

ISSN: 1988-2688<http://www.ucm.es/BUCM/revistasBUC/portal/modulos.php?name=Revistas2&id=RCCV&col=1>http://dx.doi.org/10.5209/rev_RCCV.2016.v10.n1.51869*Revista Complutense de Ciencias Veterinarias* 2016 10(1):1-15

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs) (I): TOXICIDAD, EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN Y ALIMENTOS IMPLICADOS.

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHS) I: TOXICITY, POPULATION EXPOSURE AND INVOLVED FOODS.

Gustavo Pérez-Morales López, Paloma Morales Gómez y Ana Isabel Haza Duaso *

Departamento de Nutrición, Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid (España).

*Correspondencia: hanais@vet.ucm.es

RESUMEN

Los alimentos constituyen una de las principales fuentes exógenas de compuestos genotóxicos. En los alimentos calentados, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) representan un grupo prioritario de contaminantes químicos genotóxicos, mutagénicos y/o cancerígenos con efectos adversos a largo plazo para la salud. Las personas pueden estar expuestas a estos compuestos en numerosos ambientes y a través de diferentes vías: inhalatoria, alimentos, agua e incluso percutánea. La presencia de estos compuestos en los alimentos puede deberse a la contaminación ambiental, la manipulación y el procesado industrial de los alimentos y a los procesos de extracción y refinado del aceite. Los niveles máximos de estos compuestos los encontramos en los alimentos ahumados, en los mariscos que se encuentran en aguas contaminadas, en las carnes a la parrilla y en menor medida en las grasas vegetales y en los aceites. Niveles inferiores de HAPs están presentes en las verduras y las hortalizas y en los cereales y sus productos.

Palabras clave: Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), toxicidad, exposición, alimentos.

ABSTRACT

Food is one of the main exogenous sources of genotoxic compounds. In heated food products, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) represent a priority group of genotoxic, mutagenic and/or carcinogenic chemical pollutants with adverse long-term health effects. People can be exposed to these compounds through different environments and via various routes: inhalation, ingestion of foods and water and even percutaneously. The presence of these compounds in food may be due to environmental contamination, to industrial handling and processing of foods and to oil processing and refining. The highest levels of these compounds are found in smoked foods, in seafood which is found in polluted waters, in grilled meats and, to a lesser extent, in vegetable fats and oils. Lower levels of PAHs are found in vegetables and in cereals and its products.

Keywords: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), toxicity, exposure, foods.

INTRODUCCIÓN

Los compuestos originados durante el almacenamiento, procesado y preparación de los alimentos constituyen una de las principales fuentes exógenas de compuestos genotóxicos, existiendo una gran preocupación por su presencia en nuestra vida diaria. En los alimentos calentados, los HAPs representan un grupo prioritario de contaminantes químicos con efectos adversos a largo plazo para la salud (Vilanova, 2001).

Los HAPs son un grupo extenso de compuestos orgánicos, formados por la fusión de dos o más anillos de benceno y en algunos casos un anillo pentagonal (Katiyar *et al.*, 1993). La mayor parte de ellos está constituida únicamente por carbono e hidrógeno, creando estructuras polinucleares de tipo aromático, por lo que también se les conoce como “hidrocarburos polinucleares”. En general, se encuentran formando parte de mezclas complejas, las cuales pueden estar compuestas por numerosos compuestos diferentes (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, EFSA, 2008).

Los HAPs son compuestos lipófilos, especialmente aquellos que presentan masas moleculares elevadas. Otra propiedad que presentan es la fotooxidación, es decir, la degradación de estos compuestos al entrar en contacto con la luz ya que son inestables fotoquímicamente (Albers, 1995). Estos compuestos proceden de la combustión incompleta o

pirólisis del carbón, del petróleo, de la gasolina, de las basuras, de la madera y de otras sustancias orgánicas como los alimentos y el tabaco (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, ATSDR, 1996).

Toxicidad

Los HAPs presentan una toxicidad variable en función de su estructura molecular, influyendo factores como el tamaño, la forma de las moléculas y la presencia de sustituyentes en determinadas posiciones de los anillos bencénicos.

El informe del año 2004 de la Comisión del Codex Alimentarius (Codex) afirma que la presencia de regiones “bahía” o “fiordo” en la estructura molecular del HAP es una característica común a todos los HAPs que presentan propiedades tóxicas, dado que aumenta la reactividad de las moléculas (Codex, 2004). En la Figura 1 se identifican ambas regiones.

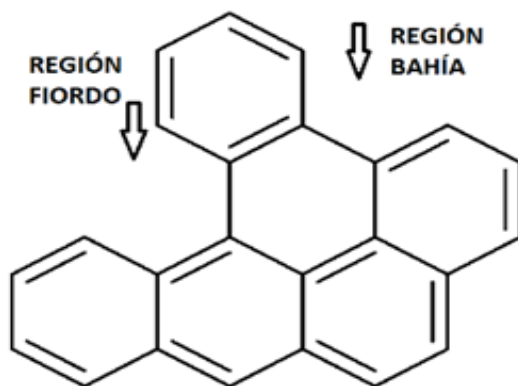


Figura 1. Estructura molecular del dibenzo[a,l]pireno.

Existe escasa información toxicocinética acerca de estos compuestos, exceptuando el benzo[a]pireno, cuya absorción en mamíferos es muy variable, oscilando entre un 12% y un 99% en función de la especie y de la dosis de ingesta. Los HAPs con un bajo peso molecular son absorbidos en mayor medida que los que poseen un elevado peso molecular. Después de ser absorbidos se distribuyen en el organismo por casi todos los órganos, siendo capaces incluso de atravesar la barrera placentaria y alcanzar el feto (Albers, 1995).

En cuanto a su metabolismo, estos compuestos pueden ser transformados por diferentes vías en moléculas más polares y eliminarse a través de la orina (Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria, ACSA, 2008), o excretarse con las heces (Van Schooten *et al.*, 1997), de manera que no existe un proceso de bioacumulación. Sin embargo, algunos de ellos se transforman en metabolitos muy reactivos, los cuales se unen al DNA y son los responsables de la mutagenicidad y carcinogenicidad de los HAPs (Comité Científico de la Comisión Europea sobre la Alimentación Humana, SCF, 2002).

Se ha observado un aumento de la incidencia de cáncer ocupacional en trabajadores expuestos a estos compuestos en actividades como la siderurgia, la construcción de carreteras, el refinado de petróleo, las centrales térmicas de carbón, en la industria de la goma y el caucho, en la incineración de residuos, en los ahumadores de alimentos, etc. (Agudo, 2010). De igual manera, se conoce que el humo del tabaco, constituido por benzo[a]pireno entre otras sustancias cancerígenas, está relacionado con un aumento de la incidencia de cáncer de pulmón y la ingesta frecuente de alimentos ahumados y asados a la parrilla con el cáncer de estómago (SCF, 2002).


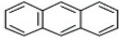
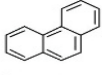
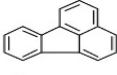
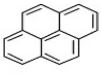
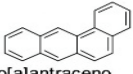
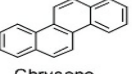
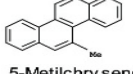
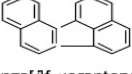
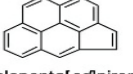
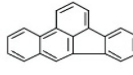
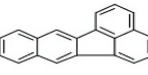
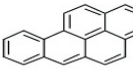
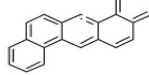
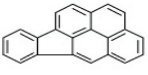
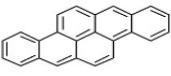
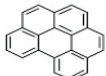
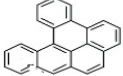
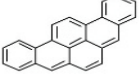
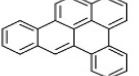
 Naftaleno	 Antraceno	 Fenantreno	 Fluoranteno	 Pireno
 Benzo[a]antraceno	 Chryseno	 5-Metilchryseno	 Benzo[j]fluoranteno	 Ciclopenta[cd]pireno
 Benzo[b]fluoranteno	 Benzo[k]fluoranteno	 Benzo[a]pireno	 Dibenzo[a,h]antraceno	 Indeno[1,2,3-cd]pireno
 Dibenzo[a,h]pireno	 Benzo[ghi]perileno	 Dibenzo[a,i]pireno	 Dibenzo[a,j]pireno	 Dibenzo[a,e]pireno

Tabla 1. Estructura de 20 HAPs.

HAPs	Abreviatura	IARC
Benzo[a]pireno	B[a]P	1
Criseno	CHR	2B
Benzo[a]antraceno	B[a]A	2B
Benzo[b]fluoranteno	B[b]F	2B
Benzo[k]fluoranteno	B[k]F	2B
Indeno[1,2,3-cd]pireno	I[1,2,3-cd]P	2B
Dibenzo[a,h]antraceno	DB[a,h]A	2A
Benzo[ghi]perileno	B[ghi]P	3
Benzo[j]fluoranteno	B[j]F	2B
Ciclopenta[cd]pireno	CPP	2A
Dibenzo[a,l]pireno	DB[a,l]P	2A
Dibenzo[a,e]pireno	DB[a,e]P	3
Dibenzo[a,i]pireno	DB[a,i]P	2B
Dibenzo[a,h]pireno	DB[a,h]P	2B
5-Metilcriseno	5-MC	2B
Benzo[c]fluoreno	BF	3
Naftaleno	NA	2B
Fenantreno	PHE	3
Antraceno	ANTH	3
Fluoranteno	FLA	3
Pireno	PY	3

Tabla 2. Clasificación de los HAPs según la IARC.

Estudios experimentales han demostrado que muchos de ellos son genotóxicos, mutagénicos y/o cancerígenos (EFSA, 2008), representando un grupo prioritario de contaminantes químicos con efectos adversos a largo plazo para la salud. En 2002 el SCF identificó 15 HAPs como potencialmente genotóxicos y cancerígenos en humanos. En 2005, el Comité de Expertos conjunto FAO/OMS (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud) y de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) reevaluó los HAPs identificados por el SCF y confirmó que 13 HAPs de los 15 son claramente genotóxicos y cancerígenos (excepto el benzo[ghi]perileno y

ciclopenta[cd]pireno). Posteriormente, en el año 2008 la EFSA catalogó los quince como prioritarios. Además, añadió el benzo[c]fluoreno a esos 15 HAPs tras los estudios realizados por el JECFA (EFSA, 2008). En la Tabla 1 se representa la estructura de veinte HAPs, de los cuales se encuentran remarcados en rojo los quince designados como cancerígenos por el SCF y en la Tabla 2 se encuentran los HAPs con sus correspondientes abreviaturas y el grupo al que pertenecen según la clasificación de la IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cancer). La IARC (IARC, 2015) ha clasificado un único HAP, el benzo[a]pireno, como carcinógeno para el ser humano (grupo 1), tres como probables carcinógenos para humanos (grupo 2A) y diez como posibles carcinógenos para humanos (grupo 2B).

En 2008, el Panel sobre Contaminantes de la Cadena Alimentaria (CONTAM) de la EFSA, a petición de la Comisión Europea, revisó la información disponible relativa a la toxicidad por HAPs, haciendo hincapié en la idoneidad de utilizar el B[a]P como único marcador de la presencia y efecto de los HAPs en los alimentos. Una de las conclusiones de este Panel fue que la caracterización del riesgo solo puede establecerse en aquellos HAPs para los que existe información acerca de su carcinogenicidad por vía oral (EFSA, 2008) en base a los estudios de Culp *et al.* (1998). En dichos estudios se estableció un grupo de 8 (HAPs8): B[a]P, B[a]A, B[b]F, B[k]F, B[ghi]P, Chr, DB[ah]A, e I[c]P. En la Tabla 3, estos compuestos se encuentran en las ocho primeras posiciones.

	Carnes y derivados	Pescado y marisco	Verduras y hortalizas	Tubérculos	Fruta	Huevos
HAPs totales	38,99	2,64	1,22	0,73	0,81	3,62
HAPs8	1,71	0,82	0,37	0,15	0,17	0,76
	Leche	Derivados lácteos	Pan y cereales	Legumbres	Aceites y grasas	Bollería
HAPs totales	0,47	7,57	1,27	1,50	18,75	1,43
HAPs8	0,10	1,58	0,26	0,31	3,92	0,28

Tabla 3. Concentración de HAPs en $\mu\text{g}/\text{kg}$ peso fresco. Valores medios por grupos de alimentos.

Además, este panel CONTAM concluyó que los grupos HAPs4 (B[a]P, CHR, B[a]A y B[b]F) y HAPs8 eran mejores indicadores de la incidencia de HAPs que el B[a]P por sí solo (Reglamento (UE) nº 835/2011). En cualquier caso, el B[a]P es el más estudiado y utilizado como indicador de la presencia de HAPs en el medio ambiente y en los alimentos, debido a su abundancia y a sus efectos tóxicos (EFSA, 2008).

Exposición de la población

Las personas pueden estar expuestas a estos compuestos en numerosos ambientes y a través de diferentes vías: inhalatoria, alimentos, agua e incluso percutánea (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, ATSDR, 1995).

Los HAPs son contaminantes orgánicos, volátiles en mayor o menor medida en función de su masa molecular y con gran capacidad de adsorción a partículas atmosféricas, lo cual favorece su transporte y su deposición a grandes distancias de la fuente emisora. De este modo, se trata de compuestos muy extendidos en el medio ambiente, capaces de alcanzar elevadas concentraciones en el aire en zonas con alta circulación de vehículos y fuentes directas de combustión, como en las grandes ciudades (Howsam y Jones, 1998), aunque se encuentran también en aguas, sedimentos y lagos de alta montaña (Vilanova *et al.*, 2001).

Las principales fuentes de contaminación del aire las constituyen los automóviles, los barcos, los aviones, las plantas de obtención de energía eléctrica, las calefacciones de los edificios y las incineradoras de residuos, así como procesos naturales como incendios forestales y erupciones volcánicas. En el caso de los fumadores, el tabaco se convierte en una de las principales fuentes de exposición.

La presencia de estos compuestos en los alimentos puede deberse a:

A. La contaminación ambiental:

- A través del aire, que constituye la principal fuente de contaminación por HAPs de los vegetales por deposición desde la atmósfera. Asimismo, varios autores señalan que las plantas

que presentan hojas anchas y gran superficie contienen cantidades más elevadas de HAPs que aquellas de hoja estrecha (Barber *et al.*, 2004).

- A través del suelo contaminado mediante absorción de HAPs por las raíces de los vegetales, aunque hay autores que indican que por su reducida solubilidad no pueden ser absorbidos por el sistema radicular de las plantas (Collins *et al.*, 2006).

- A través del agua marina contaminada, que afecta a los organismos acuáticos incorporando los HAPs transportados por el agua o a partir de sedimentos contaminados (Jonsson *et al.*, 2004). La acumulación de grandes cantidades de HAPs por los moluscos bivalvos permite su utilización como bioindicadores de contaminación medioambiental. Desde hace tiempo los mejillones se utilizan como organismos centinela gracias a su incapacidad metabólica y a su forma de vida sésil (Martín-Díaz *et al.*, 2007).

B. La manipulación y el procesado industrial de los alimentos en los siguientes procesos:

- Utilización de parafinas y aceites minerales (sustancias derivadas del petróleo) en tecnología alimentaria, en actividades como el desmolde de pasta de pan, la lubricación de piezas de equipos o el revestimiento interno de algunos sistemas de envasado.

- Ahumado, que aporta niveles variables de HAPs a los alimentos en función de factores como la composición de la madera, la técnica de ahumado utilizada (directa o indirecta), el tipo de generador, la accesibilidad de oxígeno, las temperaturas alcanzadas en el proceso y el tiempo que permanece expuesto el alimento (SCF, 2002; Codex, 2009).

- Tratamientos térmicos a los que están expuestos los alimentos en procesos como el secado, tostado, fritura, asado a la barbacoa y a la parrilla, así como la atomización o hidrogenación de grasas. Estos tratamientos térmicos severos (aproximadamente entre 400 y 800°C) se pueden aplicar a los alimentos de dos maneras:

Calentamiento indirecto: es el caso del horneado eléctrico, en el cual la fuente calefactora no entra en contacto directo con el producto sino que el calor se transmite hacia el alimento a través de una pared de metal. La formación de HAPs se debe a la pirólisis de los principios inmediatos intrínsecos del alimento. Fazio y Howard (1983) analizaron las cenizas obtenidas como resultado del calentamiento del almidón. A temperaturas inferiores a 370-390°C, los niveles de B[a]P no sobrepasaron los 0,70 µg/Kg. Sin embargo, cuando la temperatura alcanzaba los 650°C los niveles de dicho compuesto se incrementaron hasta 17

µg/Kg. Del mismo modo, en las cenizas resultantes del calentamiento de carbohidratos, aminoácidos y ácidos grasos a temperaturas en torno a los 300°C, no detectaron B[a]P a niveles cuantificables. Sin embargo, a temperaturas de 500-700°C en los mismos productos se obtuvieron 19 HAPs diferentes (entre ellos B[a]P).

Por último, en sus estudios sobre el calentamiento de lípidos observaron que en combustiones a 700°C se podían llegar a producir hasta 100 µg/Kg de B[a]P. Asimismo, se conoce que la pirólisis de los lípidos y especialmente la del colesterol, es la que produce niveles más elevados de estos HAPs (Menzie *et al.*, 1992).

Calentamiento directo: es el caso de técnicas como el asado a la barbacoa o en horno de gas, donde existe contacto directo entre el agente térmico y el alimento. Los alimentos que han sufrido un tratamiento térmico directo, pueden contaminarse a través de dos fuentes: por un lado mediante la pirólisis de los principios inmediatos, como sucede en el calentamiento indirecto y en segundo lugar, como resultado de la deposición de HAPs procedentes de los humos desprendidos en la combustión (Rey-Salgueiro *et al.*, 2004).

- Procesos de extracción y refinado del aceite, ya que la presencia de HAPs en los aceites vegetales no se atribuye únicamente al tipo y origen de la semilla (Programa Internacional sobre Seguridad Química, PICS, 1998), sino también a las condiciones de obtención y purificación del aceite, que son muy suaves en el aceite de oliva virgen y contiene por tanto reducidos niveles de HAPs.

La exposición por vía percutánea se produce cuando la piel entra en contacto con partículas del suelo, que poseen elevadas cantidades de HAPs, con productos como aceite de motor, o incluso algunos medicamentos de aplicación cutánea utilizados para el tratamiento de patologías dérmicas como el eccema, la psoriasis y algunas dermatitis, contienen HAPs (Agudo, 2010).

Alimentos implicados

Muchos de los alimentos que consumimos diariamente contienen HAPs, aunque sea en cantidades mínimas. Los niveles máximos de estos compuestos los encontramos en los

alimentos ahumados mediante técnicas tradicionales donde algunos pescados pueden contener hasta 1.200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Agencia de Normas Alimentarias, FSA, 2012), en los mariscos que se encuentran en aguas contaminadas (Perugini *et al.*, 2007), en las carnes a la parrilla y en menor medida en las grasas vegetales y en los aceites (EFSA, 2008).

Niveles inferiores de HAPs están presentes en las verduras y las hortalizas (Barber *et al.*, 2004), en los cereales y sus productos (Codex, 2009), encontrándose mayores concentraciones en los alimentos a base de harina integral (pan y cereales de desayuno) que en los elaborados a partir de harina refinada (Dennis *et al.*, 1991). También se ha detectado la presencia de HAPs en otros alimentos, como el café (Housseou *et al.*, 2006).

En un estudio sobre la dieta total en Cataluña (ACSA, 2008) se analizaron los diferentes grupos de alimentos en estado crudo (Tabla 3). Las concentraciones máximas de HAPs totales y del grupo HAPs8 se encontraron en la carne y derivados con niveles totales de 38,99 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (destacando el chorizo con 364,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$), en los aceites y las grasas con 18,75 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (resaltando la margarina con 19,25 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y en los derivados lácteos con 7,57 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (sobresaliendo la crema de caramelo con 12,80 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Sin embargo, en el pescado y el marisco solo se detectaron niveles de 2,64 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Atendiendo a la contribución de los alimentos a la ingesta de HAPs totales y HAP8, la carne y derivados (71,5% HAPs totales, 34,3% HAPs8) es el grupo de alimentos que más HAPs aporta, seguido de los aceites y grasas (7,7% HAPs totales, 16,5% HAPs8). Sin embargo, algunos alimentos como el grupo del pan y los cereales (4,3% HAPs totales, 9,2% HAPs8) o el de las verduras y las hortalizas (3,1% HAPs totales, 9,6% HAPs8), contribuyen en la misma medida que los derivados lácteos teniendo unos niveles de estos compuestos notablemente inferiores.

Asimismo, para valorar en qué medida contribuyen los distintos alimentos a la ingesta de HAPs debemos analizar, además de su concentración, la ingesta diaria de dicho alimento (EFSA, 2008). En este mismo estudio de la ACSA el pan y los cereales es el grupo de alimentos que se consume en mayor proporción (19%), seguido del grupo de la carne y derivados (13%) y de las verduras y hortalizas (12%).

Además, el pescado y marisco contribuyen de manera poco significativa a la ingesta de HAPs. No obstante, como se observa en la Tabla 4, existen notables diferencias en los niveles de estos compuestos para los distintos alimentos de este grupo, encontrándose concentraciones máximas en el mejillón, la almeja y la gamba, medias en el pescado azul y mínimas en el pescado blanco (lenguado, merluza y salmonete), la sepia y el calamar (ACSA 2005). Teniendo en cuenta la ingesta diaria estimada, los crustáceos y el marisco aportan el 40% de los HAPs, el pescado azul el 36% y el pescado blanco sólo el 24%.

	Sardina	Atún	Boquerón	Caballa	Emperador	Salmón	Merluza
HAPs totales	5,29	4,00	6,80	9,43	6,03	5,95	3,18
	Lenguado	Sepia	Calamar	Almeja	Mejillón	Gamba	Media
HAPs totales	2,52	2,99	3,00	21,46	22,44	15,88	8,01

Tabla 4. Concentración de HAPs ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso en fresco) en el pescado y marisco.

	Consumo medio (g/día)	B[a]P (ng/día)	HAP8 (ng/día)
Cereales	257	67	393
Azúcar y sus productos	43	5	39
Grasas animales y vegetales	38	26	239
Verduras, frutos secos y legumbres	194	50	378
Fruta	153	5	87
Carne y productos cárnicos	132	42	279
Marisco	27	36	421
Pescado y productos de la pesca	41	21	210
Café y té (expresado en líquido)	601	21	156

Tabla 5. Exposición de los consumidores al B[a]P y a los HAPs8 e ingesta media diaria para cada grupo de alimentos.

En un estudio similar realizado en 2005 por la EFSA (EFSA, 2008) con la participación de 16 países europeos, se obtuvieron unos resultados diferentes, indicados en la Tabla 5. El marisco constituía la principal contribución de HAP8 a la ingesta, seguido de los cereales y del grupo de las verduras, legumbres y frutos secos.

Por su parte, el Codex establece que los alimentos que más contribuyen a la ingesta de HAPs son los cereales y sus productos debido a su frecuente consumo en la alimentación y las grasas vegetales y los aceites por los altos niveles de HAPs que contienen. En cuanto al pescado y las carnes ahumadas y a la parrilla, a pesar de sus altas concentraciones de HAPs, no suponen una contribución significativa ya que generalmente constituyen una pequeña parte de la alimentación y sólo si dichos alimentos forman parte de la dieta habitual de un individuo, supondrán un consumo importante de HAPs y por tanto, un riesgo considerable para su salud (Codex, 2009).

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria (ACSA). 2005. Contaminantes químicos en pescado y marisco consumido en Cataluña. Evaluación de la ingesta diaria. https://www.gencat.cat/salut/acsa/html/es/dir1599/dd16977/contaminants_web_es.pdf.

Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria (ACSA). 2008. Contaminantes químicos. Estudio de dieta total en Cataluña. <https://www.gencat.cat/salut/acsa/html/es/dir1593/edt2008es.pdf>.

Agencia de Normas Alimentarias (FSA). 2012. Polycyclic aromatic hydrocarbons in cereals, cereal products, vegetables, vegetable products and traditionally smoked foods. <https://www.food.gov.uk/sites/default/files/multimedia/pdfs/poly-aromatic-hydrocarbons.pdf>. Consultado: 12/03/2015.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 1995. Resumen de Salud Pública. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs69.pdf. Consultado: 03/04/2015

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 1996. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs). http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts69.html.

Agudo, A. Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP). Acercamiento a su problemática como riesgo laboral, Metal, Construcción y Afines de UGT (MCA-UGT) Federación de Industria. Madrid: Metal, Construcción y Afines de UGT (MCA-UGT), Federación de Industria, 2010, 1-127.

Albers, PH. Petroleum and individual polycyclic aromatic hydrocarbons. En *Handbook of Ecotoxicology*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1995, 330-355.

Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). 2008. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. *The EFSA Journal* 724:1-114.

Barber, JL; Thomas, GO; Kerstiens, G y Jones, KC. 2004. Current issues and uncertainties in the measurement and modelling of air-vegetation exchange and within-plant processing of POPs. *Environmental Pollution* 128:99-138.

Codex Alimentarius. 2004. Joint FAO/WHO food standards programme Codex Committee on food additives and contaminants. Discussion paper on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contamination. ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCFAC/ccfac37/fa37_34e.pdf.

Codex Alimentarius. 2009. Código de prácticas para reducir la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en los alimentos producidos por procedimientos de ahumado y secado directo. CXP_068s.pdf.

Collins, C; Fryer, M y Grosso, A. 2006. Plant uptake of non ionic organic chemicals. *Environmental Science and Technology* 40: 45-52.

Comité Científico de la Comisión Europea sobre la Alimentación Humana (SCF). 2002. Opinion of the science committee on food on the risk to human health of polycyclic aromatic hydrocarbons occurrence in food. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out153_en.pdf

Comité de Expertos conjunto FAO/OMS (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Safety evaluation of certain contaminants in food. *FAO WHO Food Additives Series* 55:82 http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241660554_eng.pdf.

Culp, SJ; Gaylor, DW; Winslow, GS; Goldstein, LS y Beland, FA. 1998. A comparison of the tumors induced by coal tar and benzo[a]pyrene in a 2-year bioassay. *Carcinogenesis* 19:117-124.

Dennis, MJ; Massey, RC; Cripps, G; Venn, I; Howarth, N y Lee, G. 1991. Factors affecting the polycyclic aromatic hydrocarbon content of cereals, fats and other food products. *Food Additives and Contaminants* 8:517-530.

Fazio, T y Howard, JW. Polycyclic aromatic hydrocarbons in foods. En *Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. New York: Bjorseth, 1983, 461–505.

Housseou, JK; Delteil, C y Camel, V. 2006. Investigation of sample treatment steps for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in ground coffee. *J. Agric. Food Chem.* 54: 7413-7421.

Howsam, M y Jones, KC. Sources of PAHs in the environment. En *PAHs and related compounds 3/I*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998, 137-174. Neilson AH: DOI: 10.1007/978-3-540-49697-7.

International Agency for Research on Cancer (IARC). 2015. Agents Classified by the IARC Monographs, 1–113. http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php.

Jonsson, G; Bechmann, RK; Bamber, SD y Baussant, T. 2004. Bioconcentration, biotransformation, and elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons in sheepshead minnows (*Cyprinodon variegatus*) exposed to contaminated seawater. *Environmental Toxicology Chemistry* 23:1538-1548.

Katiyar, SK; Agarwal, R y Mukhtar, H. *CRC Handbook of Chromatography: Liquid chromatography of polycyclic aromatic hydrocarbons*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1993, 1-17.

Martín-Díaz, ML; Blasco, J; Sales, D y DelValls, TA. 2007. Biomarkers study for sediment quality assessment in Spanish ports using the crab *Carcinus maenas* and the clam *Ruditapes philippinarum*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 53:66-76.

Menzie, CA; Potocki, BB y Santodonato, J. 1992. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment. *Environ Sci Technol.* 26:1278-1284.

Perugini, M; Visciano, P; Manera, M; Turno, G; Lucisano, A y Amorena, M. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons in marine organisms from the gulf of Naples, Tyrrhenian Sea. *J Agric Food Chem.* 55:2049-2054.

Programa Internacional sobre Seguridad Química (PICS) de la Organización Mundial de la Salud (OMS). 1998. Selected Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *OMS*, 202 <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc202.htm>.

Rey-Salgueiro, L; García-Falcón, MS; Soto-González, B y Simal-Gándara, J. 2004. Procedure to measure the level of polycyclic aromatic hydrocarbons in wood ashes used as fertilizer in agroforestry soils and their transfer from ashes to water. *J Agric Food Chem.* 52:3900-3904.

Unión Europea. 2011. Reglamento (UE) nº 835/2011 de la Comisión, de 19 de agosto de 2011, que modifica el Reglamento (CE) nº 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 20 de agosto de 2011, 215: 4-8.

Van Schooten, FJ; Moonen, EJC; Van der Wal, L; Levels, P y Kleinjans, JCS. 1997. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) and Their Metabolites in Blood, Feces, and Urine of Rats Orally Exposed to PAH Contaminated Soils. *Arch Environ Contam Toxicol.* 33:317-322.

Vilanova, RM; Fernández, P; Martínez, C y Grimalt, JO. 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbons in remote mountains lake waters. *Water Research* 35:3916-3926.