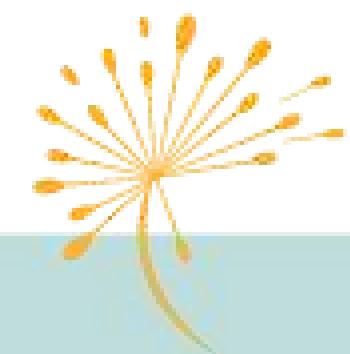
Cámara aislada



Cámara generadora de PM



No	Pieza
1	Estructura de PVC
2	Extractor de PM
3	Equipo Fidas 200
4	Soporte de SBC
5	Generador de PM
5.1	Base de ventiladores
5.2	Salida de aerosoles
5.3, 5.6	Ventiladores
5.4	Malla
5.5	Cabina de combustión
5.7	Absorción de aire
5.8	Filtro de entrada



1. Cámara aislada

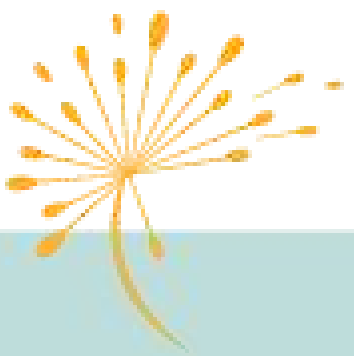
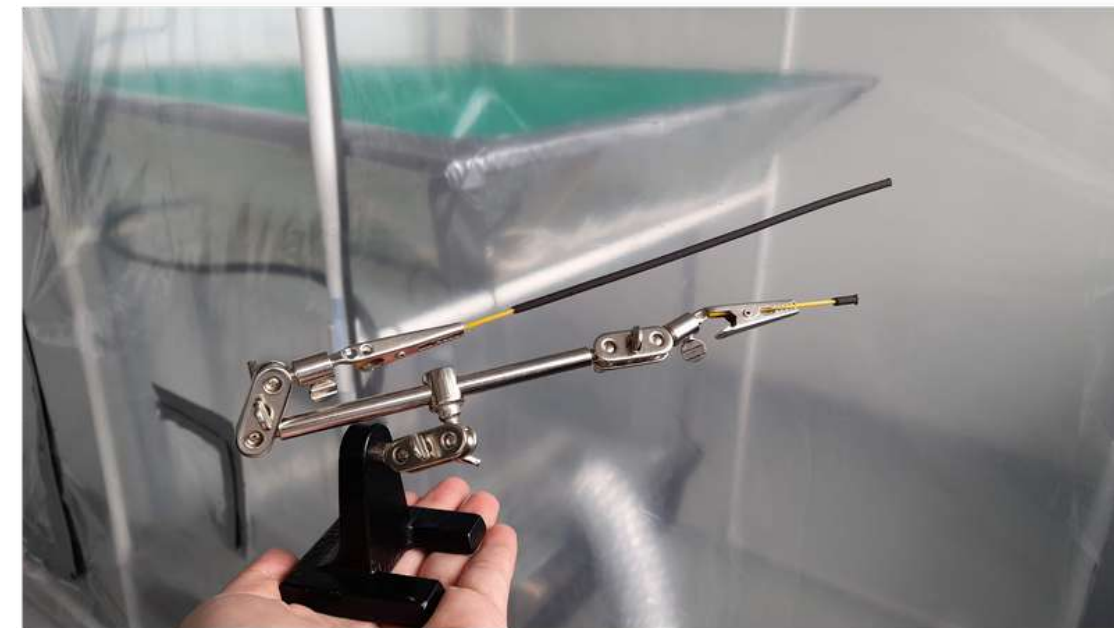
Cámara aislada



Cámara generadora de PM

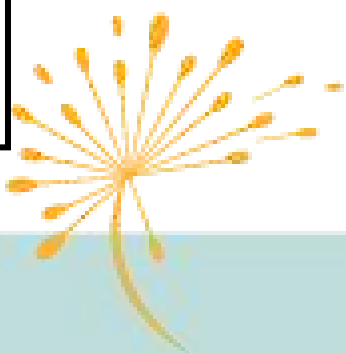


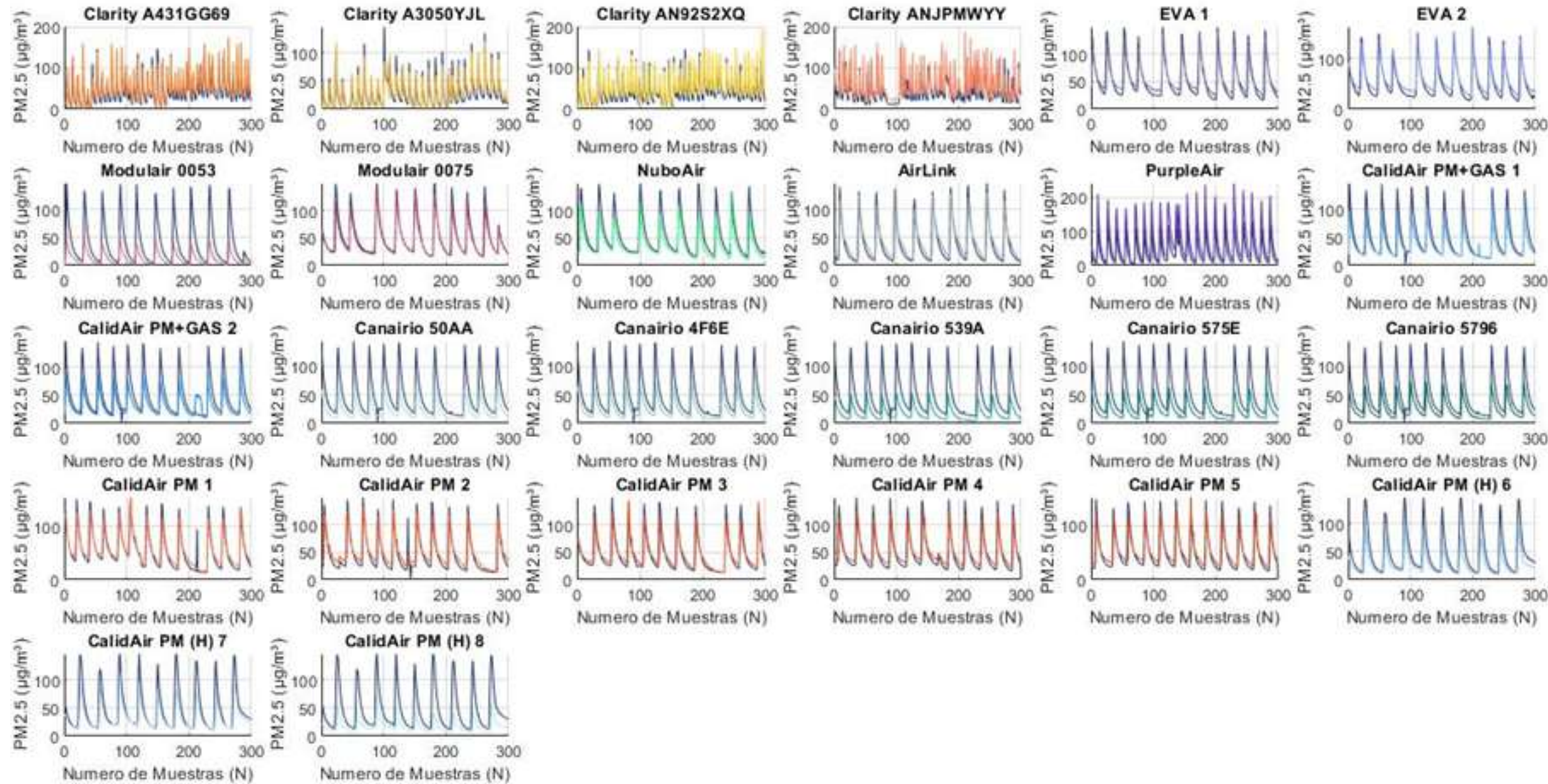
Generador de PM



2.Metricas de evaluación

D e s e m p e ñ o	Exactitud	Error cuadrático medio (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_{i_{ref}} - V_i)^2}$
		Sesgo (BIAS)	$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_{i_{ref}} - V_i)$
	Presición	Error relativo (E_{R_i})	$E_{R_i} = \frac{V_{i_{ref}} - V_i}{V_{i_{ref}}} \times 100 \%$
		Desviación estándar del error relativo (E_{R_σ})	$E_{R_\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(E_{R_i} - \bar{E}_R \right)^2}$
	Linealidad	Coeficiente de determinación (R^2)	$R^2 = \frac{\left(\frac{\sum V_i V_{i_{ref}}}{N} - \bar{V} \bar{V}_{ref} \right)^2}{\left(\frac{\sum V_i^2}{N} - \bar{V}^2 \right) \left(\frac{\sum V_{i_{ref}}^2}{n} - \bar{V}_{ref}^2 \right)}$
	Interacción con el Usuario	Ponderación de las opiniones de usuarios (P)	$P = BG + DP + 2VI + MM + 2DI + CP$





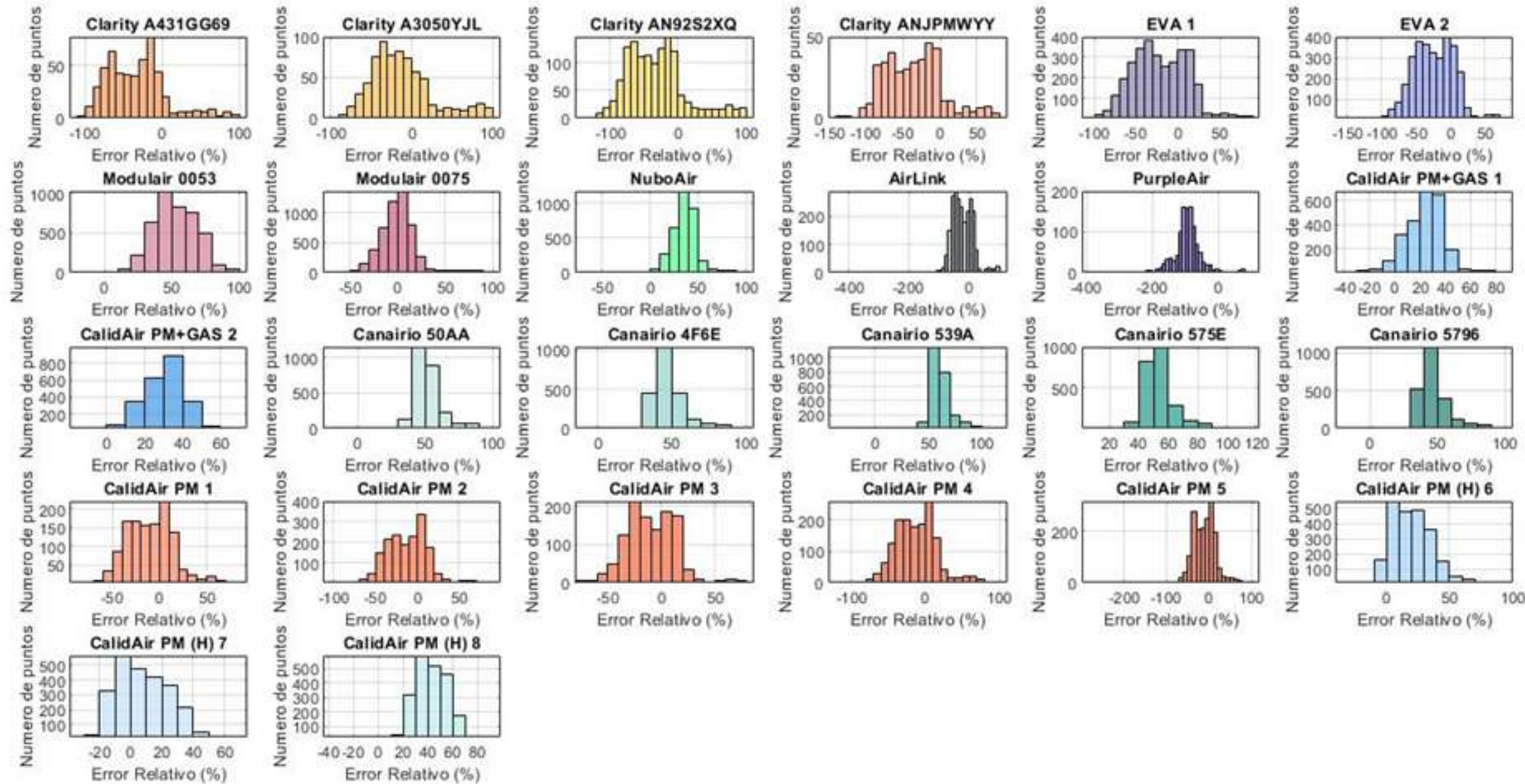
Clasificación por RMSE	
Condición	Descripción
$RMSE < 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Exactitud Alta.
$20 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq RMSE < 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Exactitud Media.
$RMSE \geq 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Exactitud Baja.

Clasificación por BIAS	
Condición	Descripción
$BIAS < -30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Subestimación Alta
$-30 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq BIAS < -15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Subestimación Media
$-15 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq BIAS < 0 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Subestimación Baja
$0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq BIAS < 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Sobrestimación Baja
$15 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq BIAS < 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Sobrestimación Media
$BIAS > 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Sobrestimación Alta

Series de tiempo entre SBC y equipo profesional



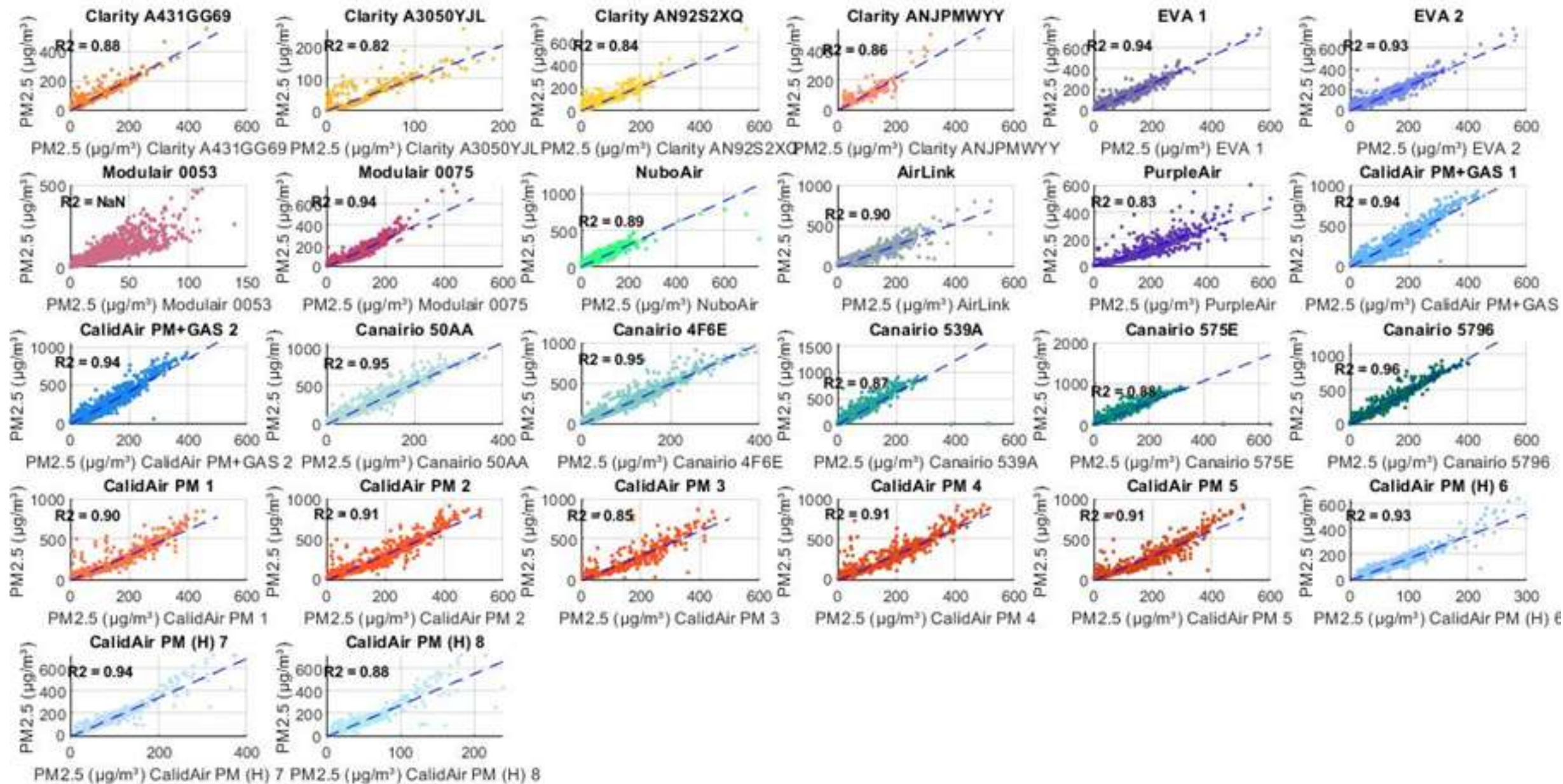
Precisión



Clasificación por Desviación Estándar	
Condición	Descripción
$E_{R\sigma} < 25 \%$	Precisión Alta
$25 \% \leq E_{R\sigma} < 50 \%$	Precisión Media
$E_{R\sigma} \leq 50 \%$	Precisión Baja

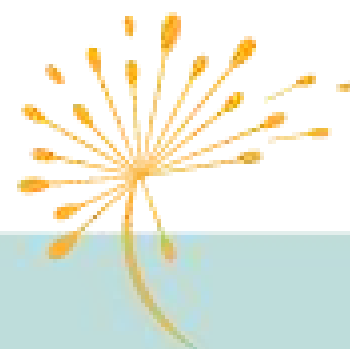
Distribución del error relativo





Clasificación por Coeficiente de determinación	
Condición	Descripción
$0.9 \leq R^2 < 1$	Linealidad Alta
$0.7 \leq R^2 < 0.9$	Linealidad Media
$R^2 < 0.7$	Linealidad Baja

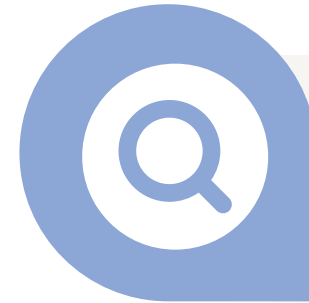
Linealidad de los SBC contra los instrumentos de grado profesional



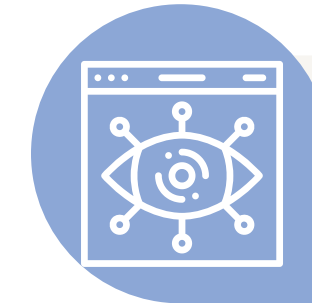
2. Métricas de evaluación Interacción con el Usuario



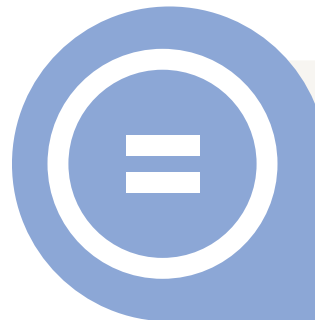
Diseño de la página (BG)



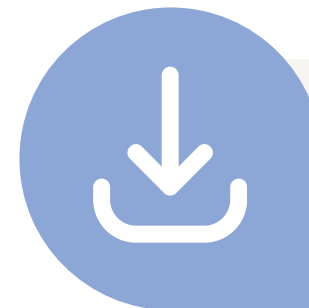
Búsqueda plataforma en Google (DP)



Visualización de las concentraciones - PM_{2.5} (VI)



SBC de la misma marca (MM)

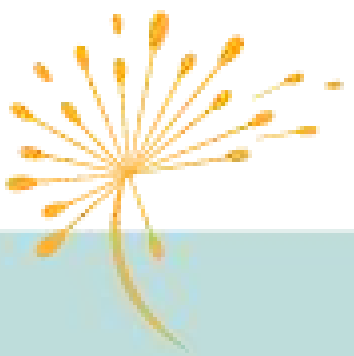


Descarga de información (DI)



Control de la plataforma (CP)

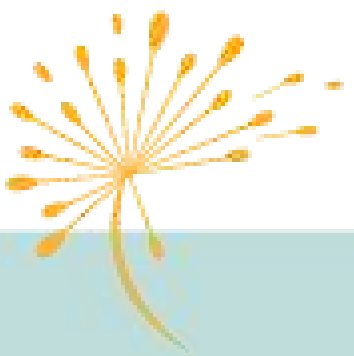
$$PF = BG + DP + 2 VI + MM + 2 DI + CP$$



Resultados finales

Resultados Finales SBC de Gamma Alta y Media						
SBC	Exactitud (E)	Precisión (P)	Linealidad (L)	Desempeño (E+P+L)	Interacción	Total
Modulair 0075	1,00	1,94	3,41	6,38	7	13,3
Clarity A431GG69	0,80	1,76	2,14	4,71	6,3	11,01
NuboAir	0,69	2,00	2,42	5,11	5,8	10,91
Clarity ANJPMWYY	0,75	1,76	1,75	4,27	6,3	10,57
Clarity AN92S2XQ	0,79	1,71	1,29	3,80	6,3	10,1
Clarity A3050YJL	0,90	1,76	0,83	3,49	6,3	9,79
CalidAir PM+GAS 1	0,69	1,82	3,42	5,93	3,8	9,73
CalidAir PM+GAS 2	0,63	1,79	3,50	5,92	3,8	9,72
EVA 1	0,93	1,75	3,60	6,28	2,9	9,18
EVA 2	0,94	1,77	3,21	5,92	2,9	8,82
PurpleAir	0,01	1,47	1,06	2,54	3,7	6,24

El mejor SBC para gamma alta y media es Modulair, seguido por un Clarity y NuboAir.

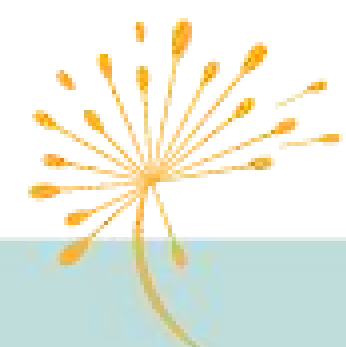


Resultados finales

Resultados Finales Gamma Baja						
SBC	Exactitud (E)	Precisión (P)	Linealidad (L)	Desempeño (E+P+L)	Interacción	Total
AirLink	0,84	1,72	2,55	5,11	7	12,11
CalidAir PM 7	0,80	1,96	3,44	6,21	3,8	10,01
CalidAir PM 6	0,72	1,96	3,23	5,91	3,8	9,71
* Canair.io5796	0,31	0,01	2,12	6,46	3	9,46
CalidAir PM 5	0,87	1,70	2,94	5,50	3,8	9,3
CalidAir PM 2	0,89	1,68	2,93	5,49	3,8	9,29
* Canair.io50AA	0,42	1,99	3,80	6,20	3	9,2
CalidAir PM 1	0,91	1,88	2,58	5,38	3,8	9,18
CalidAir PM 4	0,88	1,65	2,80	5,33	3,8	9,13
* Canair.io4F6E	0,49	1,96	3,67	6,12	3	9,12
CalidAir PM 8	0,43	1,98	2,29	4,71	3,8	8,51
CalidAir PM 3	0,82	1,63	1,53	3,98	3,8	7,78
* Canair.io539A	0,25	0,73	2,06	2,42	3	5,42

El mejor SBC para gamma baja es el AirLink seguido por uno de los CalidAirPM.

* Los SBC no se comparten de manera homogénea aunque sean de la misma marca y modelo.



EVALUACIÓN DE SBC

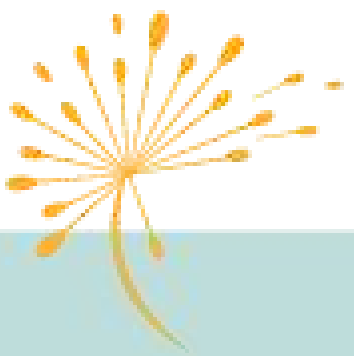
- Los SBC logran un desempeño aceptable en precisión y linealidad.
- El uso de ecuaciones de calibración puede mejorar los resultados.

- El desempeño de los SBC es igual de importante que evaluar la interacción con los usuarios.

RESULTADOS DEL PROYECTO

IMPLICACIONES EN POLITICA PUBLICA

- Incentiva la medición de calidad de aire.
- Fortalecer las capacidades locales (complemento para las redes de vigilancia y monitoreo).
- Generar apropiación social del conocimiento.



Agradecimientos

 Por la financiación del convenio N° 3041059:



 Por la participación y colaboración en pruebas de campo:



U.A.E. CUERPO OFICIAL
BOMBEROS
BOGOTÁ D.C.



Puente Aranda
Renace





GRACIAS

Más información



@ClimaSBC



@clima_uls



@SBC_uls