

Muestreo pasivo de contaminantes atmosféricos. Uso en Cuba

Janet Canciano-Fernández ^(1*), Mirtha Reinoso-Valladares ⁽¹⁾, Yan Carlos Ordoñez-Sánchez ⁽¹⁾ y Anel Hernández-Garcés ⁽²⁾

⁽¹⁾Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas (CIIQ). Vía Blanca s/n entre Infanta y Palatino, Cerro, La Habana, Cuba
janet@ciiq.minem.cu; yancarlos@ciiq.minem.cu; mirtha@ciiq.minem.cu

⁽²⁾Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Departamento de Contaminación Atmosférica, Facultad de Ingeniería Química del Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE)
anel@quimica.cujae.edu.cu

Recibido: marzo 2017	Aceptado: julio 2017
----------------------	----------------------

Resumen

En el presente trabajo se realizó un análisis a partir de una revisión bibliográfica profunda sobre el estado actual del uso de muestreadores pasivos en la medición de la calidad del aire en Cuba, específicamente del tipo Radiello. Se recopiló documentación actualizada acerca de los procedimientos utilizados internacionalmente, el desarrollo que ha tenido desde sus inicios de implementación hasta la actualidad y la aplicación que se les ha dado a los mismos para el estudio, determinación, evaluación, modelación y simulación de los diferentes contaminantes atmosféricos, lo cual contribuye a la toma de decisiones en la política ambiental de la nación. Como resultado se obtuvo que el muestreo pasivo tradicional es ampliamente utilizado, aunque se muestra la superioridad del captador pasivo Radiello debido a su simetría radial, bajo costo de operación y la sencillez de los métodos analíticos involucrados.

Palabras claves: calidad del aire, captadores pasivos, contaminación atmosférica, Radiello.

Passive sampling of atmospheric contaminants. Use in Cuba

Abstract

In this paper an analysis was conducted from a deep literature review on the current status of passive samplers use for measuring air quality in Cuba, specifically the type Radiello. Updated documentation was collected on the procedures used internationally, the development that has had from its beginnings of implementation to the present and the application that have been given to them for the study, determination, evaluation, modeling and simulation of the different atmospheric contaminants, which contributes to the decision making in the nation's environmental policy. As a result it was obtained that traditional passive sampling is widely used, although the superiority of the Radiello passive pickup is shown because of its radial symmetry, low operating cost and the simplicity of the analytical methods involved.

Key words: air pollution, air quality, passive samplers, Radiello

*Ing. Janet Canciano Fernández, Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas, Cuba.
janet@inor.ciiq.minem.cu

1. Introducción

El reconocimiento de que la civilización a nivel mundial puede cambiar el ambiente es un concepto relativamente nuevo (UNEP, 1998; Botkin y Keller, 2000). El desarrollo del hombre y la industrialización de la sociedad trajeron consigo la generación de una gran cantidad de sustancias que modifican la composición natural del aire, entre los que destacan los óxidos de nitrógeno y de azufre, dióxido de carbono y monóxido de carbono llamados contaminantes primarios (Andrés, Ferrero, Mackler, 2000). La quema de combustibles fósiles para el transporte y la generación de energía, tanto a nivel industrial como doméstico, produce miles de toneladas de contaminantes que diariamente son emitidos a la atmósfera. El deterioro de la calidad del aire por la presencia de estas sustancias tiene un efecto negativo en la salud humana y el medio ambiente.

Es preciso señalar que si bien el término contaminación suele emplearse para referirse a la ocasionada por fuentes antrópicas (originada en actividades humanas) también existe contaminación natural originada en erupciones volcánicas, incendios forestales, descomposición de materiales, entre otras fuentes (Godish, 1991; Botkin y Keller, 2000; Barrenetxea et al., 2003).

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo. Una evaluación de 2013 realizada por la Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS determinó que la contaminación del aire exterior es carcinógena para el ser humano, y que las partículas del aire contaminado están estrechamente relacionadas con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. También se ha observado una relación entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de vías urinarias y vejiga (OMS 2016).

Los óxidos de azufre causan generalmente problemas en la zona superior del sistema respiratorio, tales como constricciones bronquiales e irritación en los ojos y garganta. El mayor perjuicio lo causan cuando junto con, la humedad y material particulado existente en el aire forman nieblas de ácido sulfúrico y sulfuroso (Andrés, Ferrero, Mackler, 2000).

Los óxidos de nitrógeno producen trastornos respiratorios en las personas sensibles, como asmáticos y niños de corta edad. Según un extenso estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud, el riesgo de las enfermedades respiratorias en niños aumenta un 20% cuando se exponen a un incremento de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre las condiciones normales durante varias semanas (Bower y Broughton, 1991).

Los materiales particulados producen daños al tracto respiratorio. Además, potencian los efectos de los otros contaminantes gaseosos (Andrés, Ferrero, Mackler, 2000).

Es por ello que desde hace algún tiempo se han desarrollado una gran variedad de métodos analíticos para determinar las concentraciones de contaminantes en el aire en dependencia del contaminante en específico que se va a medir (Pire, S. 2002). Existen varias metodologías de medición de la calidad del aire, entre las que destacan el muestreo activo, monitoreo automático y muestreo pasivo.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el estado actual del empleo de captadores pasivos en la medición de los principales contaminantes atmosféricos, evolución histórica de los mismos y perspectiva de desarrollo en Cuba.

2. Análisis y Discusión

2.1. Generalidades de los captadores pasivos

Los primeros muestreadores difusivos fueron descritos como dispositivos cualitativos (Brown 2000). En el año 1946 en los resúmenes del "Primer Simposio Internacional sobre Muestreo Difusivo", que tuvo lugar en Luxemburgo, definían a los captadores pasivos como: "Un difusor pasivo es un dispositivo capaz de captar muestras de contaminantes de gas o de vapor de la atmósfera, con una velocidad controlada por un proceso físico como la difusión a través de una capa de aire estático, o de permeación a través de una membrana, sin la intervención de un movimiento activo de aire a través del captador" (Cano, 2009).

Los primeros sistemas pasivos fueron desarrollados por Palmes, Gunnison, DiMattio y Tomczyk (1976), donde el diseño consistió en un tubo cilíndrico cerrado en uno de sus extremos, en donde se colocaba un cedazo impregnado con una disolución capaz de retener a la especie química cuya concentración se deseaba conocer. Aunque hoy en día existen otros diseños, el sistema mencionado sigue en uso (Vardoulakis et al, 2009).

El captador pasivo ha ganado un espacio importante en la medición de la calidad del aire convirtiéndose en una alternativa adecuada para estudios ambientales de largo alcance y largo plazo, así como para análisis previos y de diseño de redes de monitoreo ambiental. Pueden ser usados en investigaciones de línea base para la determinación de la concentración de los principales gases contaminantes del aire. La exposición por períodos prolongados da un promedio representativo de la zona en estudio, en planes de monitoreo de calidad del aire en actividades que no generen episodios o picos de contaminación agudos (de pocas horas) y/o necesitan los resultados en tiempo real, sino que sean fuente de emisión relativamente continua, como complemento a las mediciones continuas, de manera que se pueda reducir el número de estaciones automáticas y se logre evaluar una mayor área. En campañas de monitoreo para determinar la concentración a la que una población se encuentra expuesta a largo plazo, como herramienta para realizar un mapeo de la contaminación, evaluar la distribución espacial de las concentraciones y en la calibración y validación de los modelos de dispersión (Parada, 2011).

Entre las ventajas más importantes tiene la simplicidad, la facilidad de ubicación debido al reducido tamaño, bajo costo de operación (Namiesnik, Zabiegala, Kot-Wasik, Partyka y Wasik, 2005) y la sencillez de los métodos analíticos involucrados (Cape, 2009). No es necesario el movimiento activo de aire, por lo que no precisa comprar, mantener o calibrar una bomba de aire. Son menos susceptibles al daño y al robo. Son buenos indicadores de la concentración promedio de contaminación en periodos de semanas a meses (Brown, 2000).

Como desventaja, no están desarrollados para todos los contaminantes, sólo proporcionan valores promedios con resoluciones típicas semanales o mensuales; no tienen gran exactitud, sirven solo como valor referencial.

El laboratorio de Física de la Atmósfera de la Universidad de Cocody, Costa de Marfil en conjunto con el Laboratorio de Aerología de la Universidad de Toulouse, Francia y otras instituciones realizaron una investigación con el fin de conocer y caracterizar el ambiente de siete sitios remotos y representativos de los diversos ecosistemas presentes en África Occidental y Central (sábanas secas, sábanas húmedas y bosques), mediante mediciones a largo plazo de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, amoníaco y ácido nítrico utilizando captadores pasivos en el período de 1998 a 2007. Los captadores pasivos empleados en este trabajo fueron desarrollados por el Laboratorio de Aerología de Toulouse (Adon, 2010).

La universidad Tribhuvan, Nepal, realizó estudios de medición de Dióxido de nitrógeno en el ambiente, en la ciudad de Kathmandu, empleando captadores pasivos en varios puntos de muestreo, dividido en dos campañas, en el período lluvioso, durante los meses de julio-octubre de 2007 y otra en el período seco, de febrero a abril de 2008. Se determinaron en el laboratorio siguiendo el método modificado de Griess-Saltzman, obteniéndose buenos resultados en la caracterización del ambiente y en la aplicación de este tipo de muestreo (Maskey, 2012).

En los Emiratos Árabes Unidos también se realizaron investigaciones de determinación de dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono y amoníaco en el aire ambiente durante un año empleando el método de muestreo pasivo asociado con análisis por cromatografía de intercambio iónico y potenciométricos. Fueron monitoreados cinco puntos de muestreo representando la zona industrial, el tráfico, área comercial, residencial, y de fondo de la ciudad. Los muestreadores pasivos en este trabajo se mostraron no sólo precisos, sino también de bajo costo, baja demanda técnica, y convenientes para monitorear diferentes puntos (Salem, 2009).

La Universidad Nacional de Colombia en convenio con el área metropolitana del Valle de Aburrá, realizó estudios con el objetivo de fortalecer el monitoreo de la calidad del aire en dicha ciudad, mediante muestreadores pasivos de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono, compuestos orgánicos volátiles, específicamente benceno, tolueno, y xilenos (BTX), entre otras determinaciones que se realizaron. Se monitoreó por un año en quince puntos del área metropolitana. Se logró identificar zonas críticas y evaluar de manera sencilla las tendencias de contaminación atmosférica (Sánchez, 2008).

En Valencia, España, el Centro Superior de Investigaciones en Salud Pública, en conjunto con otras entidades involucradas desarrollaron un estudio de Variación espacial de la exposición a dióxido de nitrógeno (NO₂) en la ciudad de Valencia y su relación con la privación socioeconómica y la edad. Los niveles de NO₂ se midieron en 100 puntos del área de estudio, mediante captadores pasivos, en tres campañas entre 2002 y 2004. El método utilizado permitió obtener mapas de contaminación y describir la relación entre niveles de NO₂ y características sociodemográficas (Estarlich, 2012).

Con los ejemplos antes expuestos queda demostrado el protagonismo que ha ido ganando el captador pasivo en el campo de la medición de contaminantes atmosféricos, siendo una herramienta útil y confiable.

2.2 Fundamentos básicos de los captadores pasivos

Los dispositivos de muestreo pasivo, generalmente tienen forma tubular o de disco, captan un contaminante específico mediante la adsorción y/o absorción en un sustrato químico determinado. Después de su exposición, que puede variar desde unas horas hasta un mes, la muestra es llevada al laboratorio, donde ocurre la desorción del contaminante y el posterior análisis cuantitativo. (Cano, 2009)

El principio de funcionamiento de los muestreadores pasivos se basa en la difusión, donde un contaminante gaseoso atmosférico pasa a través del muestreador y queda retenido en él por la sustancia captadora, siendo la concentración retenida dependiente del tiempo de muestreo y de la eficiencia de captación del gas en el muestreador, según la 1ra Ley de Fick. (Cano, 2009; Plaisance, Sagnier, Saison, Galloo, Guillermo, 2002)

Se han desarrollado numerosos tipos de muestreadores para el control de la calidad del aire basados en los tubos Palmes originales (Figura 1). En cada caso el área o la longitud de la trayectoria de difusión se modifica para lograr el objetivo de muestreo deseado. En particular, se utilizan muestreadores tubulares o de disco. Los muestreadores de tipo tubo generalmente son cilíndricos, huecos y orientados verticalmente. Una de las tapas, en el extremo superior tiene una malla o rejilla de acero inoxidable o un papel de filtro impregnado con el absorbente que recoge el gas de interés. El extremo inferior del tubo se deja abierto o se recubre con una membrana.

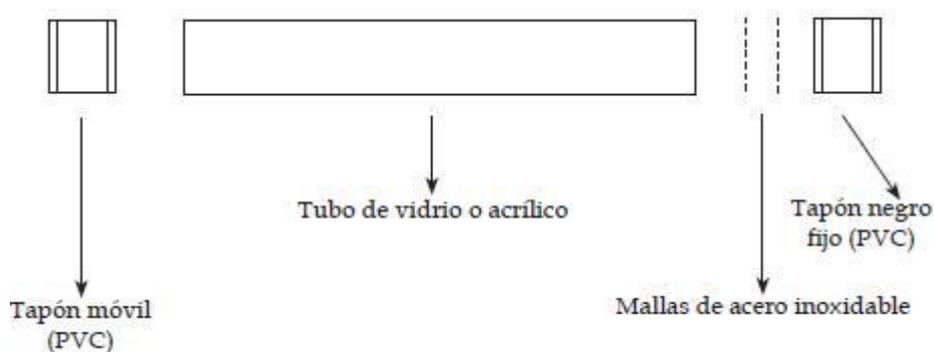


Figura 1. Esquema de un captador pasivo de NO₂

El funcionamiento del captador pasivo depende críticamente de la selección y uso del absorbente adecuado, el cual debe tener una eficiencia de absorción elevada para el contaminante que se quiera medir (Cano, 2009).

El éxito en el uso de los muestreadores difusivos en el aire ambiente requiere de un entendimiento de los principios de operación y del análisis de los factores ambientales que pueden afectar la efectividad del captador (Brown, 2000). Entre ellos destacan la velocidad del aire, variaciones bruscas de la concentración de contaminantes y la temperatura. El más importante de todos ellos es la temperatura y la presión, las cuales

afectan directamente el coeficiente de difusión y pueden afectar también la capacidad de absorción del absorbente. Por otro lado, la humedad también influye afectando la capacidad del absorbente (Brown, 2002).

2.3. Captadores pasivos RADIELLO

Los captadores pasivos tradicionales presentan una simetría axial que generalmente tiene pobre sensibilidad y reproducibilidad, limitada por su geometría. Los valores de la velocidad de absorción son generalmente bajos, y varían dependiendo de las condiciones ambientales.

Según el Manual Radiello, sus captadores pasivos presentan una simetría radial, con una tasa de absorción alta, ya que esta varía exponencialmente con la relación superficie de difusión y longitud de la trayectoria de difusión. Cuenta con un cuerpo difusor repelente al agua, por lo que es capaz de funcionar bajo condiciones meteorológicas adversas. Poseen bajos límites de detección y altas capacidades de adsorción que permite que el tiempo de exposición varíe de 15 minutos a 30 días. Permiten la desorción térmica y los análisis por Cromatografía de gases y espectrometría de masas, ampliando la gama de contaminantes gaseosos que pueden ser cuantificados.

El muestreador difusivo Radiello (Figura 2) funciona como una caja cerrada, generalmente cilíndrica, con un cuerpo difusor denominado superficie difusiva, que resulta transparente para las moléculas gaseosas que lo atraviesan, para quedar retenidas en el cartucho adsorbente, denominado superficie de adsorción. Vienen impregnados y listos para usar. Cada contaminante tiene un cartucho adsorbente específico, así como un cuerpo difusor. Los análisis de laboratorio se realizan según las técnicas convencionales o los procedimientos descritos en el "Manual Radiello".



Fig. 2. Captador pasivo Radiello

Uso de captadores pasivos en Cuba

Desde la década del '70, en Cuba se realizan acciones de prevención y control de la contaminación del aire. Con vista al perfeccionamiento de ese trabajo, surge la iniciativa de integrar, por vía de proyectos, las Unidades de Observación, Diagnóstico y Pronóstico de la Contaminación Atmosférica a estudios que garantizan las acciones de prevención y control. Se han cuantificado en pequeña escala los óxidos de nitrógeno según la técnica establecida por el Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera (CECONT) del Instituto de Meteorología (INSMET), basado en una modificación de la reacción de Griess-Saltzman. De manera general estos estudios han estado encaminados a vincular la calidad de aire con su influencia sobre la salud humana, teniendo en cuenta que, en el mundo, las enfermedades con una alta tasa de mortalidad e incidencia tales como: el cáncer de pulmón, las enfermedades cardiovasculares o respiratorias están estrechamente relacionadas con los efectos dañinos de la contaminación atmosférica. También el Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET) realiza estudios de diagnóstico ambiental en las áreas de interés con un analizador automático, Multiwarn II, basado en un método electroquímico. (Sosa-Rodríguez, 2010).

El Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), desarrolló un estudio de determinación de concentración de dióxido de nitrógeno en la atmósfera de la Ciudad de la Habana mediante captadores pasivos tradicionales tipo Palmes. En dicha investigación, se evaluó la posible relación que existe entre el volumen de tráfico y la concentración de contaminantes en algunos puntos de muestreo durante un mes, como preámbulo a

un trabajo más ampliado de los demás factores que influyen en la calidad del aire. Se emplearon captadores pasivos impregnados con trietanolamina. El estudio resultó ser muy efectivo, obteniéndose resultados congruentes con el nivel de tráfico en cada uno de los puntos de muestreo (Regueira, 2009).

La Universidad Central de Las Villas “Martha Abreu” realizó una cuantificación del dióxido de nitrógeno en una zona de la ciudad de Santa Clara con el uso de captadores pasivos Radiello durante el año 2010, con el objetivo de conocer los niveles de dicho contaminante en los dos períodos estacionales, invierno y verano. Los captadores se analizaron mediante la técnica de espectrofotometría ultravioleta visible UV-VIS (Sosa-Rodríguez, 2011). También realizó la validación parcial de las técnicas analíticas por espectrofotometría ultravioleta visible UV-VIS para la cuantificación del dióxido de nitrógeno y ozono troposférico con estos captadores (Sosa-Rodríguez, 2010).

El Instituto de Meteorología también ha desarrollado investigaciones con captadores pasivos Radiello, obteniendo buenos resultados. En el proyecto de “Contribución a la gestión de la calidad del aire en Cuba: Gases contaminantes y Componentes químicos de la lluvia y su relación con las fuentes de emisión y condiciones meteorológicas” se realizó una campaña de monitoreo donde se cuantificaron las inmisiones de NO₂ y SO₂ en varios puntos de La Habana durante el período diciembre 2013 a mayo 2014. Estos resultados fueron la base para determinar la ubicación de estaciones fijas automáticas en el Municipio de San Miguel del Padrón y en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas para el monitoreo permanente de la contaminación atmosférica en La Habana (López, 2014)

Este proyecto sirvió de base para la posterior cuantificación de otros contaminantes criterio de la calidad del aire en La Habana, con la utilización de muestreadores pasivos Radiello, ampliándose la determinación además a otros tres contaminantes importantes: sulfuro de hidrógeno, ozono y amoníaco.

El Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Departamento de Contaminación Atmosférica, Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, en colaboración con el Instituto de Meteorología, realizó determinaciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en áreas de la de la universidad. El monitoreo con muestreadores Radiello se llevó a cabo en el período diciembre 2013 a mayo 2014. El pasivo se expuso por quincenas y el análisis químico se realizó por espectrofotometría ultravioleta visible para el caso del dióxido de nitrógeno y por cromatografía de intercambio iónico para el dióxido de azufre, encontrándose que la concentración determinada para los contaminantes es directamente proporcional a la del ambiente (Barcelona et al, 2015).

El Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas desarrolla estudios medioambientales, dirigidos fundamentalmente a servicios de monitoreo de contaminación de aire por fuentes fijas y de aguas residuales, que ofrece a diversas entidades de nuestro país. La introducción de este tipo de captador pasivo Radiello resultaría en la práctica, un instrumento valioso en la validación de las metodologías aplicadas para la evaluación de la calidad del aire.

Conclusiones

Este trabajo proporciona una revisión del estado actual del monitoreo pasivo a nivel internacional y en Cuba. Se evidencia en la bibliografía consultada que los estudios realizados con este tipo de muestreador, arrojan buenos resultados en cuanto al monitoreo de la concentración de contaminantes atmosféricos específicos, permitiendo la caracterización de diversos ambientes expuestos a determinadas cargas de contaminantes. Se muestra el avance que ha tenido el captador pasivo, exponiéndose las ventajas que presenta el captador pasivo Radiello con respecto a los tradicionales tubos tipo Palmes, debido a su simetría radial, bajo costo de operación y la sencillez de los métodos analíticos involucrados. Entre los resultados más significativos del uso del captador pasivo Radiello en Cuba se muestran los estudios realizados por la Universidad Central de “Las Villas” Martha Abreu, y el Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera del Instituto de Meteorología.

Referencias

- Adon, M et al, 2010. Long term measurements of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ammonia, nitric acid and ozone in Africa using passive samplers. *Atmospheric Chemistry and Physics*. www.atmos-chem-phys.net/10/7467/2010/. Visitado: 31 de octubre de 2016.
- Andres D. A., Ferrero E. J., Mackler C. E. 2000. Monitoreo de contaminantes del aire en la ciudad de Rosario-Argentina. *Informacion Tecnologica*, Vol.8 No 6 – 1997. ISSN 0716-8757.
- Barcelona Cazanave, L, et al. 2015. Calidad del aire en la Ciudad Universitaria José Antonio Echeverría por partículas e inmisiones de NO₂ y SO₂. *UCE Ciencia. Revista de postgrado*, [S.l.], v. 3, n. 3, oct. 2015. ISSN 2306-3556. Disponible en: <http://www.uceciencia.edu.do/index.php/OJS/article/view/58>. Fecha de acceso: 31 Oct. 2016
- Barrenetxea C, Serrano A, Delgado M, Vidal f, Alfayate Blanco J. 2003. Contaminación ambiental. Una visión desde la química. International Thomson Editores Spain Parainfo S.A., Madrid, España.
- Botkin D, Keller E. 2000. *Environmental Science. Earth as a Living Planet*. 3a edición. Ed. John Wiley & Sons Inc, USA.
- Bower J y G, Broughton, 1991. Urban NO₂ Concentrations in the U.K. in 1987. *Atmospheric Environment*: 25, 267-283
- Brown, R.H., 2000. Monitoring the ambient environment with diffusive samplers: theory and practical considerations. *Journal of Environmental Monitoring*, 2(1): 1-9. Visitado: 21 de octubre de 2016.
- Brown, R.H., 2002. General principles of difussive sampling. In: E. De Saeger (Editor), *The proceedings of the International Conference Measuring Air Pollutants by Diffusive Sampling held in Montpellier*, 26-28 September 2001. European Communities.
- Cano, V, Delgado Saborit, J M. 2009. Medida de Contaminantes Atmosféricos: Métodos Pasivos frente a Métodos Automáticos. Universidad Jaume I de Castellón Castellón Departamento de Química Inorgánica Inorgánica y Orgánica. www.upv.es/upl/U0455041.pdf
- Cape, J. N. 2009. The use of passive diffusion tubes for measuring concentrations of nitrogen dioxide in air. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 39, 289-310.
- Estarlich, Marisa et al. 2012. Variación espacial de la exposición a contaminación atmosférica en la ciudad de Valencia y su relación con un índice de privación. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.2012. Visitado: 2 de diciembre de 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2012.05.010>
- Godish T. 1991. *Air Quality*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, second edition, 421 pp.
- López R, 2014. El portal de Medio Ambiente en Cuba. Disponible: www.medioambiente.cu [Consultado 17 noviembre 2015]

- Maskey, R et al. 2012. Passive Sampling of Ambient Nitrogen Dioxide Using Local Tubes. *Journal of Environmental Protection* Vol. 3 No. 2 (2012) , Article ID: 17444 , 10 pages DOI:10.4236/jep.2012.32022 Visitado: 13 de septiembre de 2016.
- Namiesnik, J; Zabiegala, B; Kot-Wasik, A; Partyka, M. & Wasik, A. 2005. Passive sampling and/or extraction techniques in environmental analysis: a review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 381, 279-301.
- Organización Mundial de la Salud, Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Nota descriptiva Actualización de septiembre de 2016 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>. Visitado: 25 de octubre de 2016.
- Pire, S. F, Zumalacárregui, L. 2002. Combustión y Contaminación atmosférica. Monografía. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: La Habana, Cuba
- Plaisance, H; Sagnier, J; Saison, J. Y; Galloo, J. C. & Guillermo, R. 2002. Performances and Application of Passive Sampling Method for the Simultaneous Determination of Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide in Ambient Air. *Environmental Monitoring and Assessment*. 79, 301-315.
- Regueira, M. et al, 2009. Determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno en la atmósfera de Ciudad de La Habana mediante captadores pasivos. *Revista CENIC. Ciencias Químicas* [en línea] 2009, 40 (Enero-Abril): [Fecha de consulta: 26 de octubre de 2016] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181621659004>> ISSN 1015-8553
- Radiello Official Website Disponible: www.radiello.com/english/no2_en.htm2011 “Manual Radiello” [Consultado 8 septiembre 2015]
- Salem, A. A., Soliman, A. A., & El-Haty, I. A. 2009. Determination of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, ozone, and ammonia in ambient air using the passive sampling method associated with ion chromatographic and potentiometric analyses. *Air Quality, Atmosphere, & Health*, 2(3), 133–145. <http://doi.org/10.1007/s11869-009-0040-4>
- Sosa Rodríguez, D, et al. 2010. Validación de las técnicas analíticas y de los métodos de medida en el laboratorio para la cuantificación de dióxido de nitrógeno y ozono troposférico. 2010. Tesis Doctoral. Universidad Central" Marta Abreu" de las Villas.
- Sosa-Rodríguez, D, et al. 2011. Cuantificación de dióxido de nitrógeno con captadores pasivos tipo Radiello *Revista Cubana de Química* [en línea] 2011, XXIII (): [Fecha de consulta: 31 de octubre de 2016] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543723010>> ISSN 0258-5995
- UNEP, United Nations Environment Programme 1998. Protecting our Plañet. Securing our Future. Linkages among global environmental issues and human needs. US National Administration and Space Administration, the World Bank.
- Vardoulakis, S; Lumbreras, J. & Solazzo, E. 2009. Comparativeevaluation of nitrogen oxides and ozone passive diffusion tubes for exposure studies. *Atmospheric Environment*, 43, 2509-2517.
- Zapata Sánchez, Carmen Elena et al. 2009. Fortalecimiento de la red de monitoreo de calidad de aire en el valle de aburra con medidores pasivos. *Gestión y Ambiente*; Vol. 11, núm. 1 (2008); 67-84 *Gestión y Ambiente*; Vol. 11, núm. 1 (2008); 67-84 2357-5905 0124-177X. [Citado 2016 Nov 4]

Acercas de los autores:

Janet Canciano-Fernández. Ingeniera Química, graduada en el año 2006 de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría. Se desempeña como Especialista del CITMA en el Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas. Ha participado en 5 eventos científicos nacionales e internacionales y es coautora de artículos publicados en revistas nacionales.

Mirtha Reynosa-Valladares. Graduada de Ingeniera Química en el 2007. Master en Ingeniería Ambiental desde el año 2012. Categoría Científica Investigador Agregado, se desempeña como Investigadora en el Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas donde ha dirigido proyectos de investigación que abordan la temática relacionada con la contaminación del aire. Ha participado en 27 eventos científicos nacionales e internacionales. Posee 9 publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Tutora de 5 Trabajos de Diploma para optar por el Título de Ingeniería Química. Pertenece al Grupo de Contaminación Atmosférica de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría.

Yan Carlos Ordóñez-Sánchez. Ingeniero Químico, graduado en el 2014 de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría. Se desempeña como Especialista del CITMA en el Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas, donde trabaja la investigación encaminada a dos líneas: contaminación atmosférica y fertilizantes químicos. Ha participado en 7 eventos científicos nacionales e internacionales y es coautor de varios artículos publicados en revistas nacionales relacionado con el tema de la ingeniería ambiental.

Anel Hernández-Garces. Dr. en Ingeniería Química y Ambiental y Profesor de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría. Trabaja en el grupo de contaminación atmosférica del Centro de Ingeniería de Procesos de la Facultad de Ingeniería Química. Es autor de más de 20 artículos publicados en revistas internacionales.