



Calidad de aire en Uruguay y técnicas de monitoreo

11 de Agosto de 2023

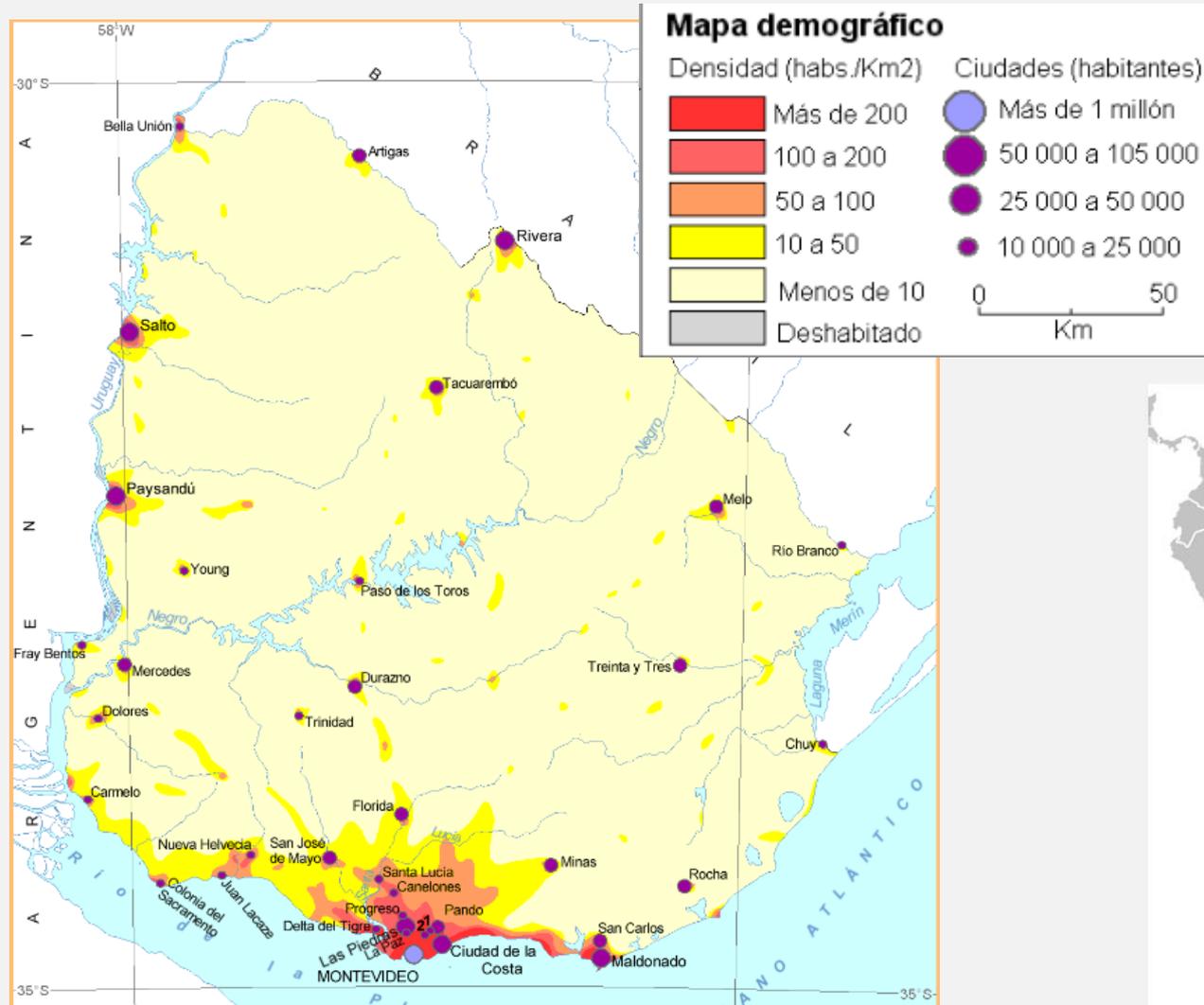
Ing. Civil H/A Carlos De María
Mg. Javiera Salas

DIAIRE 2023

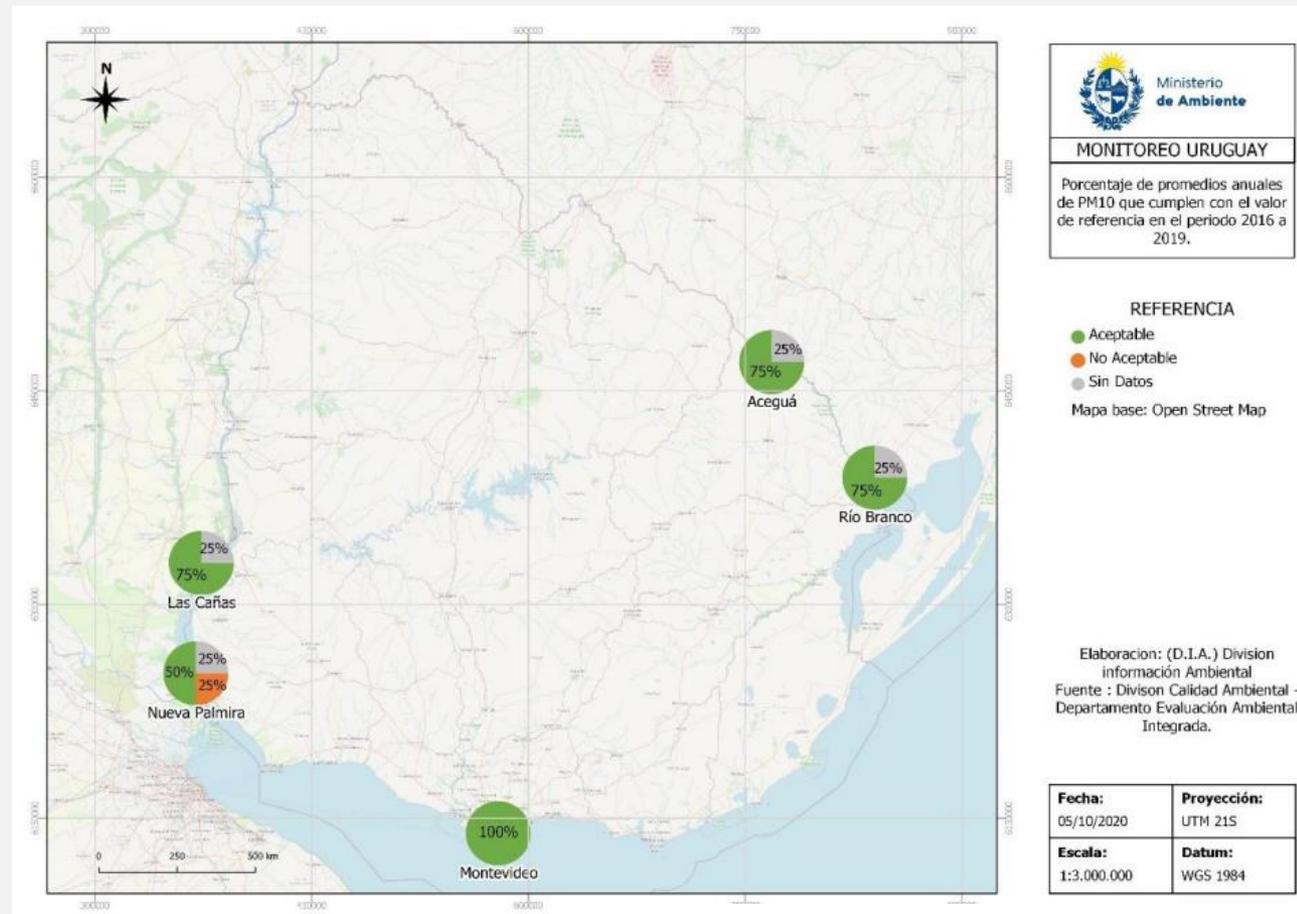
Monitoreo y vigilancia de la contaminación atmosférica con tecnologías alternativas



Uruguay



Calidad del aire – Ministerio de Ambiente



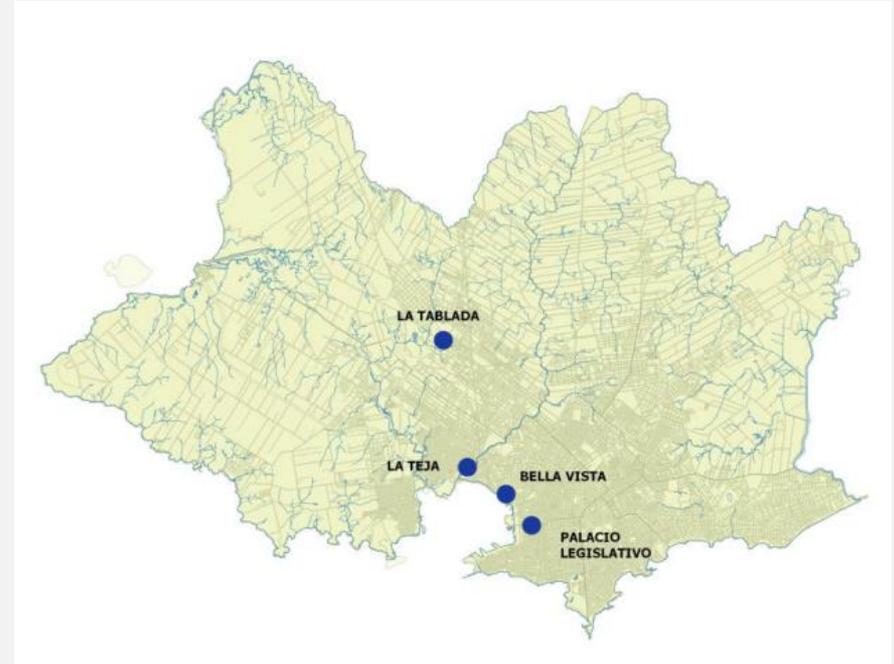
OAN Observatorio Ambiental Nacional



Fuente: Informe del Estado del Ambiente 2020, MA.

Ciudad/parámetro	PM10	PM2.5	NOx	SO ₂	CO	O3
Montevideo	X	X	X	X	X	
Río Branco	X					
Aceguá	X		X	X		
Nueva Palmira	X					
Las Cañas	X			X		X

Calidad de aire – Intendencia de Montevideo



Fuente: Informe de calidad de aire, Año 2018; IdM.

Equipos de monitoreo



Estación	Ubicación	Red	Tipo de monitores
Ciudad Vieja	Camacué y Reconquista	Base	Manual
	Rincón y Juan C. Gómez	Base	Automático
Tres Cruces	8 de octubre y Bvar. Artigas	Base	Automático
Curva de Maroñas	8 de octubre y Marcos Sastre	Base	Automático
Portones de Carrasco	Av. Italia y Bolivia	Base	Manual
Colón	Av. E. Garzón y Cno. C. Colman	Base	Automático y manual

Fuente:

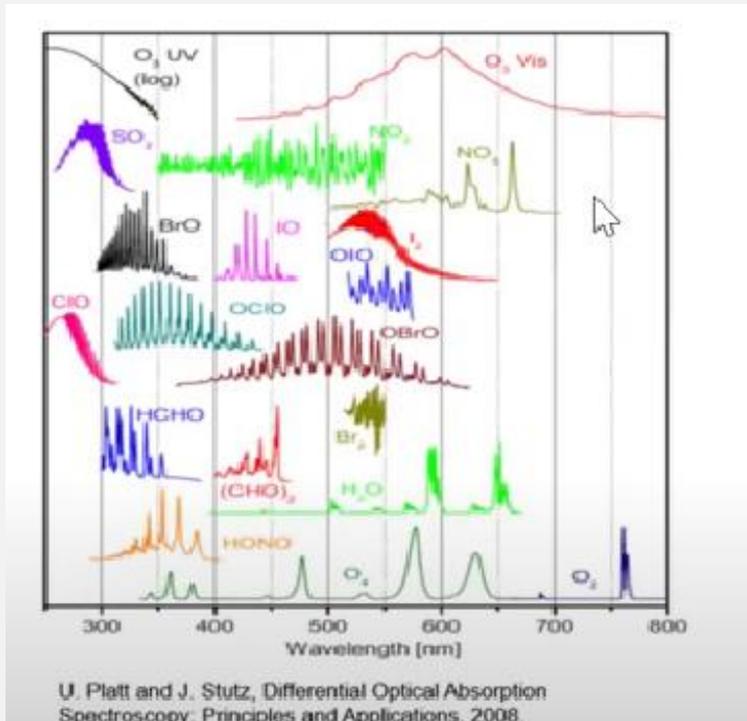


<https://ambiental.montevideo.gub.uy/calidad-del-aire-0>



Facultad de Ingeniería (UDELAR)

Instituto de Física: Desarrollo de métodos ópticos para el monitoreo remoto de la atmósfera



Instrumentos de medición remota



Multi AXis-DOAS

Detecta y cuantifica gases traza presentes en la atmósfera



Cámaras UV

Visualización de emisiones de SO₂



Cimel AERONET-NASA

Determinación de la columna de aerosoles y sus características

Fuente: Dra. Erna Frins, webinario DICAIRE Uruguay 2022

Instituto de Física - Monitoreo remoto por métodos ópticos

Atmospheric Environment 98 (2014) 347–356

Contents lists available at ScienceDirect

Atmospheric Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv



Scanning and mobile multi-axis DOAS measurements of SO₂ and NO₂ emissions from an electric power plant in Montevideo, Uruguay

E. Frins ^{a,*}, N. Bobrowski ^b, M. Osorio ^a, N. Casaballe ^a, G. Belsterli ^a, T. Wagner ^c, U. Platt ^b

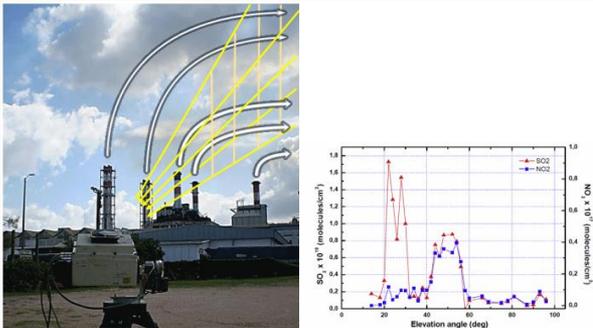
^a Instituto de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Julio Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay

^b Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 229, 69120 Heidelberg, Germany

^c Max-Planck Institut für Chemie, 55128 Mainz, Germany

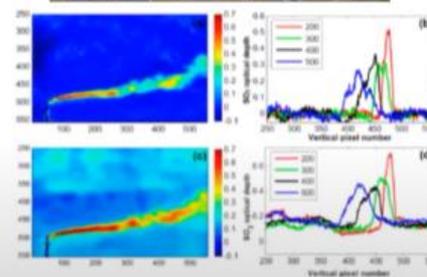


<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.069>

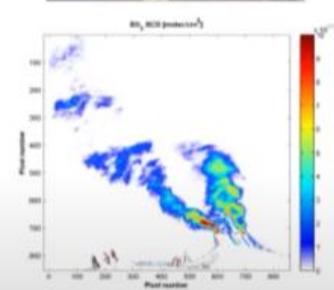


Visualización y cuantificación de emisiones de SO₂

Emisiones de una refinería



Emisiones de crucero



“UVCam: sistema para detección y cuantificación de emisiones industriales de SO₂”

<https://hdl.handle.net/20.500.12008/5210>

“Estudio y desarrollo de métodos ópticos aplicados al monitoreo atmosférico”

<https://hdl.handle.net/20.500.12008/19438>

Sensores “portátiles”



Article

Associations between Environmental Exposure, Urban Environment Parameters and Meteorological Conditions, during Active Travel in Montevideo, Uruguay

Mauro D'Angelo ^{1,*}, Ignacio Franchi ¹, Valentina Colistro ², Ana Clara Vera ³, Alicia Aleman ⁴ and Elizabeth González ¹

<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/4/2999>

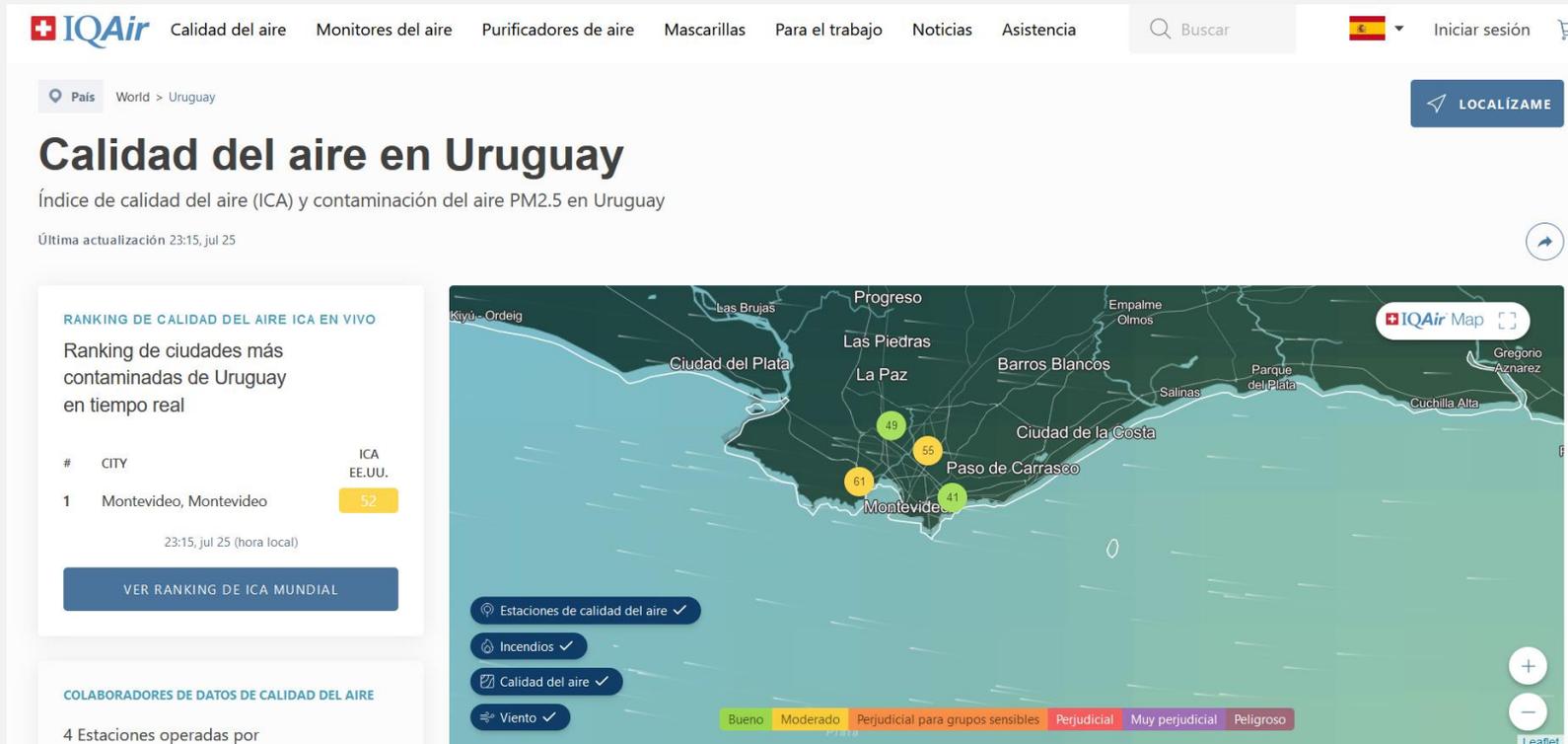
Trabajo de campo

Equipos de medición y registros

	<p>No compatible con marcapasos</p>		
<p>Garmin Edge 1030 Bundle Plus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valores por segundo: latitud, longitud, altura, distancia recorrida, velocidad, frecuencia cardíaca • Cálculos: ventilación corporal, pendiente del terreno 		<p>Aeroqual Series 500:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valores por minuto: concentración de PM_{10}, $PM_{2.5}$ y NO_2 	<p>RMI GX-2009:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valores cada 10 segundos: concentración de CO <p>Pulsar NoisePen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valores por segundo: nivel de presión sonora

Sensores “comunitarios”

Estudio de influencia de humedad en mediciones de PM_{2,5} en monitores comunitarios. Uso de datos provistos por sensores IQAir - AirVisual Outdoor, proyecto “Aires Nuevos para la Primera Infancia”. Fuente: https://www.aiu.org.uy/_files/ugd/989f95_0a0c70cd3b694466aa153fdae98fe08c.pdf



Técnicas de monitoreo

Decreto 135/021 – “Reglamento de Calidad de Aire”

Artículo 6° (Guías). La Dirección Nacional de Medio Ambiente elaborará guías, protocolos o instructivos para la evaluación de la calidad del aire, incluyendo las metodologías de monitoreo, ubicación e instalación de estaciones, programas de aseguramiento y control de calidad de las mediciones, criterios de evaluación y tratamiento de datos y sistemas de transmisión de datos, entre otros.

Desde junio de 2023, se cuenta con la guía titulada “Lineamientos para evaluar el desempeño en campo de sensores de bajo costo para el monitoreo de calidad de aire”, disponible en la web del MA, en proceso de validación.

 <p>Ministerio de Ambiente</p>	<p>Guía:</p> <p>Lineamientos para evaluar el desempeño en campo de sensores para el monitoreo de calidad de aire</p>	<p>DCA 07</p> <p>V.1</p> <p>Página 1 de 16</p>
---	--	---

Evaluación de sensores de bajo costo: Nodos Bettair

En el año 2021 comienza la experiencia con tecnología de medición de gases con sensores de bajo costo.

Con base a un acuerdo estratégico con una empresa internacional, DATA Monitoreo adquiere un nodo multiparámetro y comienza un proceso de pruebas similar al definido en la guía que se encuentra en elaboración, por parte de la autoridad ambiental.



Evaluación de sensores de bajo costo: Nodos Bettair

Nodos Bettair-Características de la unidad

Dos componentes, la unidad global y el modulo de sensors que incluye:

- Sensores electroquímicos para NO, NO₂, SO₂, O₃ y CO.
- Sensor de medición óptico para PM_{2,5}
- Medición de variables climáticas de presión, humedad y temperatura.
- Sensor de medición de ruido Ambiental (Tipo II).

Dispone además para su operación en campo:

- batería con autonomía de 72 horas y alimentación externa.
- Memoria interna para almacenamiento de datos.
- Transmisión de datos en tiempo real a la nube (módulo GPRS)
- Sistema de encendido/apagado para reinicio del nodo.
- Software de procesamiento de datos exclusivo desarrollado por Bettair.



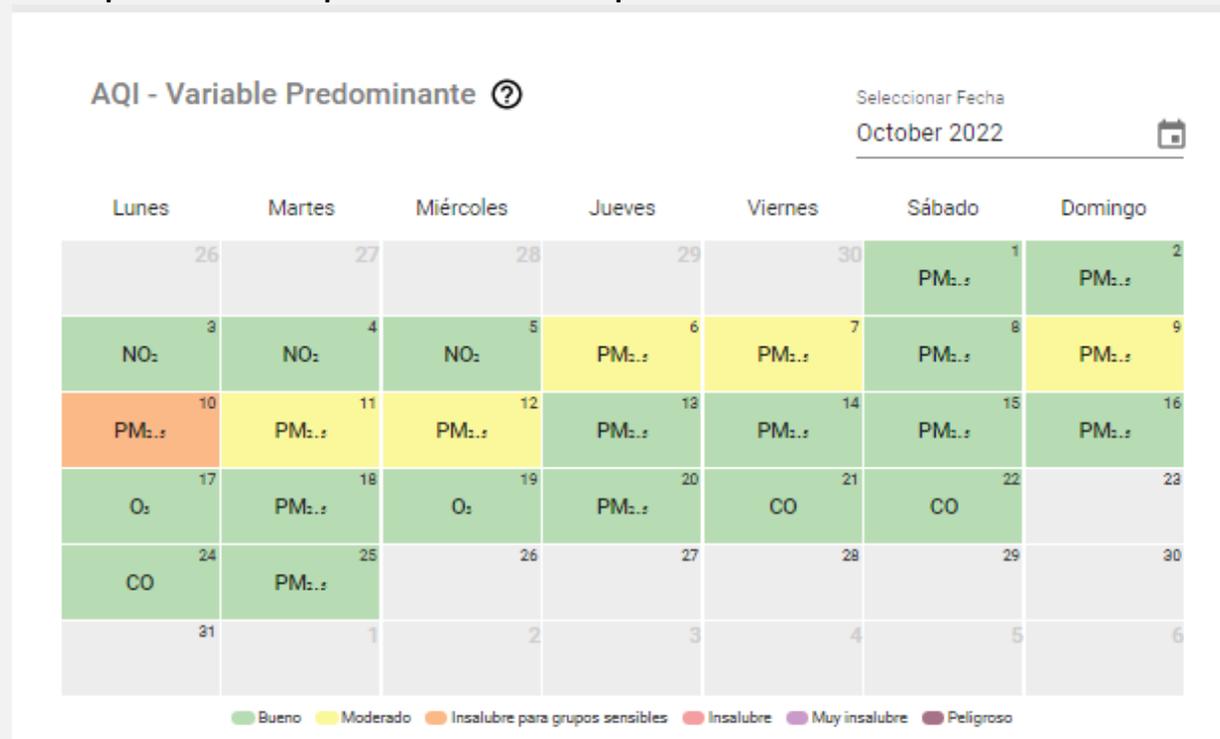
Características de fabricación

- La fabricación actual se realiza bajo certificaciones de la Unión Europea.
- Sigue guías europeas en elaboración (grupo CEN/TC 264 WG42) para testear y clasificar los sensores de “bajo coste”.

Evaluación de sensores de bajo costo: Nodos Bettair

Plataforma Bettair:

- Permite realizar el seguimiento en línea de los datos de calidad de aire en tiempo real
- Realizar consulta con tendencia histórica durante el periodo seleccionado.
- Graficar valores medios y máximos de contaminantes
- Visualizar parámetro predominante por día.





Guía de DINACEA - criterios de aceptabilidad

Sugiere verificación la confiabilidad de sensores considerando:

- Los sensores propuestos deberán medir uno o más de los parámetros establecidos en el Decreto 135/021.
- Los parámetros a medir deben contar con estaciones de referencia FRM o FEM.
- Los sensores deberán contar con límites de detección y/o de cuantificación acorde a los objetivos de monitoreo.

Establecer ensayos de co-localización, para verificar la confiabilidad de los sensores, recomendando ensayos cada 2 años. En 2022, previo a contar con esta guía, se realizaron pruebas en dos ubicaciones:

- Intendencia de Montevideo. Estación de monitoreo de calidad de aire Tres Cruces. (febrero 2022).
- Proyecto UPM II estación Centenario línea de base (abril-junio 2022).

Guía de DINACEA - criterios de aceptabilidad

Se establecen criterios de aceptabilidad en base al (R^2) específico a cada contaminante, según se detalla en la tabla siguiente:

Contaminante	Período	R^2
SO ₂	24 hs	≥ 0,50
NO ₂	1 hs	≥ 0,75
PM2,5	24 hs	≥ 0,75
PM10	24 hs	≥ 0,75
CO	24 hs	≥ 0,50
	8 hs	
O ₃	8 hs	≥ 0,50
H ₂ S	24 hs	≥ 0,50

Distintos criterio de uso para los datos, desde educación e información a monitoreo regulatorio, según el % de error de precisión como para el error de sesgo que presenten los sensores (valores establecidos en la guía).

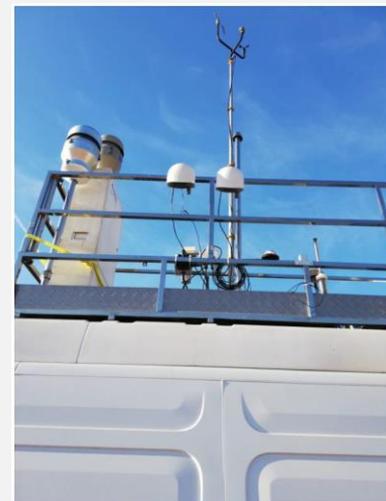
Evaluación de sensores de bajo costo: Nodos Bettair

Antecedentes Internacionales

Desarrollo tecnológico de varios años, realizando **estudios inter-comparativos** con estaciones FRM desde el año 2017, destacando:

- Estudio de inter-comparación con estación de monitoreo de la Universidad de Cambridge - Universidad de Cambridge UK, Setiembre de 2021.
- Estudio de SGS, de inter-comparación de 2 unidades de monitorización con estaciones de la diputación de Barcelona.

Resultados:



BETTAIR 02048 / DIBA	PM10	PM2.5	NO2	NO	O3
COEF. PEARSON (r)	0,89	0,98	0,91	0,96	0,96
COEF DETERMINACIÓN (R2)	0,80	0,95	0,83	0,93	0,92
RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14,43	11,29	6,47	12,48	6,71
RMSE (ppb) $\pm 0.5\%$			3,28	9,72	3,27

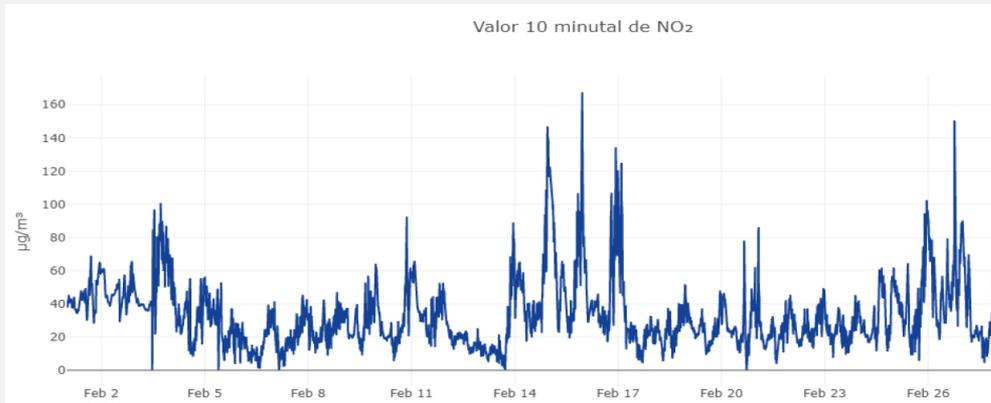
BETTAIR 02049 / DIBA	PM10	PM2.5	NO2	NO	O3
COEF. PEARSON (r)	0,90	0,98	0,91	0,96	0,96
COEF DETERMINACIÓN (R2)	0,81	0,96	0,82	0,93	0,93
RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14,83	11,28	8,84	11,30	5,73
RMSE (ppb) $\pm 0.5\%$			4,49	8,80	2,79

BETTAIR 02048 / 02049	PM10	PM2.5	NO2	NO	O3
COEF. PEARSON (r)	0,998	0,998	0,989	0,975	0,994
COEF DETERMINACIÓN (R2)	0,995	0,995	0,979	0,951	0,988
RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,19	5,07	5,43	9,17	4,08
RMSE (ppb) $\pm 0.5\%$			2,76	7,15	1,99

Evaluación de sensores de bajo costo: Nodos Bettair

Estación Tres Cruces

- Primer ensayo de co-localización con estación FEM, en ambiente urbano.
- Se obtuvieron datos de contaminantes en distintas franjas horarias con sus respectivas dinámicas.



Parámetro	Concentración (µg/m ³)* Promedio	Concentración (µg/m ³)* Máxima
CO	310	4.130
O ₃	12,06	66,72
NO	15,58	160,63
NO ₂	33,21	168,84
SO ₂	1,48	2,99
PM _{2,5}	4,50	39,98

Pruebas co-localización estación Centenario - Proyecto planta Celulosa UPM II

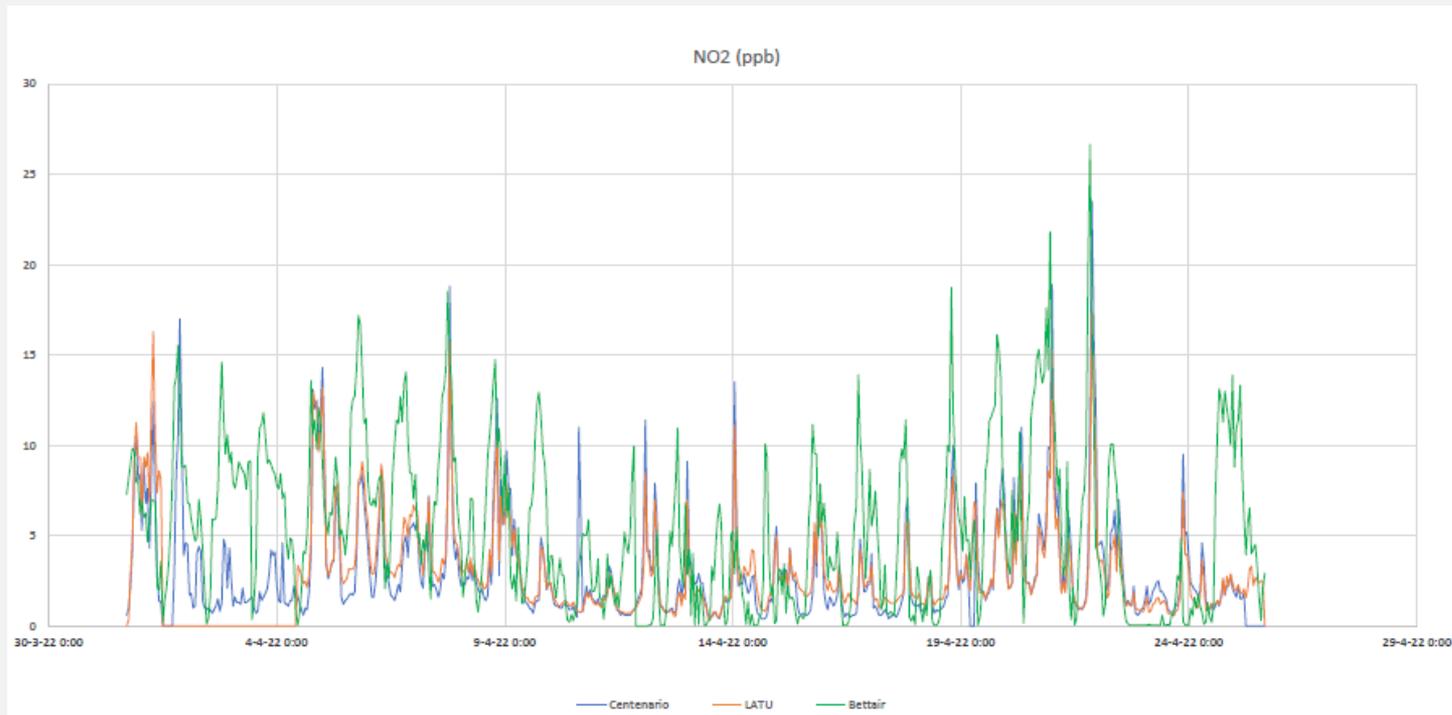
- Se instala nodo Bettair co-localizado con estación móvil de LATU y estación de referencia en la localidad de Pueblo Centenario (Proyecto UPM II).
- El periodo de medición corresponde el trimestre abril-julio 2022.



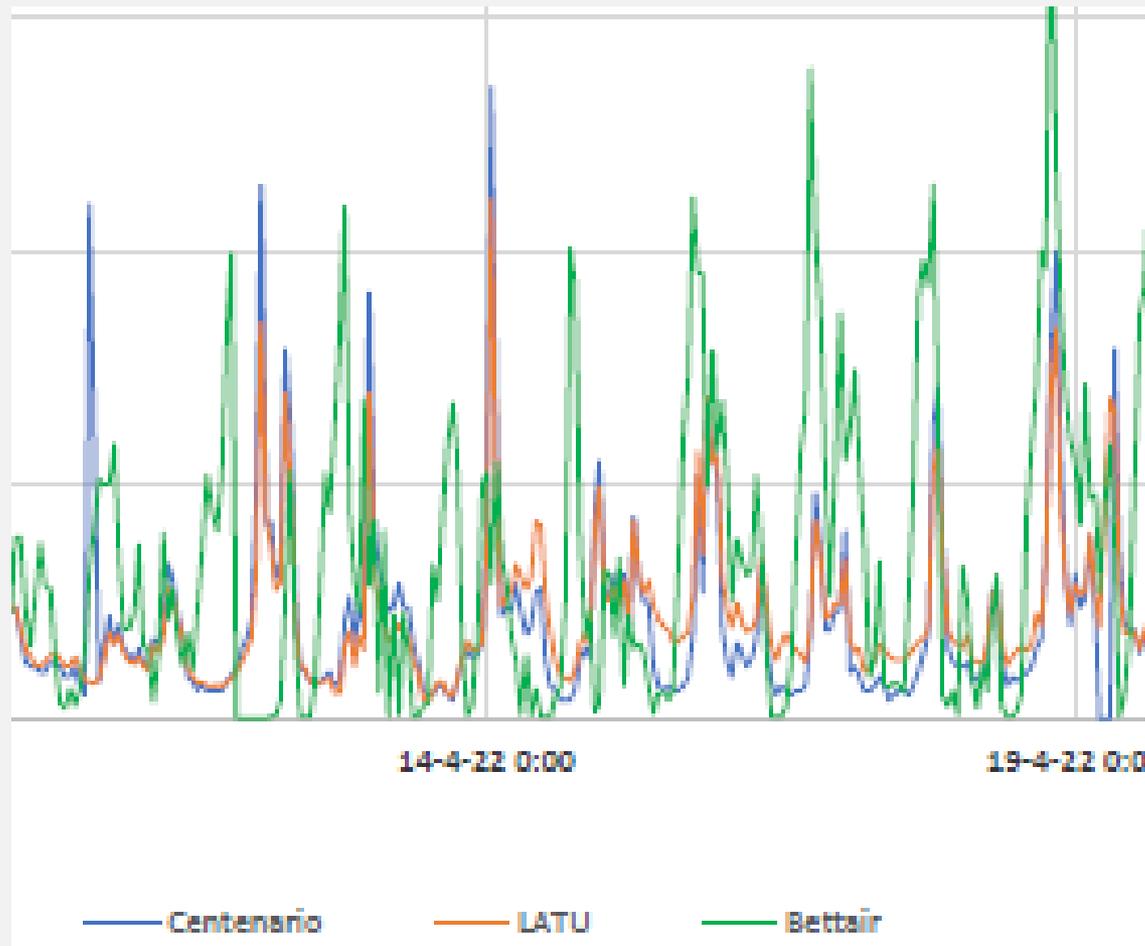
Evaluación de sensores de bajo costo: Nodos Bettair

Pruebas co-localización estación Centenario - Proyecto planta Celulosa UPM II

Comparación entre las dos estaciones de monitoreo FRM/FEM y el nodo Bettair para el parámetro NO₂.



Pruebas co-localización estación Centenario - Proyecto planta Celulosa UPM II





Evaluación de sensores de bajo costo: Nodos Bettair

Comentarios finales

- Nodos Bettair con más de 5 años de experiencia de Desarrollo, con validaciones operativas en campo
- Se aplicaron criterios de validación muy similares a los de la guía de Uruguay publicada este año.
- Ensayos de co localización evidencian datos confiables en base a criterios estadísticos para evaluar el desempeño de sensores de bajo costo.
- Se logra disponer de mayor cantidad de datos, confiables, con excelentes correlaciones ($R^2 > 0,9$), disponiendo de mayor capacidad para la interpretación de fenómenos de contaminación.

Es importante aunar esfuerzos a nivel regional para el desarrollo de guías técnicas de referencia para la validación de instrumentos de medición de bajo costo para dar confiabilidad a estos sistemas de medición.

Muchas gracias por su atención – DICAIRE

carlos.demaria@eia.com.uy

Javiera.salas@gmail.com

