

Trabajo de Fin de Grado

EFECTOS DE LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS EN LA SALUD

Grado en Nutrición Humana y Dietética

Curso 2023/24

Índice

1. Resumen.....	2
2. Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Objetivos.....	4
5. Material y métodos.....	5
6. Discusión.....	6
6.1. Efectos de los HAPs en la salud.....	10
6.2. Grupos poblaciones más vulnerables.....	14
6.3. Importancia de los HAPs a nivel dietético.....	15
6.4. HAPs como problema de salud pública.....	17
7. Conclusiones.....	20
8. Bibliografía.....	22

Datos referidos a la memoria:

Número de páginas de la memoria	28
Número de palabras totales de la memoria sin contar resumen, abstract, pie de tablas o figuras y referencias.	4966
Número de palabras del resumen	162
Número de palabras del abstract	154

Índice abreviaturas

ADN	Ácido desoxirribonucleico
AESAN	Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
ELIKA	Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria
HAPs	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
IARC	Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
OCU	Organización de Consumidores y Usuarios
TDAH	Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad

1. Resumen.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos han sido objeto de estudio desde su descubrimiento debido a su toxicidad. No fue hasta el siglo XVIII cuando se asociaron estos compuestos con la aparición de cáncer escrotal en deshollinadores. A partir de ese momento, se han encontrado numerosas repercusiones para la salud humana, especialmente del benzopireno, que resulta el compuesto con mayor capacidad carcinogénica. En este trabajo se tratará este grupo de sustancias en conjunto, destacando solamente el benzopireno, y comentando aquellos presentes mayoritariamente en alimentos. Además, se aportarán medidas de prevención tanto alimentarias como laborales, destacando aquellos grupos poblacionales más vulnerables a su exposición. Por último, se concluirá la importancia de estos compuestos en la salud pública, comentando que a pesar de que la exposición actual no resulta determinante para la salud, es de especial importancia su concienciación por parte de la población, con el fin de la ejecución de prácticas que minimicen lo máximo posible la exposición tanto humana como ambiental de estos compuestos.

Palabras clave: HAPs, salud, alimentos, benzopireno, cáncer.

2. Abstract.

Polycyclic aromatic hydrocarbons have been the subject of study since their discovery due to their toxicity. It was not until the 18th century when these compounds were associated with the appearance of scrotal cancer in chimney sweeps. From that moment on, numerous repercussions for human health have been found, especially for benzopyrene, which is the compound with the greatest carcinogenic capacity. Regarding this investigation, this group of substances will be treated as a whole, highlighting only benzopyrene, and commenting on those present mainly in foods. In addition, both food and work prevention measures will be provided, highlighting those population groups most vulnerable to exposure. Finally, the importance of these compounds in public health will be concluded, commenting that although current exposure is not decisive for health, raising awareness among the population is of special importance, in order to implement practices that minimize as much as possible both human and environmental exposure to these compounds.

Key words: PAHs, health, food, benzopyrene, cancer.

3. Introducción.

En 1775, Sir Percival Pott, un reconocido médico inglés, estudió la curiosa causa del cáncer escrotal que aparecía en los deshollinadores de chimeneas. Asimismo, su hipótesis exponía la aparición de este cáncer debido al contacto continuo con el hollín, el cual contenía hidrocarburos, dentro de otras numerosas sustancias perjudiciales para la salud de los trabajadores. A partir de esa fecha, comenzó poco a poco la investigación sobre estas sustancias, siendo aisladas del alquitrán de carbón en 1932. Más tarde, en 1950, se describieron como cancerígenos alimentarios potenciales, ya que se observó una elevada frecuencia de cánceres de estómago en aquellas poblaciones que consumían productos ahumados.

A lo largo de los años, se ha descubierto que estas sustancias se encuentran en el medio ambiente, con lo cual, resulta inevitable su exposición. Es por ello, que a lo largo de este trabajo se comentarán estas sustancias a nivel general, destacando aquellas presentes en alimentos. Asimismo, se mostrarán aquellos efectos perjudiciales para la salud, incidiendo en la importancia de la concienciación sobre el impacto de los mismos en el organismo en aquellos colectivos poblacionales más vulnerables. Por último, se indicarán una serie de medidas de prevención a llevar a cabo por la población general en el campo de la alimentación, ya que los productos ahumados han sido desde hace siglos un método de conservación muy frecuente. No obstante, el producto ahumado por excelencia suele ser el salmón, ya que es de los pescados más elegidos.

4. Objetivos.

- Realizar una búsqueda bibliográfica y exponer los efectos que provocan los HAPs en la salud humana.
- Mostrar cómo se forman los HAPs y qué variables influyen en su concentración.
- Evaluar los alimentos/grupos alimentarios más afectados por estas sustancias.
- Analizar la carcinogenicidad del benzopireno.
- Ofrecer estrategias y alternativas para reducir en la medida de lo posible la exposición a estas sustancias.

5. Material y métodos.

Para la elaboración de este trabajo realizado entre los meses de enero y mayo de 2024, en primera instancia, se realizó una lectura de la información presente en la institución con más prestigio en el campo de la nutrición en España, la AESAN. También se ha consultado la información vigente de la ELIKA, cuyo enfoque es la seguridad alimentaria.

Seguidamente, se ha procedido a la revisión de la literatura presente hasta la fecha, consultando los siguientes libros:

- Cameán Fernández, Ana María; Repetto, Manuel; Alegría, Amparo. *Toxicología Alimentaria*. Diaz de Santos; 2006. ¹
- Agudo, Antonio. *Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP). Acercamiento a su problemática como riesgo laboral*. Metal, Construcción y Afines de UGT (MCA-UGT), Federación de Industria; Madrid; 2010. ²

Por último pero no menos importante, se ha realizado una búsqueda de información en algunas bases de datos (ClinicalKey, Dialnet, Google Académico, SciELO y PubMed), siguiendo los siguientes criterios:

- Artículos de libre acceso y gratuitos.
- Idioma: español.
- Sin límite en la antigüedad de la publicación.
- Información relacionada con los efectos en la salud humana que provocan los HAPs.

Las palabras claves en este caso utilizadas han sido: “hidrocarburos aromáticos policíclicos”, “HAPs”, “efectos en la salud” y “cáncer”.

Los criterios de exclusión han sido el no estar relacionado con ningún efecto en la salud o bien no mostrar una clara evidencia de la causalidad de la exposición de HAPs en la salud humana.

6. Discusión.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son un grupo de más de 100 sustancias químicas diferentes. Estas sustancias son compuestos orgánicos formados por anillos bencénicos fusionados formados en su mayoría principalmente por carbono (C) e hidrógeno (H). No obstante, también se pueden hallar elementos como el nitrógeno (N), el azufre (S) y oxígeno (O). Raramente en la naturaleza se encuentran de manera individual, pues de por sí van a estar en forma de mezclas de distintos hidrocarburos.

Estos compuestos existen de manera natural en el petróleo, en el carbón, el alquitrán y en aquellos productos usados como combustibles². No obstante, también se pueden formar principalmente por dos tipos de procesos: por procesos naturales como por ejemplo, las erupciones volcánicas o los incendios, o bien, por procesos antropogénicos, que generan del mismo modo estos compuestos debido a la combustión incompleta de materias primas y pirólisis de sustancias de carácter orgánico como por ejemplo, las grasas. Resulta de especial relevancia el control de los procesos antropogénicos, ya que aumentan con creces la cantidad de HAPs que de por sí se forman debido a los procesos naturales anteriormente comentados. Por otro lado, pero no menos importante, una fuente que genera estas sustancias en menor medida pero que causa de igual manera un impacto negativo tanto en el medio ambiente como en la salud humana es el tabaco. Asimismo, representa la principal vía de exposición a HAPs en personas fumadoras. En cambio, en la población no fumadora, la exposición dietética correspondería al 70%, mientras que la exposición pasiva al tabaco se englobaría en el 30% restante.

A pesar de las distintas fuentes de formación de hidrocarburos, la concentración de los mismos varía de acuerdo a varios factores que se exponen a continuación:

1. Naturaleza de la fuente de energía utilizada, teniendo el carbón más impacto que una fuente de energía eléctrica.
2. Contacto entre los alimentos y la fuente de calor, asimismo, los hidrocarburos se forman por la exposición directa del alimento a las llamas y además, por el goteo de la grasa del mismo sobre la fuente de calor.
3. Temperatura de combustión, ya que se forman a partir de 300 – 400°C.
4. Composición nutricional del alimento, siendo las grasas y proteínas los nutrientes claves para la generación de HAPs. Asimismo, la cantidad generada es directamente proporcional al contenido de estos nutrientes en el alimento.

- La utilización de parafinas y aceites minerales derivados del petróleo, debido a que estos materiales se utilizan para la lubricación de piezas que entran en contacto con los alimentos (ejemplo: parrillas) aumentando el contenido de hidrocarburos en los alimentos.³

Extrapolando estos compuestos hacia el campo de la nutrición, el proceso de formación se da en procesos culinarios que impliquen altas temperaturas como por ejemplo, el ahumado, secado o calentamiento de los alimentos. Cabe destacar, que la contaminación ambiental va a ser un factor relevante en la aparición de HAPs en los alimentos. Asimismo, hoy en día existen métodos de detección para detectar su presencia en los alimentos.^{4,5}

Dentro de este grupo de sustancias, la más estudiada hasta el momento es el benzopireno, conocido por su potencial efecto carcinogénico y además su carácter bioacumulativo, que se comenta en el apartado 6.1 de este trabajo. No obstante, muchos de los HAPs presentan carcinogenicidad. Asimismo, la IARC los ha clasificado como agentes carcinógenos para el ser humano (Grupo 1), probablemente carcinógeno (Grupo 2A) o posibles cancerígenos humanos (Grupo 2B), tal y como se refleja en la Tabla 1.

CLASIFICACIÓN DE LA IARC	SUSTANCIA
Grupo 1	Benzopireno
Grupo 2A	Dibenzo[a,h]antraceno Dibenzo[a,i]pireno
Grupo 2B	Benzo[a]antraceno Benzo[b]fluoranteno Benzo[j]fluoranteno Benzo[k]fluoranteno Criseno Dibenzo[a,h]pireno Dibenzo[a,i]pireno Indeno[1,2,3-cd]pireno 5-Metilcriseno

Tabla 1. Clasificación de la IARC de los 12 HAPs más relevantes. Elaboración propia basada en una ficha técnica elaborada por la AESAN.⁶

Es relevante recalcar que aunque algunas de estas sustancias carecen de propiedades mutágenas y cancerígenas, sin embargo, tienen una función co-cancerígena cuando se aplican simultáneamente con sus homólogos cancerígenos.⁷

Continuando con la carcinogenicidad, es importante mencionar, que de todas estas sustancias, hasta el momento se han identificado solo cinco de ellas con actividad cancerígena por vía oral. Estas sustancias son:

- Benzopireno
- Benzo(a)antraceno
- Dibenzo(a,h)antraceno
- Dimetilbenzo(a)antraceno
- Metilclorantraceno⁷

De estas cinco sustancias, solamente las tres primeras han sido detectadas en los alimentos. Asimismo, cabe mencionar que los alimentos con mayor contribución a la exposición dietética total en la población general son los cereales y productos a base de cereales, los pescados y productos de la pesca (sobre todo los ahumados) y los alimentos elaborados a la parrilla (engloban carnes y pescados). En menor cantidad, estas sustancias se han hallado en aceites y grasas, tubérculos, legumbres, leche y café. Aparte, se han hallado en margarina y mayonesa como consecuencia del uso de aceites minerales en el proceso industrial de elaboración de las mismas (la explicación de ello se trata en el apartado 6.3). Por otra parte, debido a la contaminación ambiental resulta de especial interés el contenido de HAPs que se halla en mariscos y moluscos bivalvos, ya que por ejemplo, las ostras tienden a acumular HAPs con menor peso molecular y mayor hidrosolubilidad.⁸

Cabe destacar, que para conocer realmente qué cantidad se ingiere de estas sustancias habría que valorar la ingesta diaria del alimento o grupo alimentario en cuestión. A continuación, se muestra una aproximación de la exposición a HAPs (por una parte, benzopireno, y por otra parte al conjunto de 8 hidrocarburos aromáticos policíclicos) realizada en 2005 por la EFSA, de acuerdo a la ingesta de 16 países europeos:

	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 2. Exposición de los consumidores al B[a]P y a los HAPs8 e ingesta media diaria para cada grupo de alimentos.⁹

En este estudio, se vio que el grupo que mayor contribución ejercía era el marisco, seguido de cereales y verduras, legumbres y frutos secos. A pesar de esto, según la aclaración del *Codex Alimentarius* en el 2009, en la actualidad, el grupo predominante en la dieta son los cereales por lo que van a contribuir en mayor medida a la ingesta de HAPs, además de las grasas vegetales y aceites. Por otra parte, tanto los pescados como las carnes ahumadas y a la parrilla pueden contener concentraciones elevadas de HAPs, pero su contribución no resulta muy significativa en relación a los grupos anteriormente comentados ya que su consumo no forma parte de la dieta habitual.

6.1. Efectos de los HAPs en la salud.

Desde el siglo pasado se han estudiado los efectos que producen los HAPs en la salud. Es por ello, que los más estudiados y demostrados son de carácter carcinogénico. No obstante, los efectos que provocan estas sustancias en el organismo van a depender de los siguientes aspectos:

- Vía de entrada.
- Metabolismo.
- Transformaciones en el organismo una vez absorbidos.
- Características químicas de los compuestos y sus derivados.

Comentando estos aspectos con detalle, las vías de entrada al organismo pueden ser de tres tipos: por vía oral, por vía inhalatoria, o bien, por vía cutánea. Una vez absorbidas, estas sustancias se distribuyen por los tejidos, afectando al sistema digestivo, a los pulmones, o bien a la piel, de acuerdo a la vía de entrada al organismo. Asimismo, pueden afectar a órganos o tejidos con elevado contenido graso como es el hígado, no obstante, estas sustancias no tienen la capacidad de acumularse (a excepción del benzopireno) en el organismo, por lo que su eliminación será por la vía urinaria y/o fecal. En relación a su metabolismo, una vez llegan al hígado, ocurre un proceso de oxidación-conjugación (con glutatión). Como aspecto importante en este paso, este proceso conlleva la generación de epóxidos altamente reactivos que pueden unirse a moléculas complejas como por ejemplo, las proteínas o el ADN. Es relevante resaltar la unión al ADN, ya que los HAPs se caracterizan por la capacidad genotóxica, relacionándose así con innumerables efectos negativos sobre la salud del individuo. Tras la etapa de oxidación-conjugación, el compuesto pierde su liposolubilidad y se favorece así su eliminación por las vías anteriormente comentadas gracias a su nuevo carácter hidrosoluble.

De todas las sustancias que se engloban dentro de los HAPs, el benzopireno es el que más llama la atención, por su capacidad carcinogénica, genotóxica y mutagénica. No obstante, todas las sustancias constituyentes de este grupo tienen efectos nocivos para la salud humana. El benzopireno se diferencia del resto por su carácter bioacumulativo, poseyendo una elevada potencialidad para inducir tumores, concretamente el de pulmón, ya que genera irritabilidad en las vías aéreas. Aparte de esto, en relación al medio ambiente resulta un tóxico ambiental de especial importancia ya que puede permanecer hasta 162 días en el suelo, lo cual lo convierte en un perfecto elemento de referencia para estudios relacionados con el medio ambiente. Como curiosidad, esta sustancia posee carácter bioacumulativo en animales invertebrados, al igual que en el ser humano. Ciertos estudios han hallado concentraciones en algunos moluscos bivalvos como almejas u ostras.^{10,11}

A continuación, se clasifican en una tabla resumidamente los efectos que pueden provocar los HAPs en la salud:

CARCINOGENICIDAD	Capacidad genotóxica que incrementa el riesgo de desarrollar ciertos tipos de cánceres o tumores.	<ul style="list-style-type: none"> - Cáncer de pulmón. - Cáncer de piel. - Cáncer de vejiga urinaria. - Tumores en tracto gastrointestinal, piel, pulmones, huesos, mamas y estómago.
PROBLEMAS IRRITATIVOS POR CONTACTO	En la piel	<ul style="list-style-type: none"> - Dermatitis. - Edemas.
	En los ojos	<ul style="list-style-type: none"> - Lagrimeo. - Fotofobia. - Edema en los párpados. - Hiperemia conjuntival.
	En las mucosas	<ul style="list-style-type: none"> - Daños de carácter irritativo.
TOXICIDAD RESPIRATORIA	Irritación de las vías aéreas superiores.	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para respirar. - Bronquitis. - Tos crónica. - Disminución de la función pulmonar. - Dolor de garganta.
TOXICIDAD HEPÁTICA Y RENAL	Presentan hepatotoxicidad y nefrotoxicidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Hepatitis. - Cirrosis. - Esteatosis hepática no alcohólica. - Enfermedades renales crónicas.
ALTERACIONES EN EL SISTEMA INMUNITARIO	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la capacidad para combatir infecciones después de la exposición tanto a corto como a largo plazo.* - Mayor susceptibilidad para padecer enfermedades autoinmunes.* <p>*No se dispone de suficiente información para demostrar estos efectos en seres humanos.</p>	
ALTERACIONES CARDIOVASCULARES	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor riesgo de ataques cardíacos y accidentes cardiovasculares. - Relación con la mortalidad por cardiopatía isquémica. 	

ALTERACIONES NEUROLÓGICAS	<u>Exposición crónica:</u> - Desarrollo de trastornos neurológicos (Parkinson, esclerosis múltiple) - Deterioro cognitivo. - Desarrollo de TDAH en población infantil. - Anomalías estructurales en distintas regiones cerebrales en adultos.	<u>Exposición aguda:</u> - Mareos. - Confusión. - Debilidad muscular.
DISRUPCIÓN ENDOCRINA	Problemas reproductivos	- Disminución de la calidad del esperma. - Disminución de la función ovárica.
	Alteraciones en el desarrollo sexual.	
	Anormalidades tiroideas.	
PROBLEMAS EN EL DESARROLLO DEL FETO	Capacidad para atravesar la barrera placentaria.	-Malformaciones congénitas. - Problemas en el desarrollo y crecimiento del feto. - Bajo peso al nacer.

Tabla 3. Efectos que pueden producir los HAPs en la salud. Elaboración propia.

De todos los efectos anteriormente comentados, resulta llamativa la capacidad carcinogénica, aunque a pesar de ello, esta propiedad de los HAPs se ha asociado con:

1. La complejidad de la molécula (nº de anillos).
2. El peso molecular.
3. El carácter lipofílico.
4. La activación metabólica a un intermediario diolepóxido reactivo.
5. Capacidad de unirse covalentemente al ADN.⁷

Hoy en día resulta llamativo el estudio de los HAPs en el sentido de valorar la exposición a estas sustancias mediante la valoración del metabolito 1-hidroxipireno (1-OH). En estos estudios se observan resultados en individuos fumadores mayores al resto de sujetos no fumadores.

No obstante, es necesaria la continuación de la investigación en este campo para poder obtener índices referenciales con el fin de evaluar la exposición a HAPs como compuestos cancerígenos.¹²

Como conclusión de este punto, se podría decir que los HAPs impactan gravemente en la salud humana tanto a corto como a largo plazo. Aun así, los efectos varían de una persona a otra, ya que se presenta una duración de la exposición e intensidad de la misma diferente.

Además, es importante recalcar que no todos los HAPs poseen capacidad carcinogénica ni afectan de igual manera a la salud. No obstante, se presentan normalmente en forma de mezclas de hidrocarburos, siendo difícil encontrar una relación directa entre determinada sustancia y determinado efecto en la salud. Sin embargo, como se ha nombrado anteriormente, hoy en día el hidrocarburo más estudiado es el benzopireno, cuyas propiedades y efectos en la salud se comentan a lo largo de este trabajo.

6.2. Grupos poblaciones más vulnerables.

Los dos grupos poblacionales considerados más vulnerables a la exposición de estas sustancias son por un lado, los bebés y los niños pequeños, debido a la inmaduración del organismo y la dieta en las primeras etapas de la vida, y por otro lado, las embarazadas, por las consecuencias que afectan al desarrollo y crecimiento del feto y futuro bebé.

Es por ello, que el embarazo resulta una etapa crítica en cuanto a la exposición de tóxicos ambientales en general, por lo que se debe minimizar su exposición lo máximo posible, ya que produce una alteración a gran escala en el sistema hormonal de la mujer. Asimismo, esta alteración puede derivar en consecuencias adversas para la salud del embarazo, como son los partos prematuros, o bien, que el bebé presente menor coeficiente intelectual, o bien, futuras alteraciones de la conducta en la infancia.¹³

Un reciente estudio realizado en 2014 publicado por la Revista de Neurología muestra que, los niños de madres que se expusieron a niveles altos de HAPs durante el embarazo tenían cinco veces más probabilidades de presentar numerosos síntomas del TDAH, en comparación con el grupo de mujeres cuya exposición fue baja o inexistente.¹⁴

Es importante realizar desde el campo de la salud pública las medidas necesarias de concienciación dirigidas al colectivo de las embarazadas con el fin de que se minimice la exposición a estas sustancias, además de evitar la exposición al tabaco, ya que como se ha comentado, este contiene una cantidad considerable de HAPs, y además su exposición durante el embarazo está relacionada con el desarrollo de TDAH durante la infancia.¹⁵⁻¹⁸

En cuanto al colectivo de los bebés, resulta de especial atención la ingesta de cereales, ya que estos son la base de su dieta y en este grupo alimentario se han hallado estos contaminantes químicos, como se ha comentado en el apartado 6.

Como curiosidad y grupo destacable, aparte de los grupos vulnerables anteriormente comentados, se sitúa el colectivo de los bomberos. La exposición laboral al humo puede llegar a ser significativa para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares¹⁹, cáncer de próstata y testículos²⁰, e incluso, enfermedades neurodegenerativas²¹, entre otras. Aunque no se ha establecido una relación causal, resulta importante su estudio para tratar de buscar maneras de regular la exposición a estas sustancias y ultimar los equipos de protección.

6.3. Importancia de los HAPs a nivel dietético.

Los HAPs pueden introducirse en la cadena alimentaria por tres vías:

1. A través del medio ambiente por la actividad industrial, la generación de residuos, la deposición en el mar afectando a la fauna marina o en el campo afectando a los cultivos, entre otros.
2. En la industria alimentaria debido a procesos como el secado industrial de cereales y aceites, o el ahumado de pescados y carnes.
3. Por la preparación culinaria, ya que la formación de estos compuestos es directamente proporcional a las condiciones de cocinado (temperatura y tiempo de cocción) siendo 300°C la temperatura a la cual comienzan a formarse los benzopirenos y demás HAPs.²²

Dentro de la industria alimentaria, los HAPs pueden llegar a los alimentos por medio del uso de aceites minerales empleados a lo largo de la cadena alimentaria. Estos son productos obtenidos de la destilación del petróleo que se caracterizan por presentar multitud de usos en la industria alimentaria como por ejemplo, su uso en la lubricación de piezas mecánicas, en el revestimiento interno de sistemas de empaquetamiento de cartón y polietileno, para proteger la fruta y los huevos contra la desecación, entre otros usos.

Aparte de los hidrocarburos aromáticos, existen otros tipos de hidrocarburos presentes en los aceites minerales: parafinas y naftenos. Centrándonos en los aromáticos, la EFSA ha agrupado los aceites minerales en 2 categorías:

1. Aceites minerales saturados (MOSH)
2. Aceites minerales aromáticos (MOAH)

Existen varios estudios que tratan la migración de aceites minerales que concluyen que existe una transferencia significativa hacia los alimentos, como por ejemplo, en la margarina y en la mayonesa.¹ Asimismo, esto se da cuando no se utilizan barreras funcionales como bolsas o recubrimientos que impidan la migración. Algunas medidas preventivas podrían ser: el empleo de materiales que sirvan de barrera funcional (el uso de cartón reciclado resultó ser una fuente significativa de exposición) y por otro lado, la separación de las fuentes de fibra para reciclar, además de incrementar el reciclado de los envases para evitar el uso de aceites minerales en la producción de los mismos.

A pesar de esto, la EFSA ha concluido que tanto los MOSH como los MOAH presentan una baja toxicidad aguda, por lo que no se consideró relevante su ingesta aguda, no descartando así sus posibles efectos a largo plazo. Además, es importante

destacar que no constan datos de dosis-respuesta de las mezclas de hidrocarburos aromáticos con respecto a su carcinogenicidad, por lo que no se ha establecido un margen de exposición, no obstante, la EFSA considera la exposición a estas sustancias como una potencial preocupación. Asimismo a nivel de la Unión Europea, se ha publicado la Recomendación (UE) 2017/84 de la Comisión, de 16 de enero de 2017, que trata de la vigilancia de los hidrocarburos de aceites minerales en alimentos, materiales y objetos que entren en contacto con alimentos.

No obstante, la manera en la que estas sustancias llegan finalmente a los alimentos se debe a diversos factores, como por ejemplo, el propio proceso de fabricación de los mismos, o bien, por la migración de sustancias del envase al alimento como puede ocurrir en el caso del recubrimiento de cera de los envases de papel y cartón de las frutas. Sin embargo, esto dependerá de las cualidades del alimento en cuestión (vida útil, características físico-químicas, condiciones de transporte y almacenamiento, etc).

En los últimos años, se ha estudiado el tema de la migración de las sustancias hacia los alimentos como consecuencia del tipo de material empleado en la fabricación de piezas empleadas en la cocina, como por ejemplo, en los moldes de silicona empleados en la repostería. Asimismo, la OCU ha analizado diferentes tipos de materiales, entre los que se encuentran envases y utensilios de un solo uso de papel y cartón y menaje elaborado con fibras vegetales, para comprobar su inocuidad. Es por ello, que de 23 moldes analizados, solo 4 son estables y seguros, encontrándose sustancias peligrosas o incluso incumpliendo la normativa en el resto de moldes. A pesar de ello, actualmente no se cuenta con ninguna normativa que regule la cantidad máxima de una sustancia que puede transferirse a los alimentos y no resultar peligrosa para la salud.²³

Como conclusión, es importante poner en el punto de mira los aceites minerales empleados en la industria alimentaria, valorando las ventajas y desventajas que presenta el uso de envases de papel y cartón como reemplazo al uso de plástico en los mismos, ya que visto desde una perspectiva de la salud, ambos materiales producen consecuencias dañinas a largo plazo. Sería conveniente además, regular el uso de silicona en los productos de cocina realizando controles exhaustivos de las marcas presentes que garanticen una adecuada seguridad alimentaria para los consumidores.

6.4. HAPs como problema de salud pública.

Hoy en día, el asado es una técnica de cocción muy utilizada para la elaboración de carnes, pescados, verduras, entre otros alimentos. Habitualmente se realizan malas prácticas a la hora de cocinar los alimentos, dejándolos en la parrilla más tiempo del que deben, sobreponiendo y acumulándose así HAPs en los mismos. No es por ello que el consumo ocasional de estos alimentos sea perjudicial para la salud, si no que, en su lugar, resulta de especial importancia la concienciación de la población en relación a los problemas a largo plazo que pueden causar estas sustancias, especialmente el benzopireno por su carácter acumulativo y su potencial carcinogenicidad. Aparte de esto, esta sustancia se encuentra en el tabaco, por lo que para las personas expuestas al humo del tabaco supondría un factor sumatorio a la exposición que ya conlleva la ingesta de este tipo de alimentos.

En Canarias, se han realizado varios estudios que analizan la concentración de estas sustancias en distintos alimentos. Uno de ellos fue realizado en el año 2013 por investigadores de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Asimismo, analizaron la presencia de contaminantes en los huevos producidos localmente en el archipiélago, y encontraron que los consumidores canarios de huevos ecológicos o de corral se exponen a una concentración hasta cuatro veces más baja de HAPs. Con lo cual, es relevante aunque la cantidad de HAPs en estos alimentos no sea determinante para la salud, se cree conciencia sobre ello en la población canaria con el fin de reducir la exposición a estos contaminantes.²⁴

En cuanto a legislación, el límite legal de HAPs se refleja en el Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión de 25 de abril de 2023, relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 1881/2006. En él, se incluyen alimentos ahumados, hierbas secas, y aceites y grasas entre otros alimentos. En cuanto al agua de consumo humano, actualmente el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero establece los criterios sanitarios de calidad de la misma, con un contenido máximo de benzopireno de 0,010 µg/l y por otro lado, de HAPs de 0,10 µg/l siendo este valor la suma de:

- benzo(b)fluoranteno
- benzo(g,h,i)perileno
- benzo(k)fluoranteno
- indeno(1,2,3-cd)pireno

Por otro lado, el *Codex Alimentarius* de la FAO/OMS (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud) en 2009 adoptó el *Código de prácticas para reducir la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en los alimentos producidos por procedimientos de ahumado y secado directo* con el fin de prevenir y reducir la contaminación de los alimentos por HAPs en dichos tratamientos.

Los HAPs son conocidos por ser contaminantes ambientales y representan una preocupación significativa para la salud pública debido a su toxicidad potencial. Es por ello, que la vertiente medioambiental, actualmente la Directiva 2000/76/CE de 4 de diciembre de 2000 sobre incineración de residuos obliga a los estados miembros a establecer los límites máximos de emisión de HAPs sobre la base de las recomendaciones de la OMS y el Instituto Americano para la Investigación del Cáncer. Por otra parte, existe desde 1995 el Impuesto sobre Hidrocarburos, aplicable únicamente en Península e Islas Baleares.^{25,26}

Este impuesto es indirecto y extrafiscal que grava todos aquellos productos que consuman algún tipo de combustible y/o carburante, quedando excluidos los biocombustibles y biocarburantes. El fin de este impuesto es básicamente la protección del medio ambiente mediante la regulación de las emisiones, y la reducción de la dependencia energética.

Por otro lado, en la vertiente de la industria alimentaria, en el último año ha sido de gran interés la prohibición del uso de aromas a humo en los alimentos, como sustitución del método tradicional de ahumado, con el fin de proporcionar las mismas características organolépticas y ahorrando así en costes de producción. Desde mediados de diciembre de 2023, la OCU advirtió de la prohibición de estos aditivos, debido a su capacidad genotóxica. Del mismo modo, estos 8 aromas a humo en el mercado son empleados como sustitutos del ahumado en el salmón y algunos embutidos como los quesos, o bien, como imitación del sabor en productos ultraprocesados como sopas, salsas, papas fritas, helados, dulces, etc. Como dato, estos aditivos se identifican fácilmente en el etiquetado de los productos, ya que si el ahumado es tradicional, se indica como “humo de madera de haya”, en cambio, si se incluyen aditivos en el producto, se debe indicar como “aroma de madera de haya” o “aroma de humo”.

La prohibición de estos aditivos no llega hasta el 25 de abril de 2024 cuando la EFSA reconoce la capacidad genotóxica de los mismos, por lo que establece un periodo de transición de 5 años para aquellos alimentos que se someten al ahumado con aditivos (pescados, quesos, jamones, etc) y de 2 años para los ultraprocesados.²⁷

Como conclusión de este punto, como se observa, a pesar de adoptar medidas que en un principio deberían ser eficaces para reducir la exposición a HAPs pueden resultar perjudiciales para la salud, por lo que es importante la investigación en este campo con el fin de encontrar medidas tanto ambientales como alimentarias que eviten la exposición de la población a estas sustancias en la medida de lo posible.

7. Conclusiones.

Tras observar la información vigente y analizar este tema en profundidad, es oportuno adoptar medidas con el fin de reducir lo mínimo posible la exposición a estas sustancias, ya que como se ha visto a lo largo de este trabajo, los efectos en la salud pueden llegar a ser muy perjudiciales y además, resulta inevitable su exposición ya que los HAPs se encuentran en el entorno. Es por ello que, es necesaria la concienciación de la población en los aspectos alimentarios y ambientales, y la ejecución de medidas de control más estrictas sobre todo en el aspecto industrial de elaboración de alimentos sobre todo. Por esta razón, se han propuesto una serie de medidas de prevención que se exponen a continuación para tomar en cuenta y tratar este tema desde distintas perspectivas.

Medidas de prevención

- **Alimentarias/industriales:**
 - A nivel doméstico, será de especial importancia el control de los procesos culinarios realizados en el hogar, como son la fritura, el horneado o el tostado, aunque no está descrito que los niveles de benzopireno aumenten considerablemente.
 - El asado resulta mejor opción que el ahumado, debido a que se evita la exposición directa del alimento al humo producido por la propia técnica de cocción.
 - Es conveniente reducir el uso de las técnicas de asado a la parrilla y barbacoa aplicables a carnes, pescados y mariscos, ya que estos procesos culinarios aumentan de manera significativa los niveles de benzopireno. En el caso de que se ejecuten, evitar en la medida de lo posible que la grasa derrame sobre las brasas, además de no quemar el alimento.
 - Controlar los contenidos de HAPs en aceites minerales y en parafinas de uso alimentario, así como en lubricantes a base de hidrocarburos que puedan entrar en contacto con los alimentos.
 - Con respecto al uso de materiales que sustituyen al plástico en el embalaje de ciertos alimentos, no resulta una mejor opción optar por materiales de cartón con un revestimiento de cera, ya que este contendrá HAPs y acabarán finalmente en el producto.
 - Realizar controles estrictos de los tratamientos tecnológicos que originen HAPs, adoptando mejoras para estas técnicas.
 - Incluir la evaluación toxicológica sistemática sobre los riesgos que supone la ingesta dietética de los HAPs y otros compuestos tóxicos sobre la salud humana.

- Elegir en la medida de lo posible huevos ecológicos o de corral (reflejado en el etiquetado con la numeración 0, 1 o 2, representando “huevo ecológico”, “huevo procedentes de gallinas camperas” y “huevos procedentes de gallinas criadas en el suelo”, respectivamente).
- **Laborales:**
 - Realizar controles de salud a los trabajadores de aquellos sectores en los que se expongan a altas concentraciones de estas sustancias (ejemplo: sector de la siderurgia, además de otras sustancias como el alquitrán, el hollín, el betún, etc).
 - Realizar la formación necesaria dirigida a los trabajadores en referencia a métodos de trabajo más seguros, prevención de riesgos y utilización de equipos de protección personal.
- **Medidas enfocadas para los grupos vulnerables:**
 - En embarazadas, reducir la exposición al humo de las industrias, viviendo en zonas alejadas de zonas industriales en la medida de lo posible. Aparte de esto, es conveniente reducir la exposición al tabaco durante la gestación.
 - En bebés, sustituir en la medida de lo posible la ingestión de cereales que hayan podido entrar en contacto con HAPs durante la cadena alimentaria, y por otra parte, elegir huevos ecológicos o de corral en el momento de su introducción en la dieta del bebé.
 - En general, potenciar la prevención y concienciación sobre los efectos negativos que pueden causar los HAPs en la salud.
- **Otras:**
 - Hacer uso de cosmética natural, es decir, libre de contaminantes o tóxicos.
 - Hacer uso de vehículos eléctricos o que emitan bajas emisiones.

8. Bibliografía.

1. https://puntoq.ull.es/discovery/fulldisplay?docid=alma991000125558408901&context=L&vid=34ULL_INST:ULL&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=Everything&query=any,contains,toxicologia%20alimentaria&offset=0
2. https://ugt.es/sites/default/files/node_gallery/Galer-a%20Publicaciones/TC%202010%20HIDROCARBUROS%20Y%20RIESGO%20LABORAL.pdf
3. HAPs [Internet]. ELIKA Seguridad Alimentaria. 2020 [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/haps/>
4. Investigadores de la UJA desarrollan un método de alta precisión y sensibilidad para la detección de sustancias tóxicas en alimentos [Internet]. Ujaen.es. [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://diariodigital.ujaen.es/investigacion-y-transferencia/investigadores-de-la-uja-desarrollan-un-metodo-de-alta-precision-y>
5. Rascón AJ, Azzouz A, Ballesteros E. Trace level determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in raw and processed meat and fish products from European markets by GC-MS. Food Control [Internet]. 2019;101:198–208. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.02.037>
6. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPS). [Internet] Gob.es [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/haps.htm
7. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en productos de pesca: revisión. Dialnet. [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2149602>
8. Sanders, M. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in oyster (*Crassostrea virginica*) and surface sediment from two estuaries in South Carolina. Arch Environ Contam Toxicol [Internet]. 1995;28(4):397–405. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00211620>
9. <https://revistas.ucm.es/index.php/RCCV/article/view/51869/48027>
10. Benzo(a)pireno [Internet]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/benzo-a-pireno.html>

11. Zambrano Ortiz MM, Rosero F. RC, Carballo C. A, Novoa A. V. Bioacumulación y toxicidad de hidrocarburos aromáticos policíclicos en moluscos bivalvos del Pacífico colombiano. Bol Cient Cent Invest Oceanogr Hidrogr Cartagena [Internet]. 2010 [citado el 7 de junio de 2024];(28):204–26. Disponible en: <https://doi.org/10.26640/22159045.221>
12. Piñero S, Rivero E, González S, Marrero S, Romero G, Arvelález L. Niveles urinarios de 1-Hidroxipireno en trabajadores expuestos a Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en la Industria de la Goma. Salud Trab - Postgrado Salud Ocup Hig Ambiente Labor Univ Carabobo [Internet]. 2013 [citado el 7 de junio de 2024];21(2):141–9. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-0138201300020004&lang=es
13. Cathey AL, Watkins DJ, Rosario ZY, Vélez Vega CM, Loch-Carusio R, Alshawabkeh AN, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon exposure results in altered CRH, reproductive, and thyroid hormone concentrations during human pregnancy. Sci Total Environ [Internet]. 2020 [citado el 7 de junio de 2024];749(141581):141581. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141581>
14. Perera FP, Chang HW, Tang D, Roen EL, Herbstman J, Margolis A, et al. Relacionan el TDAH con la exposición materna a la contaminación atmosférica. Neurología [Internet]. 2014 [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://neurologia.com/noticia/4916/relacionan-el-tdah-con-la-exposicion-materna-a-la-contaminacion-atmosferica>
15. He Y, Chen J, Zhu L-H, Hua L-L, Ke F-F. Maternal smoking during pregnancy and ADHD: Results from a systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. J Atten Disord [Internet]. 2020 [citado el 7 de junio de 2024];24(12):1637–47. Disponible en: doi: 10.1177/1087054717696766
16. Zhu JL, Olsen J, Liew Z, Li J, Niclasen J, Obel C. Parental smoking during pregnancy and ADHD in children: The Danish National Birth Cohort. Pediatrics [Internet]. 2014 [citado el 7 de junio de 2024];134(2):e382–8. Disponible en: doi: 10.1542/peds.2014-0213
17. Chinchilla T, Durán M del P. Efectos fetales y posnatales del tabaquismo durante el embarazo. Med Leg Costa Rica [Internet]. 2019 [citado el 7 de junio de 2024];36(2):68–75. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152019000200068
18. Los efectos nocivos del tabaco son especialmente dañinos durante las fases críticas del desarrollo neuronal [Internet]. Asociación Española de Pediatría

- [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.aeped.es/comite-promocion-salud/noticias/los-efectos-nocivos-ta-baco-son-especialmente-daninos-durante-las-fases>
19. Bomberos [Internet]. Cdc.gov. 2024 [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/topics/bomberos.html>
 20. Fernández-Rodríguez M, González-González MP, Alonso-Martín MT, Carrizo LR, Cortés Barragán RA. Contaminación de los equipos de trabajo y riesgo de cáncer de próstata y testículo, en bomberos. Unirioja.es. [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6749450>
 21. Kim YT, Kim W, Bae M-J, Choi JE, Kim M-J, Oh SS, et al. The effect of polycyclic aromatic hydrocarbons on changes in the brain structure of firefighters: An analysis using data from the Firefighters Research on Enhancement of Safety & Health study. Sci Total Environ [Internet]. 2022 [citado el 7 de junio de 2024];816(151655):151655. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151655>
 22. ELIKA. Benzopirenos en alimentos [Internet]. Persona Consumidora. ELIKA Fundazioa; 2020 [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://personaconsumidora.elika.eus/benzopirenos-en-alimentos/>
 23. Moldes de silicona inseguros [Internet]. www.ocu.org. 2022 [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.ocu.org/alimentacion/seguridad-alimentaria/noticias/moldes-silicona>
 24. Pérez Luzardo O, Rodríguez Hernández A, Quesada Tacoronte Y, Ruiz Suárez N, Almeida González M, Henríquez Hernández LA, et al. Influence of the method of production of eggs on the daily intake of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine contaminants: An independent study in the Canary Islands (Spain). Sciencedirect.com [Internet] 2013. [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.08.003>
 25. Impuesto sobre Hidrocarburos [Internet]. Gob.es. [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://sede.agenciatributaria.gob.es/Sede/impuestos-especiales-medioambientales/impuestos-especiales-fabricacion/hidrocarburos.html>
 26. ¿En qué consiste el impuesto sobre hidrocarburos? [Internet]. Iberdrola.es. [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.iberdrola.es/blog/gas/que-es-impuesto-sobre-hidrocarburo>

27. Aromas de humo: dudas sobre su seguridad [Internet]. www.ocu.org. 2023 [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.ocu.org/alimentacion/seguridad-alimentaria/noticias/aromas-humo-peligrosos>
28. Leachi HFL, Marziale MHP, Martins JT, Aroni P, Galdino MJQ, Ribeiro RP. Hidrocarburos policíclicos aromáticos y desarrollo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares en trabajadores. *Rev Bras Enferm* [Internet]. 2020 [citado el 7 de junio de 2024];73(3):e20180965. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2018-0965>
29. Mastandrea C, Chichizola C, Ludueña B, Sánchez H, Álvarez H, Gutiérrez A. Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos. *Acta Bioquim Clin Latinoam* [Internet]. 2005 [citado el 7 de junio de 2024];39(1):27–36. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572005000100006
30. Gutiérrez Hernández R, Flores Flores ED, Alvarado Alanís JL, Ruíz de Chávez Ramírez D, Lazalde Ramos BP. Efectos en la salud ante exposición a hidrocarburos. *Unirioja.es* [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9218454>
31. Corbella Tena RJ. Contaminantes orgánicos en tres especies de *Patella* de la costa de la isla de Fuerteventura. [tesis doctoral]. Universidad de La Laguna; 1998. [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21082>
32. Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants - Report of the Working Group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of the Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution [Internet]. *Who.int*. World Health Organization; 2021 [citado el 7 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289056533>
33. Burstyn I, Kromhout H, Partanen T, Svane O, Langard S, Ahrens W, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons and fatal ischemic heart disease. *Epidemiology* [Internet]. 2005 [citado el 7 de junio de 2024];16(6):744–50. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000181310.65043.2f>
34. Cheng J, Zhang X, Ma Y, Zhao J, Tang Z. Concentrations and distributions of polycyclic aromatic hydrocarbon in vegetables and animal-based foods before and after grilling: Implication for human exposure. *Sci Total Environ* [Internet]. 2019 [citado el 7 de junio de 2024];2019;690:965–72. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.074>

35. Aceites minerales. [Internet] AECOSAN. [citado el 7 de junio de 2024].
Disponible en:
https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/Aceites_minerales.pdf