
Evaluación del aire en el ambiente interior del laboratorio de Cromatografía de la Universidad de Pamplona-Norte de Santander, Colombia

*Alfonso Quijano-Parra**
*Mónica Quijano-Vargas***

Resumen:

Conocer el estado de la calidad del aire interior es fundamental para determinar las zonas en las cuales hay mayor potencial de afectación de la salud humana. La exposición a partículas en suspensión en el aire (PM) es uno de los riesgos medioambientales más importantes que enfrentan las personas. La exposición a PM_{2,5} (concentración máscica de material particulado con diámetro aerodinámico <2,5 µm) es considerada entre los diez principales riesgos que conducen a una expectativa de vida más baja a nivel mundial. La mayor parte de la exposición del PM se produce en el interior de una vivienda (oficina), porque aquí es donde la gente pasa una gran parte de sus vidas. Las personas que permanecen en

* Químico; MSc Catálisis Heterogénea; PhD Catálisis Enzimática. Profesor Titular Universidad de Pamplona. Director grupo de investigación Química de la Atmósfera Unipamplona. Editor de la revista Bistua. Director del Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Pamplona, Colombia. Email: alfonsoquijanoparra@unipamplona.edu.co

** Químico; Especialista en Bioquímica. Investigadora Grupo de investigación de Química de la Atmósfera Unipamplona. Profesora Universidad de Pamplona. Email: monica.quijano@unipamplona.edu.co

sitios urbanos abiertos al público y ubicados en sectores donde el flujo vehicular es muy alto, están expuestas a niveles elevados de contaminantes atmosféricos, especialmente en zonas muy contaminadas y en carreteras congestionadas. Por primera vez, en Colombia se estudia la calidad del aire al interior de un sitio de trabajo influenciado por la contaminación atmosférica del aire exterior, mediante el monitoreo del $PM_{2.5}$ y se determinan los HAPs y metales presentes en el aire interior del laboratorio de cromatografía de la universidad de Pamplona.

Palabras clave: AIRE INTERIOR - $PM_{2.5}$ - HIDROCARBUROS AROMÁTICOS - POLICÍCLICOS - METALES - ULTRASONIDO - PAMPLONA - COLOMBIA.

Abstract:

Knowing the state of the indoor air quality is essential to determine the areas in which there is greater potential for affecting human health. Exposure to airborne particles (PM) is one of the most important environmental risks faced by people. Exposure to $PM_{2.5}$ (mass concentration of particulate material with aerodynamic diameter $<2.5 \mu m$) is considered among the ten main risks that lead to a lower life expectancy worldwide. Most PM exposure occurs inside a home (office) because this is where people spend a large part of their lives. People who remain in urban areas open to the public and located in sectors where traffic flow is very high, are exposed to high levels of air pollutants, especially in heavily polluted areas and on congested roads. For the first time in Colombia, air quality is studied inside a work site influenced by atmospheric air pollution, by monitoring $PM_{2.5}$ and determining the HAPs and metals present in the indoor air of the chromatography laboratory from the University of Pamplona.

Keywords: INDOOR AIR - $PM_{2.5}$ - AROMATIC HYDROCARBONS POLYCYCLIC - METAL - ULTRASOUND - PAMPLONA - COLOMBIA.

Recibido: 6 de julio de 2018

Aceptado: 9 de octubre de 2018

Introducción

La contaminación del aire es un peligro ambiental que influye en la salud y en el bienestar de las personas. Su deterioro se relaciona con los efectos de las emisiones de contaminantes a la atmósfera, provenientes de fuentes de diferentes clases y orígenes, las cuales son causadas por la actividad humana o natural.

La calidad del aire se determina por su composición, donde encontramos una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión (material particulado) y los gases (Amador, et al, 2011). Se ha demostrado que la exposición a partículas suspendidas (PM) en el aire es uno de los riesgos ambientales más significativos que la gente enfrenta. El PM es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados y es considerado como uno de los contaminantes más peligrosos para la salud (EEA, 2008) debido a su conformación de metales pesados (Muránszky et al.2011; Quijano Parra et al, 2010) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) que aumentan las lesiones cardiopulmonares en los seres humanos (Shah, et al, 2003) y ha sido clasificado por la IARC (2010), como carcinógeno para los humanos (Grupo 1). En los últimos años numerosos estudios epidemiológicos han concluido que la contaminación del aire y en particular la materia particulada en el aire causa efectos adversos sobre la salud humana, incluidas las enfermedades respiratorias (Adam, et al., 2015; Laumbach y Kipen, 2012).

La calidad del aire urbano está recibiendo cada vez más atención como resultado de la clasificación de la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC), de la contaminación del aire exterior-interior como carcinógeno para los humanos (Grupo 1) (Straif et al., 2013). La combustión de combustibles fósiles, contribuye significativamente con la contaminación atmosférica al menos en los países desarrollados. Los contaminantes del aire contribuyen a varias enfermedades tales como las secreciones nasales, fiebre, tos, asma, picazón en la piel, ardor en los ojos, dolores de cabeza, náuseas, mareos,

cánceres, e incluso la muerte (Daisey, et al., 2003), varias enfermedades cardiovasculares (Franklin et al., 2015; Shah, et al., 2013; Anderson, et al., 2012;) y efectos carcinogénicos (Loomis, et al., 2013; Pope, et al., 2011; Turner, et al., 2011) están asociadas con la contaminación atmosférica. La población urbana está expuesta a contaminantes relacionados con el tráfico vehicular (OMS 2005.; McQuaid y Chen, 2012).

La contaminación del aire interior proviene de la combustión de combustibles fósiles; en general, los contaminantes del aire que se encuentran en el aire interior se clasifican en compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos inorgánicos gaseosos (CIG) y material particulado (PM) (Shi, et al., 2017; Soreanu, et al., 2013). El PM es responsable de generar complicaciones en el sistema circulatorio, respiratorio, morbilidad, tumores, autismo y ser la segunda causa de cáncer de pulmón (Pandey, et al., 2015; Volk, et al., 2013); además de causar más de 2 millones de muertes al año en todo el mundo (Silva, et al., 2013). Hay varias clasificaciones de PM en función de su diámetro aerodinámico: PM_{10} (2,5-10 micras); $PM_{2.5}$ (1-2,5 micras); PM_1 (< 1 micra) (Gawrońska & Bakera, 2015); sin embargo, en los valores guía recomendados por la OMS, se tiene en cuenta al PM_{10} y $PM_{2.5}$, como los grupos principales debido a los impactos en la salud y ambientales; la exposición a $PM_{2.5}$ es considerada entre los diez principales riesgos que conducen a una menor esperanza de vida en todo el mundo (Forouzanfar, et al., 2015). La mayor parte de la exposición a PM se produce en interiores, porque es aquí donde las personas pasan una gran parte de sus vidas (Brasche & Bischof, 2005; Leech, et al., 2002).

Las partículas interiores son una mezcla de partículas ambientales que se han infiltrado en el interior, partículas emitidas en el interior y partículas formadas en el interior a través de reacciones de precursores en fase gaseosa, procedentes de fuentes interiores y exteriores; en un ambiente interior, actividades como cocinar o la combustión interna (Wallace, 2006); fumar (Schripp, et al. 2013; Waring y Siegel, 2007); procesos secundarios de formación (Waring, 2014) y la resuspensión del polvo, son las fuentes más importantes de aerosoles. Debido a estas diferentes

fuentes, las partículas en el aire abarcan un rango de diámetros desde unos pocos nanómetros hasta decenas de micrómetros; el $PM_{2.5}$ está asociado con la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) (Perrino et al., 2009), con compuestos químicos como Iones Potasio, Sodio, Ion amonio, metales como el hierro, aluminio, calcio, sodio, potasio, magnesio, cromo, manganeso y plomo (Hanedar et al, 2011). Los niveles de contaminación del aire en interiores pueden ser más de diez veces superiores a los del aire libre, y en el caso de algunas sustancias dañinas, su concentración puede incluso superar las normas permisibles hasta en 100 veces; inclusive las concentraciones de algunas sustancias químicas cancerígenas en los espacios interiores pueden ser entre 5 e incluso hasta 70 veces más altos que en el exterior (Chithra & Nagendra, 2013). Las personas que viven en áreas urbanas pasan hasta 85-90% de su tiempo en el interior de los hogares y sitios de trabajo, a menudo sin darse cuenta de que pueden estar continuamente expuestas a la contaminación del aire. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la contaminación del aire interior ha sido clasificada entre los cinco principales riesgos para la salud pública (Soreanu, et al., 2013). La calidad del aire interior es un tema importante porque las personas inhalan 6-10 L de aire por minuto, (Wood, et al., 2002).

El objetivo de esta investigación es determinar por primera vez en Colombia la presencia de metales e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en el ambiente del aire interior del laboratorio de cromatografía de la universidad de Pamplona presentes en los filtros del material particulado $PM_{2.5}$

Materiales y métodos

Muestreo

El monitoreo del $PM_{2.5}$ se realizó con un equipo SAS Air Sampler. Se utilizaron filtros de teflón de 47 mm de diámetro con un tamaño de poro de 2 micras para el $PM_{2.5}$

Sitio de muestreo y colección de muestras

El monitoreo del material particulado fracción respirable $PM_{2.5}$, se realizó en el laboratorio de química de la atmósfera (sección de cromatografía) de la Universidad de Pamplona en la localidad de Pamplona, Norte de Santander, ubicada en la cordillera Oriental de Colombia, con coordenadas geográficas $72^{\circ} 25$ de longitud Oeste y $7^{\circ} 20$ de latitud Norte, a una altitud de 2100 msnm y una presión atmosférica de 542mm de Hg. La temperatura media es de $14.4^{\circ}C$, con una precipitación anual 921 mm. Las muestras ambientales ($PM_{2.5}$) obtenidas con el SAS Air Sampler en muestreos de 8 horas durante seis días, se realizaron durante el mes de Abril del 2018. Se seleccionó el laboratorio de cromatografía como sitio de muestreo del material particulado por sus características particulares, ya que está ubicado cerca de una vía nacional, que presenta un alto flujo vehicular y gran afluencia de usuarios (estudiantes) diariamente. En este sector no existen industrias contaminantes y las únicas fuentes de contaminación atmosférica son las móviles a gasolina y diésel que circulan por este sitio. Por consiguiente, el análisis fisicoquímico de los filtros de $PM_{2.5}$ nos dará una idea de la magnitud de la contaminación atmosférica del aire al interior del laboratorio, producida básicamente por la combustión vehicular externa.

Análisis de Metales

Para la extracción y el análisis de los elementos metálicos recolectados en el laboratorio de cromatografía, se utilizó el método EPA IO3.2 (1999), que establece una digestión del 10% del área del filtro. El material de vidrio usado para este análisis de metales se lavó cuidadosamente con jabón, y posteriormente se purgó con una solución de ácido sulfúrico y dicromato de potasio diluidos en un litro de agua desionizada para eliminar residuos de metales.

Preparación de la muestra

Los filtros de $PM_{2.5}$ de las muestras recolectadas del material particulado se introdujeron en un erlenmeyer de 250 mL y se

adicionaron 100 mL de ácido clorhídrico concentrado al 37%, el erlenmeyer se cubrió con un vidrio de reloj y se calentó durante 6 horas, hasta reducir el volumen a 25 mL. Se removió la solución anterior y se trasvaso a un beaker de 100 mL, se adicionó 10 mL de agua destilada al erlenmeyer para extraer los sólidos presentes, se calentó durante 15 minutos; el procedimiento de extraer los sólidos se repitió 2 veces. Se combinaron los extractos y se llevaron hasta casi sequedad, posteriormente se adicionaron 10 mL de ácido clorhídrico concentrado al 37% y 10 gotas de ácido nítrico, se transfirieron a un balón aforado de 25 mL. Este mismo procedimiento se realizó para el blanco. Se filtró la muestra y el blanco para eliminar cualquier material presente.

Detección de Metales

Para la detección de los metales se utilizó un equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) Analyst 7000. Para realizar la curva de calibración se usaron patrones Analíticos de Merck.

Extracción de la materia orgánica de los filtros de Material Particulado PM_{2.5}

La materia orgánica de los filtros de material particulado PM_{2.5} (HAPs) se extrajo por ultrasonido en un baño ultrasónico (Branson, 1510, modelo 1510R-MT); se utilizó como solvente de extracción el diclorometano, el volumen utilizado de solvente fue 200 mL. Los filtros de PM_{2.5} provenientes del monitoreo semanal se colocaron en un vaso de precipitado inicialmente con 50 mL del solvente, por un periodo de 15 minutos a una temperatura de 23°C-24°C, terminado este tiempo se depositaron los 50 mL en un vaso de precipitado de 250 mL; de nuevo se colocaron 50 mL del solvente y se repitió la extracción hasta completar los 200 mL del solvente. Un procedimiento común para el análisis de los HAPs consiste en la extracción seguido por el análisis instrumental, como la cromatografía de gases o la cromatografía líquida.

Concentración de la materia orgánica

Una vez extraída la materia orgánica de los filtros de PM_{2,5}, se concentró en un rota-evaporador hasta aproximadamente 5 mL, obteniéndose de esta manera el extracto global que se utiliza para la determinación de los HAPs por cromatografía de gases. Las muestras de HAPs se secaron con sulfato de sodio (Na₂SO₄), con el fin de eliminar el agua residual y preparar la muestra para el análisis cromatográfico. Se guardaron en frascos ámbar, manteniéndolas refrigeradas a 4 °C.

Identificación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

Para identificar los HAPs presentes en el PM_{2,5} del aire al interior del laboratorio de cromatografía de la universidad de Pamplona, se utilizó un equipo de Cromatografía de Gases marca Agilent Technologies 6890A Plus, Series II Hewlet-Packard Plus con detector FID (Flame Ionization Detector). La columna utilizada fue Restek Rxi-17 Sil MS, 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro, 0,25 µm de diámetro interno (*silarylene* similar a 50% *phenyl*/50% *dimethyl polysiloxane*). Para la identificación de los HAPs se utilizó el patrón de 18 hidrocarburos de Restek (catálogo # 31841 EPA Method 8310 PAH Mixture). La identificación cualitativa de los HAPs presentes en el extracto global se realizó de acuerdo a las siguientes condiciones: temperatura del inyector 250 °C, detector FID a 320 °C, mezcla (mL/min): aire 400, H₂ 30, N₂ 45. Se inyectó 1 µl, modo splitless a 320 °C. Condiciones del horno: Temperatura inicial 65 °C por 0,5 min y se incrementa de la siguiente manera: 15 °C/min hasta 200 °C, 4 °C/min hasta 330 °C durante 15 min. Tiempo de análisis por muestra 53,33 min. Gas de arrastre Helio, flujo 20 mL/min.

Análisis de Resultados y Discusión

PM

El monitoreo del PM_{2,5} se realizó durante 8 horas diarias (tiempo de trabajo del laboratorio) y la norma establece que se deben monitorear 24 horas diarias; por esta razón monitoreamos

una semana seguida el $PM_{2.5}$. Por lo tanto, se pudo recoger una muestra de PM suficiente para el análisis fisicoquímico de los filtros; teniendo en cuenta estas horas de muestreo, la concentración diaria para el $PM_{2.5}$ nos daría $10 \mu\text{gm}^{-3}$. Es necesario señalar que estos valores son una primera aproximación de la concentración diaria de $PM_{2.5}$ del aire al interior del laboratorio de cromatografía y un valor real nos daría un monitoreo más prolongado mínimo de seis meses seguidos cada tres días. A largo plazo la exposición al PM puede contribuir a un empeoramiento de la fibrosis miocárdica, acumulativamente este factor podría tener efectos perjudiciales sinérgicos en la función del corazón (Sha, et al, 2013); la toxicidad, la nocividad y el impacto negativo del PM en la salud se deben al alto contenido de metales pesados y su biodisponibilidad y facilidad de acumulación en las células de organismos vivos. El PM encontrado en el aire interior, además de entrar desde el exterior, también se genera en el interior mediante el uso de quemadores domésticos, calentadores, chimeneas etc. Después de la emisión, el PM puede estar presente en el aire por un período que varía de muchas horas a muchas semanas y puede permanecer en el lugar de emisión y también transportarse a grandes distancias (Paulino, et al., 2010).

Metales

Los metales encontrados en el $PM_{2.5}$ al interior del laboratorio de cromatografía de la Universidad de Pamplona son: K, Zn, Fe, Pb, Cr, Mn, Ni; estos mismos metales se encontraron en el aire exterior en Pamplona (Quijano, et al, 2010). El Cr, Mn, Ni provienen de las emisiones del diésel; las fuentes móviles contribuyen con el nivel de mutágenos en el aire y aumentan las lesiones pulmonares (Riger, et al, 2011). Varios metales pesados han sido relacionados con el incremento de la actividad mutagénica en diversas pruebas de mutagenicidad (Muller, 2000). Esto indica que la mayoría de los mutágenos que llegan a la población en las partículas del aire pueden dañar su ADN. Los metales HAPs encontrados en el aire exterior de Pamplona, provienen exclusivamente de la combustión de las fuentes móviles que circulan con diésel y gasolina. Los resultados de los metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos

(HAPs) encontrados en el material particulado al interior del aire del laboratorio de cromatografía en Pamplona son razonables, porque los orígenes de estos son principalmente emitidos de los tubos de escape del tráfico vehicular, que es la principal fuente de material particulado en esta ciudad (Quijano Parra, et al., 2010).

Identificación de Hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire interior del laboratorio

Para la identificación de los diferentes HAPs, presentes en el extracto global del PM_{2.5} de Pamplona extraídos con diclorometano, se tomó como referencia el cromatograma de la muestra patrón de Restek de 18 HAP (EPA, Method 8310 PAH Mix), como se muestra en la figura 1. En este cromatograma los HAPs presentes en la muestra patrón son: 1) naftaleno, 2) 1-metilnaftaleno, 3) 2-metilnaftaleno, 4) Acenaftileno, 5) acenafteno, 6) fluoreno, 7) fenantreno, 8) antraceno, 9) fluoranteno, 10) pireno, 11) benzo[a]antraceno, 12) criseno, 13) benzo[b]fluoranteno, 14) benzo[k]fluoranteno, 15) benzo[a]pireno, 16) indeno(1,2,3-cd)pireno, 17) dibenzo [a, h]antraceno, 18.) benzo[ghi]perileno.

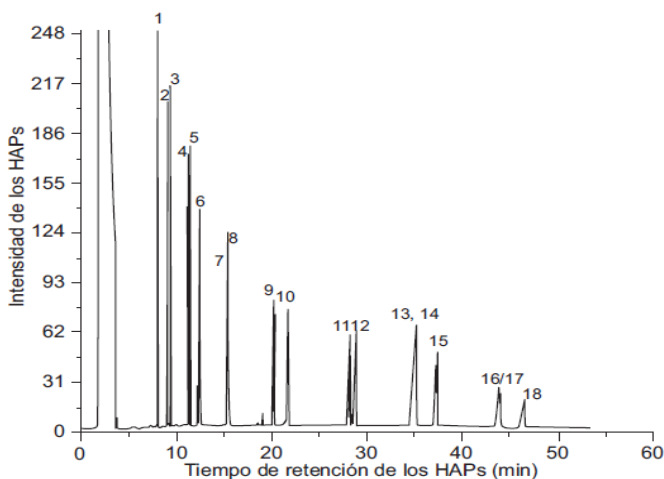


Figura. 1. Cromatograma correspondiente a la muestra patrón de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

En la **figura 2** se muestra el cromatograma del extracto global del $PM_{2.5}$ del aire al interior del laboratorio de cromatografía en la universidad de Pamplona.

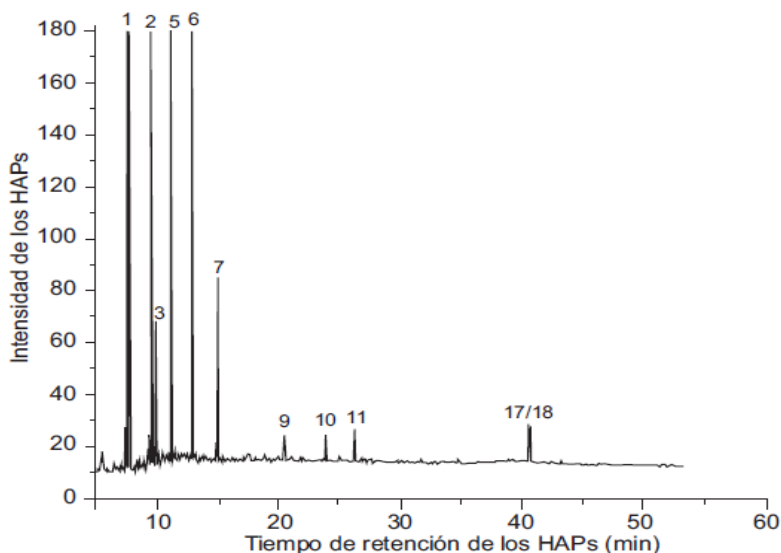


Figura 2. Cromatograma correspondiente al $PM_{2.5}$ al interior del laboratorio de cromatografía de la universidad de Pamplona.

En el cromatograma del extracto global del $PM_{2.5}$ del aire interior del laboratorio de cromatografía se observan los siguientes HAPs: pico 1: naftaleno; pico 2: 1-metilnaftaleno; pico 3: 2-metilnaftaleno; pico 5: acenafteno; pico 6: fluoreno; pico 7: fenantreno; pico 9: fluoranteno; pico 10: pireno; pico 11: benzo[a] antraceno; picos 17/18: dibenzo [ah]antraceno/ benzo [g,i,h] perileno.

Numerosos estudios epidemiológicos han concluido que la contaminación del aire y en particular la materia particulada en el aire causa efectos adversos sobre la salud humana, incluidas las enfermedades respiratorias (Adam et al., 2015; Laumbach y Kipen, 2012) enfermedades cardiovasculares (Franklin et al., 2015; Shah

et al., 2013) y efectos carcinogénicos (Loomis et al., 2013; Turner et al., 2011). El papel de la contaminación del aire en el cáncer humano ha sido reportado en diferentes investigaciones (Samet 2004, Næss et al. 2007). Varios investigadores han demostrado que los vehículos de motor diésel y los de gasolina son una de las principales fuentes de material particulado (Barakat 2002, Maykut et al. 2003). La evaporación del depósito de combustible y las fugas en el motor o en el sistema de escape de los vehículos liberan productos químicos que pueden entrar al interior de las viviendas; además, el llenado periódico de combustible en las estaciones de gasolina es una gran fuente de hidrocarburos volátiles, por lo que estos contaminantes pueden penetrar en el interior de los hogares (Sabin et al. 2005). Los HAPs suelen considerarse un indicador de emisiones de tráfico vehicular (Guo, et al. 2003). De acuerdo con la IARC, los HAPs encontrados en el aire exterior de Pamplona que son cancerígenos potenciales en humanos son: el benzo (a) antraceno y como probable el dibenzo [a,h] antraceno. El fenantreno hallado en el aire de Pamplona es característico de las emisiones del tráfico vehicular (Ravindra et al. 2006). El benzo (ghi) perileno se ha asociado con emisiones vehiculares (Dichut, et al. 2000). Ciertos HAPs como el fenantreno, el pireno y el fluoranteno encontrados en el aire interior del laboratorio de cromatografía, se han relacionado con enfermedades respiratorias crónicas como el asma, la bronquitis severa y el cáncer de pulmón (Aubier, 2009; Valavanidis, et al. 2008; Taguchi, et al. 2007). Los HAPs relacionados con las emisiones diésel, encontrados en el aire interior del laboratorio de cromatografía son: fluoreno, fenantreno, pireno y benzo [a] antraceno. Cabe mencionar que los HAPs hallados en las muestras del aire (PM_{2.5}) al interior del laboratorio de cromatografía de la universidad de Pamplona, provienen exclusivamente de la combustión de las fuentes móviles que circulan con diésel y gasolina (Mi, et al. 2001). Además, la IARC (2014) clasifica las emisiones de los vehículos que funcionan con diésel, como cancerígeno para los seres humanos.

Conclusiones

- 1.- En general, es el aire exterior la principal fuente de partículas al interior del laboratorio de cromatografía de la universidad de Pamplona.
- 2.- La presencia de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y metales encontrados en el aire interior del laboratorio de cromatografía, puede aumentar los riesgos carcinogénicos para el ser humano tras la exposición al aire contaminado.
- 3.- De los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos clasificados por la IARC como probables o posibles carcinógenos en humanos, se encontraron en el interior del laboratorio de cromatografía de la universidad de Pamplona al benzo (a) antraceno y dibenzo (a,h) antraceno, considerados contaminantes altamente peligrosos por presentar actividad mutagénica y genotóxica.

Referencias bibliográficas

- Adam, M., Schikowski, T., Carsin, A.E., Cai, Y., Jacquemin, B., Sanchez M., et al.(S.f) Adult lung function and long-term air pollution exposure. ESCAPE: a multicentre cohort study and meta-analysis. *European respiratory journal Eur. Respir. J.*,45: 38–50.
- Amador-Muñoz, O., Villalobos-Pietrini, R., Miranda, J., Vera-Avila L.E. (2011). Organic compounds of PM_{2.5} in Mexico Valley: spatial and temporal patterns, behavior and sources. *Sci Total Environ*, 409:1453–1465.
- Anderson, J.O., Thundiyil, J.G., Stolbach, A. (2012). Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *J. Med. Toxicol*,8: 166–175
- Aubier, M. (2009). Traffic-related pollutants and their impact on allergic respiratory diseases. *Bull. Acad. Natl. Med*,193:1305-1313.

- Barakat, A.O. (2002). PAHs and petroleum biomarkers in the atmospheric environment of Alexandria City, Egypt. *Water Air Soil Poll*,139: 289-310.
- Brasche, S., Bischof, W. (2005). Daily time spent indoors in German homes—baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants. *Int. J. Hyg. Environ.Health*,208:247–253.
- Chithra, V. S., Nagendra, S.M. (2013). Chemical and morphological characteristics of indoor and outdoor particulate matter in an urban environment. *Atmospheric environment*, 77: 579-587.
- Daisey, J. M., Angell, W. J., Apte, M. G. (2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor air*, 13 (1):53-64.
- Dichut, R., Canuel, E., Gustafson, K., Walker, S., Edgecombe, G., Gaylor, M., Macdonald, E. (2000). Automotive sources of carcinogenic PAH with particulate matter in the Chesapeake Bay Region. *Environ. Sci. Technol*, 34:4535-4640.
- European Environmental Agency (EEA), (2008). Annual European Community LRTAP Convention Emissions Inventory Report 1990–2006, *EEA Technical Report No. 7, EEA, Copenhagen, 2008*.
- Forouzanfar, M.H., Alexander, L., Anderson, H.R., Bachman, V.F., Biryukov, S., Brauer, M., Burnett, R., Casey, D., Coates, M.M., Cohen, A. (2015). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* ,386:2287–2323
- Franklin, B.A., Brook, R., Pope, C.A. (2015). Air pollution and cardiovascular disease. *Curr, Probl. Cardiol*, 40:207–238.
- Gawronska, H., Bakera, B. (2015). Phytoremediation of particulate matter from indoor air by *Chlorophytum comosum* L. plants. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 8(3): 265-272.

- Guo, H., Lee, S.C., Ho, K.F., Wang, X.M., Zou, S.C. (2003). Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Hong Kong. *Atmos. Environ*,37:5307–5317.
- Hanedar, A., Kadr, A., Burcak, K., Baek, J., Avsar, E., Odman, T.M. (2011). Concentrations and sources of PAHs at three stations in Istanbul, Turkey. *Atm. Resear*, 99: 391-399.
- IARC. (2010). Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, Volume 92, *International Agency for Research on Cancer*, Lyon, France, pp 244-424.
- IARC. (2014). Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Vol. 105. Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. *International Agency for Research on Cancer*. Lyon, France, pp 313-423.
- Laumbach, R.J., Kipen, H.M. (2012). Respiratory health effects of air pollution: update on biomass smoke and traffic pollution. *J. Allergy Clin. Immunol*,129: 3–11.
- Leech, J.A., Nelson, W.C., Burnett, R.T., Aaron, S., Raizenne, M.E. (2002). It's about time: a comparison of Canadian and American time–activity patterns. *J. Expo. Anal. Environ.Epidemiol*. 12.
- Loomis, D., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., Chissassi, F.E., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Baan, R., Mattock, H., Straif, K. (2013). The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol*,14:1262–1263.
- Maykut, N.N., Lewtas, J., Kim, E., Larson, T.V. (2003). Source apportionment of PM2.5 at an urban improve site in Seattle, WA. *Environ. Sci. Technol*, 37:5135–5142
- Mi, H.H., Lee, W.J., Tsai, P.J., Chen, C.B. (2001). A comparison on the emission of polycyclic aromatic hydrocarbons and their corresponding carcinogenic potencies from a vehicle engine using leaded and lead-free gasoline. *Environ. Health. Persp*, 109: 1285-1290.

- Müller, J., Sigel, R.K., Lippert, B. (2000). Heavy metal mutagenicity: insights from bioinorganic model chemistry. *J Inorg Biochem*, 79 (1-4):261-5.
- Muránszky, G., Óvári, M., Virág, I., Csiba, P., Dobai, R., Záray, G. (2011). Chemical characterization of PM10 fractions of urban aerosol. *Microchem J*. 98:1-10
- McQuaid, R.W., Chen, T. (2012). Commuting times—the role of gender, children and part-time work. *Res Transp Econ*, 34:66-73
- Næss, O., Nafstad, P., Aamodt, G., Claussen, B., Rosland, P. (2007). Relation between concentration of air pollution and cause specific mortality: four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway. *Am. J. Epidemiol*, 165 (4):435-443.
- Pandey, A. K., Pandey, M., Tripathi, B. D. (2015). Air Pollution Tolerance Index of climber plant species to develop Vertical Greenery Systems in a polluted tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 144:119-127.
- Paulino, S.A., Quiterio, S.L., Escaleira, V., Arbilla, G. (2010). Evolution of Particulate matter and associated metal levels in the urban area of Rio de Janeiro, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 84:315-318.
- Perrino, C., Canepari, S., Catrambone, M., Dalla Torre, S., Rantica, E., Sargolini, T. (2009). Influence of natural events on the concentration and composition of atmospheric particulate matter. *Atmos Environ*, 43:4766-4779
- Pope, C., Burnett, R.T., Turner, M.C., Cohen, A., Krewski, D., Jerrett, M., Gapstur, S.M., Thun, M.J. (2011). Lung cancer and cardiovascular disease mortality associated with ambient air pollution and cigarette smoke: shape of the exposure-response relationships. *Environ. Health Perspect*, 119:1616-1621.

- Quijano Parra, A., Quijano Vargas, M.J., Henao M, J.A. (2010). Physical-chemical characterization of Particulate Material-Breathable Fraction (PM_{2,5}) in Pamplona. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*,10(1):1-11.
- Ravindra, K., Bencs, L., Wauters, E., de Hoog, J., Deutsch, F., Roekens, E., Bleux, N., Berghmans, P., Van Grieken, R. (2006). Seasonal and site-specific variation in vapour and aerosol phase PAHs over Flanders (Belgium) and their relation with anthropogenic activities. *Atmos. Environ*, 40: 771-785.
- Riger, C.J., Fernandes, P.N., Vilela, L.F., Mielniczki-Pereira, A.A., Bonatto, D., Henriques, J.A., Eleutherio, E.C. (2011). Evaluation of heavy metal toxicity in eukaryotes using a simple functional assay. *Metallomics*, 3(12):1355-1361.
- Sabin, LD., Kozawa, K., Behrentz, E., Winer, A.M., Fitz, D.R., Pankratz, D.V., Colome, S.D., Fruin, S.A. (2005). Analysis of real-time variables affecting children's exposure to diesel-related pollutants during school bus commutes in Los Angeles. *Atmos Environ*, 39:5243–5254.
- Samet, J.M. (2004). Environmental causes of lung cancer: what do we know in 2003? *Chest* ,125:80S–83S.
- Soreanu, G., Dixon, M., Darlington, A. (2013). Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants—A mini-review. *Chemical Engineering Journal*, 229:585-594.
- Silva, R. A.; West, J.J.; Yuqiang, Z., Anenberg, S. C., Lamarque, J.F., Shindell, D. T., Collins, W. J. et al. (2013). Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change. *Environmental Research Letters*, 8(3):031002.
- Schripp, T., Markewitz, D., Uhde, E., Salthammer, T. (2013). Does e-cigarette consumption cause passive vaping? *Indoor Air*, 23:25–31.

- Shah, A.S., Langrish, J.P., Nair, H., McAllister, D.A., Hunter, A.L., Donaldson, K., Newby, D.E., Mills, N.L. (2013). Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*, 382:1039–1048.
- Shi, J., Gang Zhang., Hailong, A., Weilun, Y., et al. (2017) Quantifying the particulate matter accumulation on leaf surfaces of urban plants in Beijing, China. *Atmospheric Pollution Research*,8(5)
- Straif, K., Cohen, A., Samet, J. (2013). Air Pollution and Cancer. IARC scientific publication,161, *International Agency for Research on Cancer, 150 cours Albert Thomas, 69372 Lyon Cedex 08, France.*
- Taguchi, K., Fujii, S., Yamano, S., Cho, A.K., Kamisuki, S., Nakai, Y., Sug-awara, F., Froines, J.R., Kumagai, Y. (2007). An approach to evaluate two-electron reduction of 9,10-phenanthraquinone and redox activity of the hydroquinone associated with oxidative stress. *Free Radical Biol. Med*, 43:789-799.
- Turner, M.C., Krewski, D., Pope, C.A., Chen, Y., Gapstur, S.M., Thun, M.J. (2011). Long- term ambient fine particulate matter air pollution and lung cancer in a large cohort of never-smokers. *Am J Respir Crit Care Med*,184 (12):1374–1381.
- Valavanidis, A., Fiotakis, K., Vlachogianni, T. (2008). Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. *J. Environ. Sci. Health. C. Environ. Carcinog. Ecotoxicol. Rev*,26:339-362.
- Volk, Heather. E., et al. (2013). Traffic-related air pollution, particulate matter, and autism. *JAMA psychiatry*, 2013, vol. 70, no 1, p. 71-77
- Wallace, L. (2006). Indoor sources of ultrafine and accumulation mode particles: size distributions, size-resolved concentrations and source strengths. *Aerosol Sci. Technol*,40:348–360

- Waring, M. (2014). Secondary organic aerosol in residences: predicting its fraction of fine particle mass and determinants of formation strength. *Indoor Air*, 24:376–389.
- Waring, M.S., Siegel, J.A. (2007). An evaluation of the indoor air quality in bars before and after a smoking ban in Austin, Texas. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol*,17:260–268.
- Wood, R. A., Orwell, R. L., Tarran, J., Torpy, F., Burchett, M. (2002). Potted-plant/growth media interactions and capacities for removal of volatiles from indoor air. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*,77(1): 120-129.
- World Health Organization. (2005). Guidelines for Air Quality. *World Health Organization*.

