



LEARNING TOXICOLOGY
THROUGH OPEN EDUCATIONAL

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)

Ileana MANCIULEA, Lucia DUMITRESCU

Transilvania University of Braşov

i.manciulea@unitbv.ro, lucia.d@unitbv.ro



INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) constituyen una gran clase de compuestos orgánicos, contaminantes ambientalmente persistentes, con estructuras específicas y toxicidad variada, que contienen dos o más anillos aromáticos fusionados. Cientos de HAPs individuales son liberados al medio ambiente tanto por procesos antropogénicos (por combustión incompleta o pirólisis de materia orgánica) como por procesos naturales (incendios forestales, erupciones volcánicas y síntesis y degradación biológicas de la biomasa). Dado que los HAPs se detectan en el aire, el suelo, el agua y la combustión, la pirólisis y los procesos biológicos de la materia orgánica se producen en todas partes, los HAP se consideran ubicuos en el medio ambiente. (Baklanov et al., 2007, WHO, 2003).

FUENTES DE HAPs

Los (HAPs) están formados por procesos pirogénicos, petrogénicos y biológicos.

(a) Los HAPs pirogenicos se forman cuando la materia orgánica es expuesta a altas temperaturas (3500 °C-12000 °C) bajo condiciones de poco oxígeno o sin oxígeno. Ejemplos de procesos pirógenos son: el craqueo térmico de residuos de petróleo en hidrocarburos más ligeros, la destilación de carbón, la combustión incompleta de combustibles en sistemas de calefacción, de combustibles en automóviles y camiones y de madera en incendios forestales y chimeneas, etc. generalmente se encuentran en mayores concentraciones en áreas urbanas y en lugares cercanos a grandes fuentes de HAPs (procesos industriales, incineración industrial de generación eléctrica, etc.) y pequeñas fuentes de HAPs (emisiones de automóviles, humo de cigarrillos, estufas de leña, , lodos de depuradora, etc.)(Shafy y Mansour, 2013). La combustión

incompleta, derivada natural o antropogénicamente, ha sido identificada como el mayor contribuyente de HAPs al medio ambiente (Zhang y Tao, 2009).

b) Los hidrocarburos oleosos petrogénicos son aceites crudos formados a lo largo de millones de años a bajas temperaturas (100-1500 °C) y durante las actividades de transporte, almacenamiento y uso de petróleo crudo/productos de crudo, la acumulación de pequeñas emisiones de gasolina, aceites de motor y sustancias asociadas al transporte, combustión incompleta de sustancias orgánicas.

c) Las fuentes naturales de HAPs son los incendios forestales, los volcanes, la síntesis de bacterias y algas, las filtraciones de petróleo y la descomposición de la biomasa. (Shafy and Mansour, 2013, CCME, 2010).

Las fuentes estacionarias produjeron cerca del 80% de las emisiones anuales totales de HAPs; el resto son producidos a partir de fuentes móviles (residuos de motores a gasolina y diesel, etc.). Las emisiones de HAPs liberados por la producción industrial no son importantes en comparación con los HAPs producidos por procesos de combustión incompleta, en los que se utilizan sistemas cerrados y procesos de reciclaje. Los nuevos compuestos aromáticos heterocíclicos (carbazol, acridina), así como los derivados de los PAHs, como los nitro-HAPs y los HAPs oxigenados, pueden ser generados por combustión incompleta y por reacciones químicas en el aire ambiente. Estos compuestos se producen con HAPs en aire, agua y alimento, y la mezcla total se refiere como compuestos policíclicos aromáticos CAPs. (IARC, 2010).

Algunos HAP se utilizan como materias primas:

- Acenafteno: fabricación de pigmentos, colorantes, plásticos, plaguicidas, productos farmacéuticos.
- Antraceno: diluyente para conservantes de la madera y fabricación de colorantes y pigmentos.
- Fluoranteno: fabricación de agroquímicos, colorantes y productos farmacéuticos.
- Fluoreno: fabricación de productos farmacéuticos, pigmentos, colorantes, plaguicidas y plástico termoestable.

- Fenantreno: fabricación de resinas y pesticidas.
- Pirineo: fabricación de pigmentos.

Las reducciones en las emisiones de HAPs se produjeron desde la década de 1950, mediante la introducción de las primeras políticas de aire limpio. En la actualidad, la legislación relativa a las concentraciones permisibles de HAPs en el aire, combinada con la legislación que prohíbe la quema incontrolada de desechos industriales y agrícolas, continuó reduciendo las concentraciones de HAPs en el aire ambiente. Sin embargo, en los países en desarrollo (China, India, Brasil, Sudán, etc.) donde la biomasa y el carbón son las principales fuentes de energía, las concentraciones de HAPs son todavía demasiado altas. (IARC, 2010, Kim et al., 2013).

ESTRUCTURA QUÍMICA DE LOS HAPs

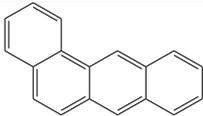
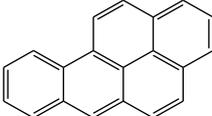
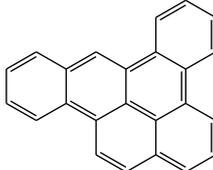
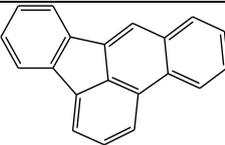
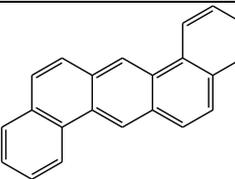
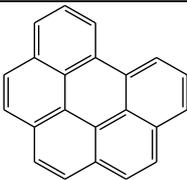
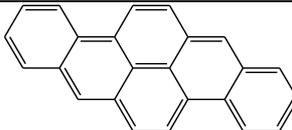
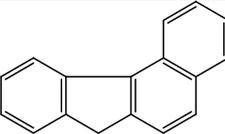
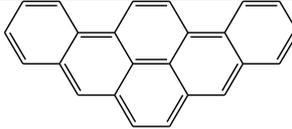
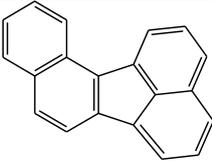
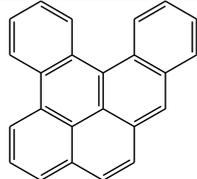
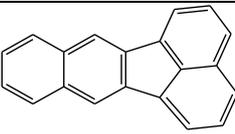
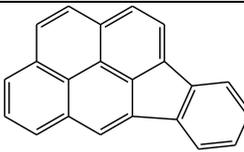
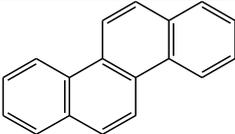
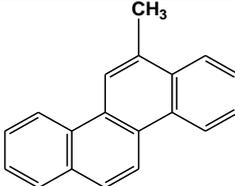
Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son un gran grupo de compuestos orgánicos compuestos por dos o más anillos de benceno unidos en estructuras lineales, de conglomerados o angulares.

Los hidrocarburos aromáticos policarboxílicos carcinógenos más importantes se presentan en la Tabla 1. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos emitidos en la superficie de una masa del hidrocarburo aromático policarboxílico aromático polimérico están presentes en un estado humidificado.

Dependiendo del número de anillos de benceno, los HAPs se clasifican como: compuestos de bajo peso molecular que consisten en menos de cuatro anillos aromáticos y compuestos de alto peso molecular de cuatro o más anillos aromáticos. Los PAHs con dos o tres anillos (naftaleno, acenafteno, antraceno, fluoreno, fenantreno) están presentes en el aire, predominantemente en fase vapor. Los PAHs con cuatro anillos (fluoranteno, pireno, criseno) existen tanto en el vapor como en la fase particulada, y los PAHs que tienen cinco o más anillos de benzo[g, h, i]perileno, etc. se encuentran predominantemente en la fase particulada. Las moléculas más pequeñas, como el benceno, el tolueno y el hidrocarburo naftaleno bicíclico aromático no se consideran verdaderas HAPs. Los carcinógenos de HAPs más potentes estudiados extensamente son

el 7,12-dimetilbenzoantraceno (DMBA) y el benzo(a)pireno (BaP) (CCME, 2010; Shafy and Mansour, 2013).

Tabla 1. Ejemplo de hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Nombre (acrónimo)	Formula	Nombre (acrónimo)	Formula
benzo[a]antraceno (BaA)		ciclopenta[c,d]pireno (CPP)	
benzo[a]pireno (BaP)		dibenzo[a,e]pireno (DeP)	
benzo[b]fluoranteno (BbF)		dibenzo[a,h]antraceno (DhA)	
benzo[g,h,i]perileno (BgP)		dibenzo[a,h]pireno (DhP)	
benzo[c]fluoreno (BcL)		dibenzo[a,i]pireno (DiP)	
benzo[j]fluoranteno (BjF)		dibenzo[a,l]pireno (DlP)	
benzo[k]fluoranteno (BkF)		indeno[1,2,3-cd]pireno (IcP)	
criseno (CHR)		5-metilcriseno (5-MC)	

De los varios cientos de compuestos químicamente relacionados, que son ambientalmente persistentes, el Comité Científico de Alimentos, en base a su ocurrencia y efectos tóxicos, seleccionó 33 HAPs individuales (presentadas en la Tabla 2), que presentan riesgos para la salud humana (PAHs in food 2002).

Tabla 2. HAPs que presentan riesgos para la salud humana

Nombre común	Nombre CAS	No. Registro CAS	Abreviatura
Acenafteno	Acenaftileno	83-32-9 AC	AC
Acenaftileno	1,2-dihidro Acenaftileno,	208-96-8	ACL
Antantreno	Dibenzo[def,mno]criseno	191-26-4	ATR
Antraceno	Antraceno	120-12-7	AN
Benz[a]antraceno	Benz[a]antraceno	56-55-3	BaA
Benzo[a]fluoreno	11 H-Benzo[a]fluoreno	238-84-6	BaFL
Benzo[b]fluoreno	11 H-Benzo[b]fluoreno	243-17-4	BbFL
Benzo[b]fluoranteno	Benz[e]acefenantrileno	205-99-2	BbFA
Benzo[ghi]fluoranteno	Benzo[ghi]fluoranteno	203-12-3	BghiF
Benzo[j]fluoranteno	Benzo[j]fluoranteno	205-82-3	BjFA
Benzo[k]fluoranteno	Benzo[k]fluoranteno	207-08-9	BkFA
Benzo[ghi]perileno	Benzo[ghi]perileno	191-24-2	BghiP
Benzo[c]fenantreno	Benzo[c]fenantreno	195-19-7	BcPH
Benzo[a]pireno	Benzo[a]pireno	50-32-8	BaP
Benzo[e]pireno	Benzo[e]pireno	192-97-2	BeP
Crisene	Criseno	218-01-9	CHR
Coroneno	Coroneno	191-07-1	COR
Ciclopenta[cd]pireno	Ciclopenta[cd]pireno	27208-37-3	CPP
Dibenzo[a,h]antraceno	Dibenzo[a,h]antraceno	53-70-3	DBahA
Dibenzo[a,e]pireno	Nafto[1,2,3,4-def]criseno	192-65-4	DBaeP
Dibenzo[a,h]pireno	Dibenzo[b,def]criseno	189-64-0	DBahP
Dibenzo[a,i]pireno	Benzo[rsf]pentafeno	189-55-9	DBaiP
Dibenzo[a,l]pireno	Dibenzo[def,p]criseno	191-30-0	DBalP
Fluoranteno	Fluoranteno	206-44-0	FA
Fluoreno	9H-Fluoreno	86-73-7	FL
Indeno[1,2,3-cd]pireno	Indeno[1,2,3-cd]-pireno	193-39-5	IP
5-Metilcriseno	5-metil-Criseno	3697-24-3	5-MCH
1-Metilfenantreno	1-metil-Fenantreno	832-69-9	1-MPH
Naftaleno	Naftaleno	91-20-3	NA
Perileno	Perileno	198-55-0	PE
Fenantreno	Fenantreno	85-01-8	PHE
Pireno	Pireno	129-00-0 P	Y
Trifenileno	Trifenileno	217-59-4	TRI

Fuente: PAHs in food 2002 - Opinion of SCF on the risks to human health
http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE HAPs

Los HAPs puros son generalmente sólidos cristalinos a temperatura ambiente (Masih et al., 2012). Las características generales de los HAPs son los altos puntos de fusión y de ebullición, baja presión de vapor y muy baja solubilidad acuosa. Las propiedades físicas y químicas de algunos HAPs seleccionados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de los HAP

Compuesto	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Presión de vapor (Pa a 25 °C)	Partición Octanol-agua (Log Kow)	Solubilidad en agua a 25 °C (µg/litro)	Constante de la ley de Henry a 25 °C (kPa)
Acenaftileno	92-93	279	8.9×10^{-1}	4.07	-	1.14×10^{-3}
Acenafteno	95	295	2.9×10^{-1}	3.92	3.93×10^3	1.48×10^{-2}
Fluoreno	115–116	340	8.0×10^{-2}	4.18	1.98×10^3	1.01×10^{-2}
Fenantreno	100.5	342	1.6×10^{-2}	4.6	1.29×10^3	3.98×10^{-3}
Antraceno	216.4	375	8.0×10^{-4}	4.5	73	7.3×10^{-2}
Fluoranteno	108.8	393	1.2×10^{-3}	5.22	260	6.5×10^{-4}
Pireno	150.4	400	6.0×10^{-4}	5.18	135	1.1×10^{-3}
Benzo[a]antraceno	160.7	448	2.8×10^{-5}	5.61	14	-
Criseno	253.8	481	8.4×10^{-5}	5.91	2.0	-
Benzo[b]fluoranteno	168.3	480	6.7×10^{-5}	6.12	1.2 (20°C)	5.1×10^{-5}
Benzo[j]fluoranteno	165.4	480	2.0×10^{-6}	6.12	2.5	-
Benzo[k]fluoranteno	215.7	496	1.3×10^{-8}	6.84	0.76	4.4×10^{-5} (20 °C)
Benzo[a]pireno	178.1	536	7.3×10^{-7}	6.50	3.8	3.4×10^{-5}
Indeno[1,2,3-c,d]pireno	163.6	524	1.3×10^{-8}	6.58	62	2.9×10^{-5} (20 °C)
Dibenz[a,h]antraceno	266.6	594	1.3×10^{-8}	6.50	0.5 (27°C)	7×10^{-6}
Dibenzo[a,i]pireno	282	525	3.2×10^{-10}	7.30	0.17	4.31×10^{-6}
Coroneno	439		2×10^{-10}	-	5.4	0.14

Fuente: Joint WHO 2003

Las propiedades fisicoquímicas de los HAPs varían considerablemente con su peso molecular y su estructura. La presión de vapor de los HAPs disminuye con el aumento del peso molecular y la solubilidad acuosa disminuye con el aumento del peso molecular. La resistencia a las reacciones de oxidación y reducción también aumenta con el peso molecular. Los HAPs son altamente lipófilos y, por tanto, miscibles en disolventes orgánicos (CMME, 2010). La

solubilidad acuosa disminuye para cada anillo adicional añadido a los PAHs y los hace muy móviles a través del ambiente, deposición y revolatilización distribuyéndolos entre el aire, el suelo y el agua. Una proporción específica de HAPs determina su transporte atmosférico a largo plazo (TALP). Una vez liberados a la atmósfera, los HAPs se encuentran en dos fases separadas, una fase de vapor y una fase sólida en la que los HAPs son adsorbidos sobre materia particulada. Los HAPs también presentan sensibilidad a la luz, resistencia al calor, resistencia a la corrosión y actividad fisiológica (Masih et al., 2012). Los HAPs poseen espectros de absorbancia de UV muy característicos y la mayoría de los HAPs son también fluorescentes (Kim et al., 2013). Aunque los efectos en la salud de las HAPs individuales difieren, algunos HAPs se han identificado como la mayor preocupación debido a los efectos altamente adversos en los seres humanos.

PERSISTENCIA Y TRANSFORMACIÓN DE LOS HAPs EN EL MEDIO AMBIENTE

HAPs EN ATMÓSFERA

El comportamiento de los HAPs en la atmósfera depende de complejas reacciones físico-químicas, interacciones con otros contaminantes, transformaciones fotoquímicas y deposición seca y húmeda (Zhong and Zhu, 2013). Los HAPs en el aire ambiente existen en fase vapor o se adsorben a partículas en suspensión dependiendo de las condiciones atmosféricas (temperatura, humedad, origen y propiedades de los aerosoles) y propiedades de los HAPs (Zhang and Tao, 2009). Los HAPs de bajo peso (con dos, tres o cuatro anillos) existen principalmente en fase gaseosa, son menos tóxicos, pero son capaces de reaccionar con otros contaminantes (ozono, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre) para formar compuestos con alta toxicidad (diones, nitro- y dinitro-HAPs, ácido sulfúrico. HAPs con cuatro o más anillos tienen vaporización insignificante en condiciones ambientales y se producen principalmente en la fase particulada en la atmósfera Las concentraciones de

HAPs en fase gaseosa aumentan en verano/en regiones tropicales, y la fase particulada son predominantes durante el invierno en las regiones árticas y la adsorción de los HAPs en las fases particuladas depende de la humedad y de los tipos de partículas en suspensión (por ejemplo, hollín, polvo, cenizas volantes, óxidos metálicos, pólenes, etc.) (Lai et al., 2011, Kim et al., 2013).

HAPs EN EL SUELO Y EL AGUA

Los HAPs atmosféricos se depositan continuamente en la superficie terrestre mediante procesos de deposición en seco o en húmedo. Los HAPs depositados sobre la superficie terrestre pueden llegar a ser móviles y estarán ligados a las partículas del suelo, proceso influenciado por la movilidad de las partículas de HAPs en el suelo, el tamaño de las partículas y el tamaño de los poros del suelo. Los estudios han encontrado que el coeficiente de reparto octanol-agua de los HAPs es importante para determinar su sorción al suelo. Debido a que el reparto octanol-agua (coeficiente (K_{ow}) está relacionado con la solubilidad de un compuesto orgánico en el agua, a medida que aumenta el K_{ow} , la solubilidad acuosa disminuye y la tendencia de los HAPs para la adsorción a un suelo particular aumenta. la atmósfera se transporta a corto y largo plazo y se elimina por deposición húmeda y seca en el suelo, el agua y la vegetación. En el agua superficial, los HAPs pueden volatilizarse, fotolizarse, biodegradarse o unirse a partículas en suspensión o sedimentos. Sobre el tamaño de las partículas a las que están adsorbidos los HAPs y sobre las condiciones climáticas. Alrededor del 90-95% de los HAPs en partículas están asociadas con diámetros de partícula $<3,3 \mu\text{m}$. Las partículas de los HAPs gaseosos están asociados principalmente con un rango de diámetro de 0,1-3,0 μm , presentan tiempos de residencia atmosférica de unos pocos días y pueden sufrir TALA (Shafy and Mansour, 2013, CCME, 2010). Organismos acuáticos que metabolizan HAPs poco o nada (Algas, moluscos) y los invertebrados más primitivos (protozoos, poríferos y cnidarios) acumulan altas concentraciones de HAPs, como se esperaría de sus valores $\log K_{ow}$. Los organismos que metabolizan en gran medida los HAPs (peces, invertebrados superiores),

acumulan poco o nada de HAPs. La concentración de HAPs en la vegetación es generalmente inferior a la del suelo, los factores de bioacumulación oscilan entre 0,0001 y 0,33 para BaP y de 0,001 a 0,18 para 17 HAPs testados. No se ha observado la biomagnificación de los HAPs en los sistemas acuáticos porque la mayoría de los microorganismos tienen un alto potencial de biotransformación para los HAPs. Los organismos a niveles tróficos superiores en las cadenas alimenticias muestran el mayor potencial de biotransformación (WHO 2003, IARC, 2010). La fotólisis es el factor más importante en la desintegración de los HAPs adsorbidos por partículas en la atmósfera, el agua y el suelo. Se estima que la vida media en el aire oscila entre unos minutos y una semana, según la temporada (más larga en invierno), las sustancias y la composición de las partículas (WHO, 2003). Los HAPs en el suelo pueden volatilizarse, sufrir degradación abiótica (fotólisis y oxidación) biodegradarse, acumularse en las plantas o entrar en las aguas subterráneas, y ser transportados dentro de un acuífero. Basándose en los resultados experimentales, se estimaron las vidas medias (días) de los HAPs en el suelo (Tabla 4)

Tabla 4. Vidas Medias (días) de los HAPs en el suelo

Compuesto	Vida media estimada (días)
Naftaleno	2.1–2.2
Antraceno	10–134
Fenantreno	16–35
Fluoranteno	268–377
Pireno	199–260
Criseno	371–387
Benzo[a]pireno	229–309

Fuente: WHO, 2003

EXPOSICIÓN HUMANA A LOS HAPs

Las vías de exposición incluyen: a) ingestión de alimentos que contengan HAPs; b) inhalación de aire contaminado ambiental y de interior, remoción o inhalación de humo de chimeneas abiertas; c) contacto dérmico en exposición ocupacional y no ocupacional. El humo del tabaco contiene una variedad de HAPs, como el benzo(a)pireno, y más de 40 carcinógenos humanos conocidos o sospechosos. Algunos cultivos (trigo, centeno y lentejas), pueden sintetizar HAPs o absorberlos a través de agua, aire o suelo. El agua también puede contener ciertas cantidades de HAPs porque estos contaminantes pueden lixiviar desde el suelo hacia el agua o pueden entrar en el agua de los efluentes industriales. El suelo también contiene HAPs, procedente de las precipitaciones aerotransportadas. Debido a la elevada lipofilia de los HAPs, su presencia en el organismo después de la ingestión/inhalación es detectable en órganos internos ricos en tejido adiposo. Estos órganos pueden servir como depósitos de almacenamiento de los cuales los HAPs pueden liberarse gradualmente. Los HAPs introducidos en el organismo determinan una activación metabólica de múltiples etapas mediante enzimas específicas del sistema de oxidasa, que catalizó la primera reacción de epoxidación. Los epóxidos de HAPs pueden entonces conjugarse con glutatión y realizar una reacción de destoxicación. Los epóxidos que no están conjugados con glutatión se convierten en fenoles y dioles que deben conjugarse con ácidos glucurónicos o sulfúricos para permitir la excreción (WHO 2003).

OCURRENCIA DE HAPs EN LOS ALIMENTOS

Los alimentos crudos generalmente no deben contener altos niveles de HAPs. En áreas alejadas de las actividades urbanas o industriales, los niveles de HAPs que se encuentran en los alimentos no procesados reflejan la contaminación de fondo. Este HAPs generalmente se origina en el transporte

aéreo de larga distancia de partículas contaminadas, así como las emisiones naturales de los volcanes y los incendios forestales. En las zonas industriales o en las carreteras, la contaminación de la vegetación puede ser diez veces mayor que en las zonas rurales. Se han encontrado niveles de HAPs de 130 lg/kg en carne asada y 200 lg/kg de HAPs en pescado y carne ahumados. La presencia de HAPs en los alimentos se rige por los mismos factores fisicoquímicos (relativa solubilidad de HAPs en agua y disolventes orgánicos) que determinan su absorción y distribución en organismos vivos. La solubilidad determina su capacidad de transporte y distribución entre diferentes compartimentos ambientales y su captación y acumulación por los organismos vivos. El transporte de HAPs en la atmósfera está influenciado por su volatilidad. La reactividad química de los HAPs influye en la adsorción a material orgánico o degradación en el medio ambiente. Todos estos factores determinan la persistencia y capacidad de la HAPs para bioacumularse en la cadena alimentaria (PAHs in food, 2002, CCME, 2010; Shafy and Mansour, 2016).

EFFECTOS EN LA SALUD HUMANA

La toxicidad de los HAPs para los organismos acuáticos depende de su metabolismo y de las reacciones de foto-oxidación. Los HAPs son generalmente más tóxicos en presencia de radiación UV y tienen una toxicidad aguda moderada a alta para la vida acuática y las aves. Los mamíferos pueden absorber los HAPs por varias vías (inhalación, contacto dérmico, ingestión). Las plantas pueden absorber los HAPs de los suelos a través de sus raíces y trasladarlos a otras partes de la planta. Las tasas de absorción dependen generalmente de su concentración, solubilidad en agua, estado físico-químico y tipo de suelo. Los efectos adversos sobre los organismos vivos incluyen tumores, reproducción, desarrollo e inmunidad. Los datos relativos a los efectos fitotóxicos inducidos por los HAP son limitados.

Efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud

El impacto agudo de los HAPs en la salud humana depende de la longitud/vía de exposición, la concentración de HAPs, su toxicidad relativa y factores subjetivos (estado de salud y edad). La habilidad de los HAPs para inducir efectos agudos en la salud en humanos no está clara. La exposición ocupacional a altos niveles de HAPs resultó en irritación ocular, náuseas, vómitos, diarrea y confusión. El antraceno, el benzo(a)pireno y el naftaleno son irritantes directos de la piel y causan una reacción alérgica en la piel de animales y humanos (WHO, 2003; IARC, 2010).

Efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud

El impacto crónico (a largo plazo) de la salud de los HAPs sobre la salud humana disminuyó el sistema inmunológico, daño renal e hígado, causa problemas respiratorios, asma y anomalías de la función pulmonar. El contacto repetido con la piel puede inducir enrojecimiento e inflamación de la piel. El naftaleno puede causar la ruptura de los glóbulos rojos si se inhala o se ingiere en grandes cantidades. Los efectos nocivos de los HAPs en los organismos vivos que pueden ocurrir dependen de la forma de exposición (IARC, 2010, Kim et al., 2013).

Carcinogenicidad.

La vigilancia biológica de la exposición a los HAPs es de interés primordial, debido a su toxicidad ya la difusión generalizada de estos compuestos en el medio ambiente. Una de las principales preocupaciones es la capacidad de los metabolitos reactivos (epóxidos y dihidrodioles), de algunos HAPs, de unirse a las proteínas celulares y el ADN, dando lugar a mutaciones, malformaciones, tumores y cáncer. Los estudios a largo plazo indican que los trabajadores expuestos a HAPs han demostrado un mayor riesgo de cáncer de piel, pulmón y gastrointestinal. Benzo(a)pireno es el primer carcinógeno químico descubierto y el HAPs más común que causa cáncer en los animales. Basándose en

estudios científicos, una serie de HAPs se clasifican como carcinógenas para los animales y algunas mezclas ricas en HAPs también se clasifican como carcinógenas para los seres humanos (IARC, 2010). La Agencia de la EPA de los Estados Unidos clasificó los siguientes siete compuestos de los HAsP: benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenzo(ah)antraceno e indeno (1,2, 3-cd)pireno como posibles carcinógenos para humanos (Zhang and Tao, 2009).

REFERENCIAS

1. Baklanov A, Hänninen O, Slørdal LH, Kukkonen J, Bjergene N, Fay B, et al. Integrated systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure. *Atmos Chem Phys* 2007;7.
2. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Canadian soil quality guidelines for potentially carcinogenic and other PAHs: scientific criteria document. CCME: Winnipeg: 2010.
3. IARC (International Agency for Research on Cancer), Some non-heterocyclic PAHs and some related exposures, *Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 92 (2010)
4. Joint WHO, 2003. Risks of Persistent Organic Pollutants From Long-Range-Transboundary Air Pollutants. Joint WHO/Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution.
5. Kim, Ki-Hyun, Jahan, Shamin Ara, Kabir Ehsanul, Brown, Richard J.C.
6. Lai IC, Lee CL, Zeng KY, Huang HC. Seasonal variation of atmospheric PAHs along the Kaohsiung coast, *Journal of Environmental Management*, 2011.
7. Masih J, Singhvi R, Kumar K, Jain VK, Taneja A. Seasonal variation and sources of PAHs indoor and outdoor air in a semi arid tract of Northern India. *Aerosol Air Qual Res* 2012 .



8. *PAHs in food 2002*. Opinion of the Scientific Committee of Food on the risks to human health of PAHs in food (2002).
http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html.
9. Shafy Hussein, Mansour Mona S.M. Egyptian Journal of Petroleum. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation, 25, (2016).
10. WHO 2003. (World Health Organization). Polynuclear aromatic hydrocarbons in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality; 2003 [WHO/SDE/WSH/03.04/59].
11. Zhang Y, Tao S. Global atmospheric emission inventory of PAHs for 2004. Atmospheric Environment, 2009.
12. Zhong Y, Zhu L. Distribution, input pathway and soil-air exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons in Banshan Industry Park, China. Sci Total Environ 2013.





VNiVERSiDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences

U. PORTO



Universitatea
TRANSILVANIA
din Braşov



UNIVERZITA
KARLOVA



ИКИТ

<https://toxoeer.com>

Project coordinator: Ana I. Morales
Headquarters office in Salamanca.
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.
Contact Phone: +34 663 056 665



This work is licensed under a Creative
commons attribution – non commercial 4.0
international license