

Calidad del aire y monitoreo atmosférico

Alejandro Salcido, Ana Teresa Celada Murillo, Gustavo Adolfo Tamayo Flores, Nicasio Hernández Flores, Susana Carreón Sierra, Marco Antonio Martínez Flores, Ana Laura Colín Aguilar, Higinio Alexander Solano Olivares, Arianna Isamar Salcido Merino y Jesús Alberto Gaspar

Resumen

En este artículo se presentan las características, capacidades y aplicaciones de la estación de monitoreo atmosférico instalada en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), al sur de la ciudad de Cuernavaca, Morelos. Es la primera estación de monitoreo que puede proporcionar información meteorológica, de turbulencia atmosférica y de calidad del aire en la zona, brindando a la población de la ciudad de la eterna primavera un servicio de vigilancia de las condiciones atmosféricas y de la calidad del aire que ahí se respira. Los datos de este sistema son de utilidad para la investigación en estos temas. En el sitio <http://www2.ineel.mx/INEEL/inicio.php>, se presentan los promedios horarios de la información registrada.

Palabras clave: meteorología, calidad del aire, Cuernavaca, México, monitoreo atmosférico.

AIR QUALITY AND ATMOSPHERIC MONITORING

Abstract

In this article we present the characteristics, capacities and applications of the atmospheric monitoring station located in the National Institute of Electricity and Clean Energies (INEEL), in the south of Cuernavaca City (Morelos). It is the first monitoring station that provides, continuously and systematically, meteorological and air quality information in the region, supplying the population of the city of eternal spring with a monitoring service of its atmospheric conditions and air quality. The data provided by the station is useful to carry out research on these topics. In the website <http://www2.ineel.mx/INEEL/inicio.php>, the hourly averages of the atmospheric conditions registered in the station are shown.

Keywords: meteorology, air quality, Cuernavaca, Mexico, atmospheric monitoring.

DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n3.a3>



Alejandro Salcido

salcido@ineel.mx

Físico por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde también obtuvo los grados de Maestro en Ciencias (Física) y Doctor en Ciencias (Física). Hasta 1991 formó parte de la planta académica de dicha Facultad realizando actividades de docencia e investigación sobre Mecánica de Fluidos, Termodinámica, Electrodinámica y Física Estadística. En septiembre de ese año se integró al IIE, dirigiendo diferentes proyectos de investigación e innovación, tanto de infraestructura como bajo contrato (PEMEX, CFE, Cementos Moctezuma, CCA-UNAM, CONACYT, entre otros), en temas de micrometeorología y dispersión atmosférica de contaminantes. Formó el Grupo y Laboratorios de Modelación Matemática, Micrometeorología y Contaminación Atmosférica (GM4CA) en la División de Energías Alternas, del cual es líder, hasta la fecha. Ha publicado más de 100 artículos de investigación en revistas de circulación internacional, memorias de congresos y capítulos en libros, donde sus principales trabajos han sido en temas de contaminación atmosférica, micrometeorología, taxonomía del viento e identificación de patrones de circulación del viento, coagulación de aerosoles atmosféricos, modelos de autómatas celulares para fluidos bidimensionales, tráfico vehicular y propagación de incendios, propiedades fonónicas y termodinámicas de cerámicos superconductores de alta temperatura crítica, y modelos termodinámicos fuera de equilibrio para ecuaciones constitutivas de fluidos. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1993.

Ana Teresa Celada Murillo

orcid.org/0000-0002-9809-3086
atcelada@iie.org.mx

Investigadora y jefe de proyecto en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias desde 1995. Ingeniero Químico por la Facultad de Ciencias Químicas e Industriales de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, con maestría en Ingeniería Ambiental por la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y Doctora en Ciencias por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Sus temas de investigación: experiencia en dispersión y transformación de contaminantes atmosféricos (gases y partículas); evaluación del impacto sobre la calidad del aire; diseño y puesta en operación de sistemas de monitoreo atmosférico; análisis de información meteorológica para la identificación de eventos de circulación del viento y sus patrones, así como la selección de escenarios meteorológicos asociados a eventos de contaminación atmosférica; en el diseño de redes de monitoreo de la calidad del aire; y modelación del proceso de coagulación de aerosoles atmosféricos.

Gustavo Adolfo Tamayo Flores

gatamayo@ineel.mx

Ingeniero Mecánico de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en 1992. Obtuvo su grado de maestría en Ingeniería Química en 2006 en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Desde 1991 trabaja en el Instituto de Investigaciones Eléctricas, en el área de combustión y caracterización de emisiones. Actualmente está trabajando en proyectos relacionados con la evaluación de la calidad del aire. Ganador del XV concurso nacional tesis de licenciatura en 1992. Ha participado como jefe de proyecto, es coautor del libro *Teoría y pruebas de combustión*, así como de diversos artículos técnicos publicados a nivel nacional e internacional. Es coautor de tres patentes (dos otorgadas y una en proceso de evaluación).

Nicasio Hernández Flores

nicasio.hernandez@ineel.mx

Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico de Córdoba, con maestría en Ingeniería Industrial de la misma Universidad. Desde el 2012 colabora en el Instituto de Investigaciones Eléctricas

(actualmente INEEL) en el monitoreo meteorológico y calidad del aire con experiencia de más de tres años en el diseño, instalación, configuración, puesta en operación y seguimiento operacional de estaciones de monitoreo meteorológico, micrometeorológico y de calidad del aire, así como en el análisis de datos de la información generada en este tipo de estaciones. Participante en el monitoreo de emisiones de fuentes fijas y sus parámetros operativos, en seguridad industrial y desarrollo de sistemas de gestión y aseguramiento de calidad.

Susana Carreón Sierra

susana.carreon@ineel.mx

Licenciada en Matemáticas Aplicadas y Computación, Project Management Professional (PMP) con certificado 1986084 del PMI, especialista en meteorología y micrometeorología, con más de cinco años participando en proyectos de este tipo y más de veinte dirigiendo proyectos. Investigadora en temas relativos a la dispersión de contaminantes y análisis de conglomerados, coautora de nueve artículos publicados en revistas internacionales. Primer lugar del Certamen Nacional con la Tesis "Taxonomía del Viento en Superficie en la Ciudad de México con un Modelo Celular de Representación a Escala Meso- β Periodo 2001-2006".

Marco Antonio Martínez Flores

mamf@ineel.mx

Ingeniero Mecánico Electricista por la Universidad Nacional Autónoma de México, con maestría en Ingeniería de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería UNAM (1988). En 1984 ingresó al Instituto de Investigaciones Eléctricas (actualmente INEEL) realizando proyectos de investigación sobre procesos de combustión y monitoreo de emisiones atmosféricas de fuentes fijas, estudios de desempeño energético, diseño de pruebas para la evaluación de sistemas de combustión de calderas, motocompresores y motobombas, creación de inventarios de emisiones, caracterización de fuentes fijas (especies químicas y parámetros operativos) y monitoreo de la calidad del aire. Con participación en la modelación aerodinámica de sistemas de combustión y puesta a punto de sistemas de combustión de generadores de vapor de gran capacidad; el diseño y modelación fluido dinámica de sopladores de hollín; el diseño de equipos de transferencia de calor y responsable del Laboratorio de Combustión del INEEL de 1995 a 2011. Desde 2012 colabora en el grupo de Modelación Matemática, Micrometeorología y Contaminación Atmosférica de la División de Energías Alternas. Ha participado como jefe de proyecto, es autor de diversos artículos nacionales e internacionales y coautor de tres patentes (dos otorgadas y una en proceso de evaluación).

Ana Laura Colín Aguilar

ana.laura.colin@ineel.mx

Egresada de la licenciatura en Economía y Administración de Negocios de la Universidad del Sol en 2008. Contribuyó por cuatro años en la asistencia Divisional de Energías Alternas, especializándose en el diseño, definición y seguimiento automatizado de medición de indicadores del Balanced Scorecard, complementando su capacitación en el ITAM con un diplomado en Planeación Estratégica. Desde el 2015 colabora con el Grupo de Modelación Matemática, Micrometeorología y Contaminación Atmosférica, en estrategias de resonancia, gestión de proyectos y complejidad y cambio climático. Adicionalmente, participa en la evaluación económico-financiera de proyectos de investigación.

Higinio Alexander Solano Olivares

solanoolivares@gmail.com

Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado del Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos. Especialista en el desarrollo de aplicaciones web, móvil y de escritorio. Realización de estancias profesionales en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, INEEL, (2016-2017), en los programas de prácticas profesionales y de adiestramiento en investigación tecnológica. Participación en el desarrollo de aplicaciones para la Estación de Monitoreo Atmosférico del INEEL, utilizando tecnologías como: PHP, JavaScript, CSS3, Ajax, JQuery, MySQL, HTML5, Apache y JAVA/J2SE.

Arianna Isamar Salcido Merino

aisamarsalcido@gmail.com

Licenciada en Diseño Gráfico y Animación por la Universidad Tec Milenio, ha participado en actividades de diseño visual y apoyo administrativo en el Museo Morelense de Arte Popular, fue la organizadora y coautora de la primera exposición de arte plástico y gráfico de la Universidad Tec Milenio (2015), titulado "Laberinto Visual"; durante 2016 y 2017 llevó a cabo estancias profesionales en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, una de ellas de prácticas profesionales y otra dentro del Programa de Adiestramiento en Investigación Tecnológica.

Jesús Alberto Gaspar

sharkblue@1305@hotmail.com

Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado de la Universidad del Valle de Cuernavaca, Morelos. Ha participado en estancias profesionales en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías limpias, especialmente en relación al desarrollo de la página web de la estación de monitoreo atmosférico del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, utilizando HTML, JavaScrip.

Introducción

La contaminación atmosférica es un problema de salud pública mundial, que tan sólo en 2012 provocó la muerte de 7 millones de personas en el mundo, por exposición a concentraciones elevadas de contaminantes del aire (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2014). México no está a salvo de este problema y en el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), una de las zonas más pobladas del país, son evidentes la mala calidad del aire y su conexión con los ingresos hospitalarios. De hecho, entre los años 2004 y 2011 ocurrieron más de 46,000 hospitalizaciones de niños menores de 5 años por enfermedades respiratorias y asma (Rivera, 2016). Por estas razones, año con año, se han destinado recursos públicos para determinar las causas del deterioro de la calidad del aire, el nivel

de contaminación que existe en sitios de interés, y sus efectos sobre la salud de la población, así como las acciones necesarias para su control. En este sentido, el monitoreo atmosférico es una herramienta que permite determinar los niveles de contaminación del aire y las condiciones meteorológicas que favorecen el transporte y la dispersión de los contaminantes; y sus aportaciones son fundamentales para establecer medidas de control de la contaminación y políticas para proteger la salud de la población.

“
Entre los beneficios del
monitoreo atmosférico
se encuentran el
establecimiento de
correlaciones entre
contaminantes y daños a
la salud.
”

Monitoreo atmosférico, su importancia y aplicaciones

Entendemos el monitoreo atmosférico como un conjunto de acciones que permiten medir los valores de los parámetros meteorológicos y de la calidad del aire en una región dada. La información así obtenida tiene diversas aplicaciones para la comunidad académica, la sociedad civil y las autoridades ambientales. De acuerdo con el [Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático](#) (INECC), el monitoreo atmosférico en México

se utiliza como un instrumento para el establecimiento de políticas ambientales de protección a la salud de la población y los ecosistemas. Y es por esto que las estaciones de monitoreo atmosférico son indispensables para generar información confiable, y para la formulación de normas de calidad del aire y la verificación de su cumplimiento.

El monitoreo atmosférico, por otro lado, permite estudiar las concentraciones de los contaminantes y sus tendencias, y evaluar estas condiciones con respecto a los límites indicados en las normas ambientales para la protección de la salud de la población. La información del monitoreo también permite establecer acciones para reducir los riesgos del impacto de la contaminación sobre la salud de la población y es fundamental para instrumentar estrategias de vigilancia

epidemiológica tanto en períodos con bajos niveles de contaminación como en aquéllos durante los cuales podría presentarse una contingencia ambiental.

Tales acciones y estrategias requieren conocer las condiciones de transporte y dispersión de los contaminantes en la región, así como su relación con los casos de contingencia atmosférica. La información meteorológica registrada en las estaciones de monitoreo, en este caso, permite preparar los datos de entrada de los modelos usados para simular el transporte y dispersión de contaminantes en la atmósfera y estimar el impacto de las emisiones alrededor de las fuentes, incluyendo sitios donde no se realiza monitoreo de la calidad del aire.

De esta manera, puede apreciarse que entre los beneficios del monitoreo atmosférico se encuentran el establecimiento de correlaciones entre contaminantes y daños a la salud, la identificación de tipos y fuentes de emisión, y de receptores de la contaminación; los estudios de factibilidad para la instalación de centrales de generación eléctrica, tanto convencionales como las eólicas y solares; así como la generación de información de calidad del aire y meteorología, para apoyar otros estudios científicos.

Normativa

En el año 2012 entró en operación la norma oficial mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012 cuyo objetivo es "especificar las condiciones mínimas que deben ser observadas para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire". Esta norma rige en todo el territorio nacional y es de aplicación obligatoria para gobiernos locales que tengan más de 500 mil habitantes o emisiones superiores a 20 mil toneladas anuales, entre otros criterios. Dicha norma establece las características básicas de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire; requerimientos para la instalación de las estaciones, operación, mantenimiento y calibración de equipos; manejo de los datos; así como de la gestión, aseguramiento y control de la calidad en los sistemas de monitoreo de calidad de aire, entre otros aspectos.

Monitoreo de calidad del aire en el estado de Morelos

En Morelos existe una red de monitoreo de calidad del aire con cuatro estaciones, ubicadas en los municipios de Cuernavaca, Zacatepec, Cuautla y Ocuiltepec. Esta red es operada por el gobierno del estado y en sus estaciones se miden las concentraciones de los contaminantes criterio¹ siguientes: ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y partículas menores de 10 micras (PM₁₀). Sin embargo, dada la extensión y la complejidad topográfica de Morelos, el número de estaciones de monitoreo no es suficiente para satisfacer las necesidades de información en el estado. Además, la operación de las estaciones es discontinua debido a diversos problemas y la información no se difunde adecuadamente a la población (INECC, 2015).

¹ Contaminantes normados a los que por sus efectos sobre la salud de la población se les han establecido límites a sus concentraciones en la atmósfera (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios [COFEPRIS], 2017).

A pesar de sus deficiencias, la red de monitoreo del estado ha proporcionado información que junto con la obtenida a través de iniciativas académicas independientes (Salcedo *et al.*, 2012; Saldarriaga-Noreña *et al.*, 2015; Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [ocde], 2014a, 2014b, 2014c) ha permitido detectar que en los últimos años esta región ha sufrido un deterioro de la calidad del aire, observándose altas concentraciones de partículas finas (especialmente las que tienen diámetros menores de 10 y 2.5 μm) y ozono, que han superado los valores límite indicados en la normatividad (INECC, 2015).

Estación de monitoreo atmosférico del INEEL

La estación de monitoreo atmosférico del INEEL se ubica a 6 km al sur del zócalo de la ciudad de Cuernavaca, uno de los municipios más poblados del estado de Morelos, con 366,321 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2015). Es resultado del esfuerzo del Programa Estratégico de Sustentabilidad Ambiental y Cambio Climático, y su principal objetivo es contribuir en la atención de las necesidades diarias en materia de calidad del aire y meteorología en esta región. Asimismo, brinda una fuente confiable de información para realizar investigación que permita entender la dinámica de los procesos de transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos en la zona, y el establecimiento de soluciones orientadas al abatimiento de la contaminación atmosférica, con lo que se asegura la calidad del aire adecuada para la salud de la población. En la figura 1, se muestra una vista panorámica del entorno que rodea la estación.

Figura 1. Vista panorámica a 360° del entorno de la estación de monitoreo atmosférico. El lado izquierdo muestra la vista en la dirección noroeste, continuando en el sentido de las manecillas del reloj, llegando al norte, posteriormente al noreste, este, y así sucesivamente, hasta la dirección oeste en el lado derecho.

La estación de monitoreo cuenta con una torre meteorológica de 10 m de altura, colocada en el techo del edificio más alto del INEEL y en ella se encuentran equipos meteorológicos convencionales y un anemómetro ultrasónico tridimensional con el que se miden los parámetros de turbulencia atmosférica. Ahí mismo, se encuentra una caseta donde se alojan los analizadores de calidad del aire. En las figuras 2a y 2b, se presenta una vista de la torre meteorológica y de la caseta de calidad del aire.



Figura 2a. Torre meteorológica de la estación de monitoreo atmosférico del INEEL.



Figura 2b. Caseta con los analizadores de calidad del aire.



Mediciones meteorológicas, de turbulencia atmosférica y de calidad del aire

En relación con la capacidad de monitoreo meteorológico, la estación del INEEL cuenta con un conjunto de equipos convencionales (ver figura 3a), que miden, cada segundo, temperatura ambiente, presión barométrica, humedad relativa, radiación global y precipitación pluvial. En la figura 3b, puede observarse el anemómetro ultrasónico tridimensional con el que se miden las tres componentes de la velocidad del viento y la temperatura. Este instrumento se utiliza para conocer la condición de turbulencia atmosférica en el sitio y determinar las condiciones de dispersión de los contaminantes en la atmósfera (Salcido *et al.*, 1993; Sozzi y Favaron, 1996). En el país, muy pocas estaciones de monitoreo atmosférico cuentan con esta última funcionalidad.

Las mediciones de calidad del aire se llevan a cabo cada minuto, y con esta información se obtiene un promedio de cada hora del día (promedio horario) de la concentración de los contaminantes: ozono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas menores de 10 micras. Los analizadores que integran la estación utilizan métodos de referencia o equivalentes aprobados por la normatividad mexicana y/o por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, por sus siglas en inglés).

Figura 3a. Equipo meteorológico convencional.

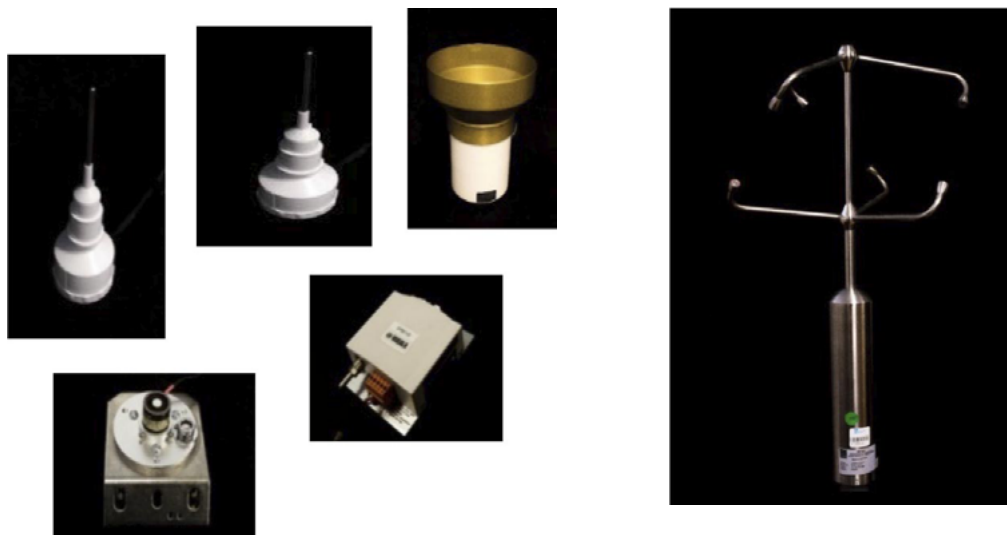


Figura 3b. Anemómetro ultrasónico 3D con el que se determinan las condiciones de turbulencia atmosférica de la región.

Gestión del aseguramiento y control de la calidad

A fin de asegurar la confiabilidad de los datos de calidad del aire, su representabilidad, comparabilidad, compatibilidad y otros requisitos de calidad, se tiene implementado un sistema de gestión de la calidad que satisface la norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006: *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. Este sistema de gestión ha sido acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) con el registro FF-1044-083/18.

Aplicaciones

Entre las aplicaciones que en el INEEL realizamos a partir de la información generada por nuestra estación de monitoreo atmosférico, están las siguientes:

- Establecimiento de metodologías, modelos y técnicas experimentales de medición para la caracterización de las condiciones atmosféricas predominantes en una zona de interés (continental o costera), con base en los valores de los parámetros micrometeorológicos y meteorológicos.
- Estudios de modelación del transporte y la dispersión de contaminantes atmosféricos, así como la evaluación de su impacto sobre la calidad del aire.
- Pronósticos de impacto de la emisión de chimeneas fijas, con fines de autorización de operación.
- Evaluación de la calidad del aire a través del monitoreo continuo de O_3 , NO_x , SO_2 y PM_{10} , así como la medición de las características meteorológicas y micrometeorológicas (turbulencia atmosférica) de la zona.
- Análisis de intercambio de contaminantes entre regiones vecinas.
- Estudios de climatología urbana como identificación de los patrones de circulación de los vientos y de flujo de contaminantes, incluyendo la

determinación de sus probabilidades de ocurrencia; identificación de patrones de flujo de calor sensible; y cuantificación del efecto de isla de calor urbana.

Acceso a la Información

Los datos promedio horario de los parámetros meteorológicos convencionales, los micrometeorológicos (o de turbulencia atmosférica) y los de calidad del aire de la zona sur de la ciudad de Cuernavaca pueden obtenerse a través del portal del INEEL, o en la página <http://www2.ineel.mx/INEEL/inicio.php>. Esta información se proporciona cada hora (ver figura 4).

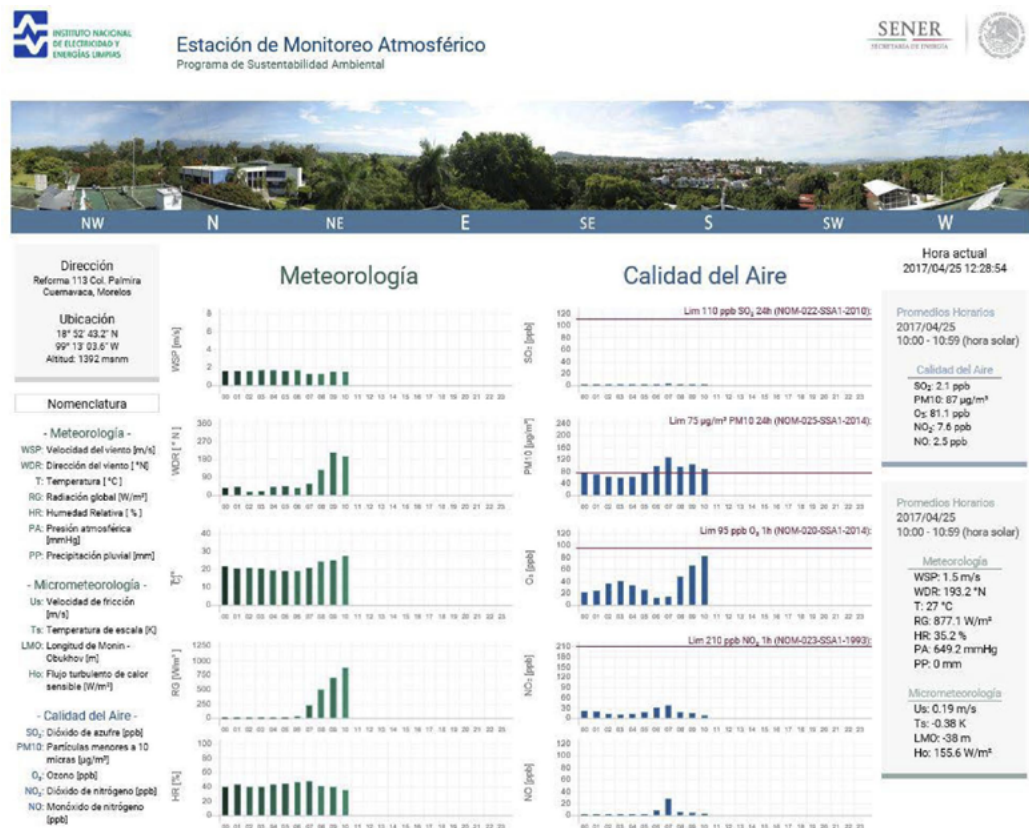


Figura 4. Página web de la estación de monitoreo atmosférico del INEEL.

Conclusiones

La contaminación atmosférica representó para México un costo ambiental de \$619,114 millones de pesos en el 2017, equivalente a 2.8% del Producto Interno Bruto (INEGI, 2018), lo que pone de manifiesto la necesidad de acciones que permitan conocer los niveles de contaminación, a fin de establecer medidas de mitigación.

La estación de monitoreo del INEEL proporciona un servicio de vigilancia a la ciudad de Cuernavaca al brindar información confiable y oportuna, que permite prevenir a la población de condiciones de calidad del aire y meteorológicas desfavorables. De esta manera, contribuye a subsanar las debilidades que en materia de cobertura geográfica y disponibilidad presenta la red de monitoreo de la calidad del aire del estado de Morelos. De hecho, las mediciones realizadas por la estación de monitoreo del INEEL revelan que, en algunas ocasiones, las concentraciones de ozono superan los niveles indicados por la normatividad vigente.

Cabe mencionar que datos como los de esta estación son fundamentales para la generación de políticas públicas para la protección de la salud de la población y el medio ambiente, como las que se plasman en los Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (PROAIRE), aplicables a los diversos municipios y estados del país (entre otros, Salamanca, León, Mexicali y Toluca), donde autoridades de los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal), la industria y la sociedad civil acuerdan compromisos sobre acciones para mejorar la calidad del aire, en períodos cortos, medianos y de largo plazo.

Referencias

- ❖ Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). (2017). Clasificación de los contaminantes del aire ambiente. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>.
- ❖ Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2014). PIB y Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2012 preliminar: Base 2008. Recuperado de: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/economicas/medio_ambiente/702825004151.pdf.
- ❖ Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2015). Cuéntame... Información por entidad. Recuperado de: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Mor/Poblacion/default.aspx?tema=ME&e=17>.
- ❖ Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2018, 30 de noviembre). Cuentas económicas y ecológicas de México 2017 [comunicado de prensa 631/18]. Recuperado de: http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/StmaCtaNal/CtasEcmcasEcolgicas2018_11.pdf.
- ❖ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2015). Informe Nacional de Calidad del Aire 2014, México. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/191420/2015_Informe_de_Calidad.pdf. Último acceso: 02/02/2017.
- ❖ Organización Mundial de la Salud (OMS). (2014a). 7 Millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica. Recuperado de: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>.

- ❖ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (2014b). Exposure to PM2.5 in metropolitan areas. Recuperado de: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EXP_PM2_5_FUA.
- ❖ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (2014c). OCDE Regional Statistics [base de datos]. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1787/region-data-en>.
- ❖ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). *Uso de indicadores de bienestar para el diseño de políticas públicas: Estado de Morelos, México*. Recuperado de: http://morelos.gob.mx/sites/default/files/PDFs/morelos_crc_spanish.pdf. Último acceso: 03/04/2017.
- ❖ Rivera C., Sánchez-Rojas F. y Andrade Robles M. A. (2016). *Contaminación atmosférica de la Zona Metropolitana del Valle de México y sus efectos en la salud*. Recuperado de: <http://dccd.cua.uam.mx/archivos/Madic/terminal/ContaminacionAtmosfericaZMVM.pdf>.
- ❖ Salcedo D., Castro T., Ruiz-Suárez L. G., García-Reynoso A., Torres-Jardón R., Torres-Jaramillo A., ... y Suárez-Lastra M. (2012). Study of the regional air quality south of Mexico City (Morelos state). *Science of the Total Environment*, 414, 417–432.
- ❖ Saldarriaga-Noreña H., López-Márquez R., Murillo-Tovar M., Hernández-Mena L., Ospina-Noreña E., Sánchez-Salidas E., Waliszewski S. y Montiel-Palma S. (2015). Analysis of PAHs Associated with Particulate Matter PM2.5 in Two Places at the City of Cuernavaca, Morelos, Mexico. *Atmosphere*, 6, 1259-1270.
- ❖ Salcido A., Saldaña R., Alvarado N. y Morales M. F. (1993). Estudio de la Micrometeorología del Valle de México (Primera Fase) [Informe Final IIE/15/5546/01/F]. Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- ❖ Sozzi R. y Favaron M. (1996). Sonic anemometry and thermometry: theoretical basis and data-processing software. *Environmental Software*, 11(4) 259-270.

Cómo citar este artículo

- ❖ Salcido, A., Celada Murillo, A. T., Tamayo Flores, G. A., Hernández Flores, N., Carreón Sierra, N., Martínez Flores, M. A. y Colín Aguilar, A. L., Solano Olivares, H. A., Salcido Merino, A. I. y Gaspar, J. A. (2019). Calidad del aire y monitoreo atmosférico. *Revista Digital Universitaria* (RDU). Vol. 20, núm. 3 mayo-junio. DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n3.a3> .

Recepción: 11/05/17 Aprobación: 12/02/19