

# Análisis de la contaminación en mega ciudades mexicanas mediante la utilización de redes de sensores de bajo costo de calidad del aire

Centro Mario Molina

2018

## Resumen

El presente proyecto evaluó la calidad y representatividad en las mediciones de 4 sensores de bajo costo fabricados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), los cuales monitorean  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_x$  (que se refiere a la suma de  $\text{O}_3 + \text{NO}_2$ ),  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , durante un periodo de 24 días (24 horas continuas por día). Los 4 equipos fueron instalados de manera contigua a la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la red de monitoreo atmosférico del Gobierno de la Ciudad de México, ubicada en el sur de la Ciudad de México dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Los equipos solamente operaron de manera correcta durante una parte del tiempo que duró la campaña, sin embargo los datos recopilados mostraron una correlación relativamente buena contra los datos de la estación. Las fallas presentadas en la operación de los equipos fueron extremadamente útiles para el rediseño y remodelación de los mismos, produciendo un modelo mucho más confiable, y que ya estamos probando de igual forma en una nueva campaña.

### 1. Introducción

Como su nombre lo indica, los sensores de “bajo costo” permiten el monitoreo de contaminantes atmosféricos en lugares en donde las redes de monitoreo certificadas de referencia no pueden llegar, a un costo mucho más económico, pero hasta ahora también con menor fiabilidad. El término “bajo costo” puede referirse al costo del componente de hardware necesario para realizar una medición cualitativa, o la magnitud económica (2 o 3 órdenes de magnitud más económico) del dispositivo comparado con un equipo robusto de referencia.

Como herramientas de monitoreo, los sensores de bajo costo tienen el potencial de ser utilizados para el entendimiento de las problemáticas de calidad del aire que enfrentan los entornos urbanos, además de que sirven como fuentes de diagnóstico para el diseño de medidas y políticas dirigidas a reducir la contaminación atmosférica en grandes ciudades.

### 2. Objetivo general

Desarrollar una comprensión más completa de la química atmosférica urbana en mega ciudades usando dispositivos de medición atmosférica de bajo costo desarrollados para otras latitudes, recopilando datos que puedan ser aprovechados por gobiernos e investigadores para reducir la contaminación

del aire, así como evaluar su estado del arte y desempeño.

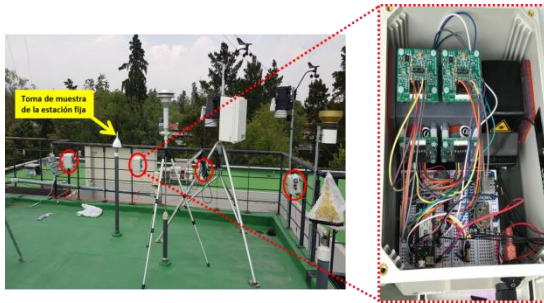
### 3. Metodología

Se estableció un convenio de colaboración entre el CMM y el MIT, que incluyó la compra y el soporte técnico en la operación de cuatro monitores idénticos, que miden  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_x$  (que se refiere a la suma de  $\text{O}_3 + \text{NO}_2$ ),  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$  de forma continua.

Adicionalmente, buscando la asimilación tecnológica del know-how de los equipos del MIT, se firmó un convenio con la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB-IPN), con quien desarrollamos un prototipo operacional, el cual tiene habilitados los sensores de temperatura, humedad relativa (DHT11),  $\text{CO}$  (MQ-7), y un sensor multicontaminante (MQ-135).

Se instalaron los 4 sensores MIT a un costado de la toma de muestra de la estación CCA ubicada en la UNAM, de forma que los datos registrados tanto por los equipos MIT como por la estación fueran totalmente comparables. La distribución espacial de los equipos se muestra en la Figura 1

**Figura 1.** Distribución espacial de sensores de bajo costo contiguo a la toma de muestra de la estación de referencia CCA, Fuente: Propia.

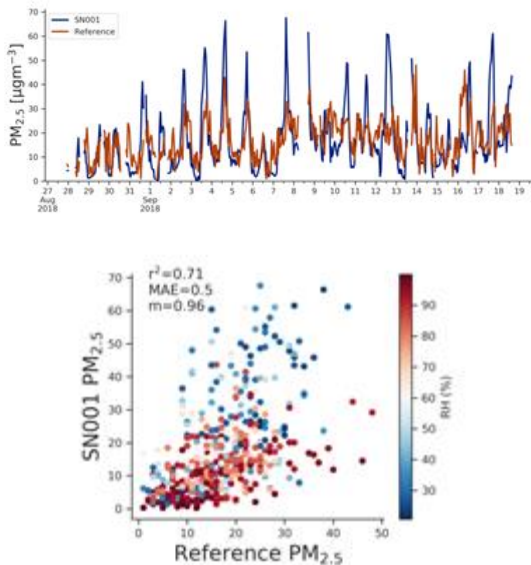


#### 4. Resultados

Durante el periodo de medición, se observó una alta variabilidad en las mediciones de todos los parámetros medidos por los equipos MIT, así como una baja integralidad de datos causada por inestabilidad en la electrónica de los mismos, por lo que se contó con una baja cantidad de información para comparar contra los datos de la estación.

Para el sensor que logró registrar la mayor cantidad de datos, el SN001 se obtiene una correlación relativamente buena comparada contra los datos de la estación del CCA, como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2.** Serie temporal y diagrama de dispersión de resultados de SN001 contra la estación del CCA.



#### 5. Discusión

Los equipos MIT presentaron serios problemas de electrónica que causaron una baja recopilación de datos de concentraciones. La identificación de estos errores permitió rediseñar el circuito impreso (tarjeta madre) de forma que se fabricó e instaló en cada uno de los equipos, contando ahora con la versión actualizada y mejorada de los mismos.

#### 6. Conclusiones y recomendaciones

##### Conclusiones

Los sensores de bajo costo son una alternativa viable que aún está en etapa de investigación y prueba y que conforme se vayan conociendo sus limitaciones de monitoreo en condiciones reales de operación, se podrán mejorar su aplicabilidad y desempeño.

El tiempo de vida útil de las celdas y sensores utilizados para la medición de contaminantes atmosféricos en equipos de bajo costo aún es limitado (entre 1 y 2 años), lo cual podría limitar su aplicabilidad.

En la ejecución de la primera etapa de este proyecto se presentaron una serie de problemas técnicos que no permitieron llevar a cabo una comparación estadísticamente significativa de concentraciones, y por lo tanto no fue posible evaluar su desempeño de los equipos de manera robusta.

La plataforma y equipo construido por el MIT no resultó ser tan robusta en su operación como si lo fue durante su utilización en las campañas de monitoreo en la India y en Hawái, sin embargo, las fallas encontradas durante la ejecución de este proyecto y sus soluciones contribuyeron de manera significativa a la mejora del software y hardware del equipo, fortaleciendo la confiabilidad operativa de los mismos y avanzando el estado del arte en materia de monitoreo de bajo costo.

Se está llevando a cabo una segunda etapa de pruebas en una nueva campaña de monitoreo durante diciembre de 2018 y enero de 2019, para evaluar el desempeño de los equipos con la nueva electrónica instalada. Cabe destacar que las pruebas preliminares de operación y confiabilidad de los equipos con la nueva electrónica han demostrado ser

significativamente más robustos que la versión anterior, lo cual resulta muy prometedor.

Una recomendación adicional derivada de la ejecución de este proyecto es que se deben realizar campañas de muestreo con al menos tres equipos de bajo costo, de forma que se minimicen fallas en la operación y recolección de datos, así como permitir integrar ensambles de datos, lo cual de acuerdo a la experiencia pueden aumentar los índices de correlación entre estos equipos y los de referencia.

Los equipos de bajo costo parecen aun estar lejos de obtener mediciones comparables y confiables contra los obtenidos en las estaciones de referencia, sin embargo, es importante darle seguimiento cercano a desarrollos futuros de estos equipos de forma que se continúe aportando experiencia que contribuya a la mejora de estos mismos.

## 8. Referencias

WMO. (2018). Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications. Disponible en: <https://www.sparc-climate.org/2018/03/22/call-for-comments-low-cost-sensors-for-the-measurement-of-atmospheric-composition-overview-of-topic-and-future-applications/>

David H. Hagan D. H., Isaacman-VanWertz G., Franklin J. P., Wallace L. M., Kocar B. D., Heald C., Kroll J. H. (2018). Calibration and assessment of electrochemical air quality sensors by co-location with regulatory-grade instruments. *Atmospheric Measurement Techniques*. 11, 315–328.

Michel, G., et al. (2017). Measuring air pollution with low-cost sensors. European Commission. Disponible en <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/brochures-leaflets/measuring-air-pollution-low-cost-sensors>.

Morawska, L et al. (2018). Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone?. *Environment International*. 206-299. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018302460>

Borrego, C et al. (2016). Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise. *Atmospheric Environment* 147, 246-263.

Snyder E et al . (2013). The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring. *Environmental Science and Technology*. 47. 11369–11377.

Reis, S.; Seto, E.; Northcross, A.; Quinn, N. W. T.; Convertino, M.; Jones, R. L.; Maier, H. R.; Schlink, U.; Steinle, S.; Vieno, M.; Wimberly, M. C. Integrating modelling and smart sensors for environmental and human health. *Environ. Modell. Softw.*, 2015, 74, 238-246.

Kumar, P.; Morawska, L.; Martani, C.; Biskos, G.; Neophytou, M.; Di Sabatino, S.; Bell, M.; Norford, L.; Britter, R. The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environ. Int.*, 2015, 75, 199-205.

Yi, W. Y.; Lo, K. M.; Mak, T.; Leung, K. S.; Leung, Y.; Meng, M. L. A survey of wireless sensor network based air pollution monitoring systems. *Sensors*, 2015, 15, 31392-31427.

Hagan D et al (2018) Calibration and assessment of electrochemical air quality sensors by co-location with regulatory-grade instruments. *Atmospheric Measurements Techniques*. 11, 315–328 <https://doi.org/10.5194/amt-11-315-2018>

Lin, Y. et al. The impacts of air pollution on maternal stress during pregnancy. *Sci. Rep.* 7, 40956; doi: 10.1038/srep40956 (2017).

Heft-Neal, S., Burney, J., Bendavid, E., & Burke, M. (2018). Robust relationship between air quality and infant mortality in Africa. *Nature*, 559(7713), 254–258. doi:10.1038/s41586-018-0263-3

Killian, J., Kitazawa, M. (2018). The emerging risk of exposure to air pollution on cognitive decline and Alzheimer's disease e Evidence from epidemiological and animal studies. *Biomedical Journal*. 141-162

Guxens, M., Lubczyńska, M. J., Muetzel, R. L., Dalmau-Bueno, A., Jaddoe, V. W. V., Hoek, G., ... El Marroun, H. (2018). Air Pollution Exposure During Fetal Life, Brain Morphology, and Cognitive Function in School-Age Children. *Biological Psychiatry*,

84(4), 295–303.  
doi:10.1016/j.biopsycho.2018.01.016

O'Donovan, G., Chudasama, Y., Grocock, S., Leigh, R., Dalton, A. M., Gray, L. J., Wells, A. (2017). The association between air pollution and type 2 diabetes in a large cross-sectional study in Leicester: The CHAMPIONS Study. *Environment International*, 104, 41–47. doi:10.1016/j.envint.2017.03.027

Parent, M.-É., Goldberg, M. S., Crouse, D. L., Ross, N. A., Chen, H., Valois, M.-F., & Liautaud, A. (2013). Traffic-related air pollution and prostate cancer risk: a case-control study in Montreal, Canada. *Occupational and Environmental Medicine*, 70(7), 511–518. doi:10.1136/oemed-2012-101211

Fajersztajn, L., Veras, M., Barrozo, L. V., & Saldiva, P. (2013). Air pollution: a potentially modifiable risk factor for lung cancer. *Nature Reviews Cancer*, 13(9), 674–678. doi:10.1038/nrc3572

Mazaheri, M., Clifford, S., Yeganeh, B., Viana, M., Rizza, V., Flament, R., ... Morawska, L. (2018). Investigations into factors affecting personal exposure to particles in urban microenvironments using low-cost sensors. *Environment International*, 120, 496–504. doi:10.1016/j.envint.2018.08.033

Onat, B., Stakeeva, B. (2013). Personal exposure of commuters in public transport to PM<sub>2.5</sub> and fine particle counts. *Atmospheric Pollution Research*. 329-335

Cross, E.S. et al. (2017). Use of Electrochemical sensors for measurement of air pollution: correcting interference response and validating measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*. 10, 3575-3588

Zimmerman, N. et al. (2018). A machine learning calibration model using random forest to improve sensor performance for

lower-cost air quality monitoring. *Atmospheric Measurements Techniques*. 11,291-313

Di Antonio, A. et al. (2018). Developing a Relative Humidity Correction for Low-Cost Sensors Measuring Ambient Particulate Matter. *Sensors*, 18, 2790, 2018

Petters, M.D. et al (2007). A single parameter representation of hygroscopic growth and cloud condensation nucleus activity. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 1961–1971, 2007

Agradecemos la aportación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para la realización de este proyecto.

