

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)

Acercamiento a su problemática como riesgo laboral



Guión y coordinación: Secretaría de Salud Laboral y Medio Ambiente
MCA-UGT Federación de Industria

Con la financiación de: DI-0016/2009



FUNDACIÓN
PARA LA
PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES



MCA
F. de Industria

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)

Acercamiento a su problemática como riesgo laboral



Realizado por: Antonio Agudo *Instituto Catalán de Oncología*

Guión y coordinación: Secretaría de Salud Laboral y Medio Ambiente
MCA-UGT Federación de Industria

Con la financiación de: DI-0016/2009



Realización técnica: **Antonio Agudo** Instituto Catalán de Oncología
Coordinación y Dirección: Secretaria de Salud Laboral y Medio Ambiente MCA-UGT

Edita: **Metal, Construcción y Afines de UGT (MCA-UGT), Federación de Industria**
Avda. de América, 25, 5ª y 6ª planta
Tel.: 91 589 75 11
28002 Madrid
E-mail: cef@mca.ugt.org

Depósito Legal: M - XXXXXX - 2010

Impreso en España - Printed in Spain

Producción gráfica: **Process Print, S.L.**

Queda prohibida toda reproducción total o parcial de la obra por cualquier medio o procedimiento sin la autorización previa de la **Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales.**

ÍNDICE

1. LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS	
ASPECTOS GENERALES	7
1.1 HAP: definición y características físico-químicas	9
1.2 Principales HAP	13
1.3 Aspectos históricos	15
2. ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS HAP	17
2.1 Formación de los HAP	19
2.2 Fuentes de los HAP	20
2.2.1 Fuentes naturales	20
2.2.2 Fuentes antropogénicas	20
• Las calefacciones domésticas	21
• Emisiones de vehículos de motor	21
• Usos industriales	21
2.2.3 Otras fuentes antropogénicas: el tabaco y los alimentos	21
2.3 Importancia relativa de las fuentes de HAP	23
2.4 Los HAP como contaminantes ambientales	24
• HAP en el aire	24
• HAP en el agua y los suelos	24
• Movilización de los HAP	25
• HAP en los seres vivos	25
• Impacto de los HAP en el medio ambiente	25
3. EXPOSICIÓN A LOS HAP: TIPOS, NIVELES Y CONCENTRACIONES	27
3.1 Vías de exposición a los HAP	29
• Exposición por vía inhalatoria	29
• Exposición por vía digestiva	30
• Exposición por vía dérmica	30

3.2 Formas de y niveles de exposición a los HAP	31
3.2.1 Exposición ambiental	31
3.2.2 Exposición a partir del humo del tabaco	32
3.2.3 Exposición a partir de la dieta	33
3.2.4 Exposición ocupacional	34
3.2.5 Actividades industriales y ocupaciones con exposición a HAP	36
3.2.6 Niveles de referencia en la exposición ocupacional a HAP	38

4. EXPOSICIÓN LABORAL A LOS HAP: INDUSTRIAS Y PRODUCTOS

41

4.1 Productos que contienen HAP utilizados en el entorno laboral	44
• COQUE	44
• ALQUITRÁN	45
- Alquitrán de madera	46
- Alquitrán de hulla	47
• BREA	48
• CREOSOTA	50
• BETÚN	51
• ASFALTO	52
• NEGRO DE CARBÓN	53
• HOLLÍN	54
4.2 Actividades industriales metalúrgicas con alta exposición a HAP.	55
• SIDERURGIA	55
- El alto horno	57
- La acería	59
- Hornos de coque; coquificación	59
- Industria siderúrgica y acererías EAF	61

• FUNDICIÓN DE ALUMINIO	62
- Reseña histórica	62
- Producción de alúmina: el proceso Bayer	64
- Electrolisis de la alúmina: el proceso Hall-Hérault	64
- Los electrodos de carbono. El proceso Soderberg	66
- Emisiones de la fundición de aluminio	68
5. PRINCIPALES EFECTOS DE LOS HAP SOBRE LA SALUD	71
5.1 Absorción y metabolismo de los HAP	73
5.2 Efectos no cancerígenos de los HAP	75
5.3 Los HAP como causa de cáncer	76
5.3.1 Genotoxicidad de los HAP	76
5.3.2 Clasificación de la exposición a HAP como cancerígenos	77
• Clasificación de la IARC para los HAP	79
5.3.3 Tipos de tumores causados por HAP	
y magnitud del efecto	80
• Cáncer de pulmón	80
• Cáncer de de la vejiga urinaria	80
• Cáncer de piel	81
• Otros tumores	81
• Cuantificación del riesgo	81
6. PREVENCIÓN DE LA EXPOSICIÓN A HAP EN MEDIO LABORAL	85
6.1 Principales elementos de riesgo en la industria metalúrgica	88
6.2 Aspectos tecnológicos y medidas generales de salud y seguridad	89
• Aspectos tecnológicos	89
• Medidas de salud y seguridad	89
6.3 Aspectos de higiene industrial	91
• Ventilación	91
• Equipos de protección personal:	92
• Controles técnicos de las operaciones de producción de coque.	93



7. MONITORIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL A HAP	95
7.1 Medición de HAP en el ambiente laboral.	97
7.2 Control biológico o biomonitorización de los HAP	99
• Medición de la concentración de de 1-hidroxi pireno en orina	101
• Niveles indicativos de 1-OHP en orina	102
7.3 Monitorización de la exposición laboral a HAP	104
8. BIBLIOGRAFÍA	114

1

**HIDROCARBUROS
AROMÁTICOS
POLICÍCLICOS.
ASPECTOS GENERALES**

1. HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS. ASPECTOS GENERALES

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, comúnmente conocidos por sus siglas HAP, constituyen un amplio grupo de compuestos químicos. Se caracterizan por estar formados por átomos de carbono e hidrógeno, agrupados en anillos que contienen cinco o seis átomos de carbono. Los HAP se forman durante la combustión incompleta del carbón, aceites, gases, madera, residuos domésticos, y en general sustancias de origen orgánico. Se encuentran de forma natural en el petróleo, el carbón, depósitos de alquitrán y como productos de la utilización de combustibles, ya sean fósiles o biomasa. Como contaminantes, tanto en el medio ambiente como en el entorno laboral, han despertado preocupación debido a que algunos compuestos han sido identificados como carcinógenos.

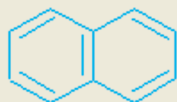
1.1. HAP: definición y características físico-químicas

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son compuestos formados por varios anillos bencénicos que se han unido. El benceno es un hidrocarburo de fórmula molecular C_6H_6 , con forma de anillo, conocido como anillo bencénico o aromático, ya que posee un olor característico. En este anillo cada átomo de carbono ocupa el vértice de un hexágono regular.

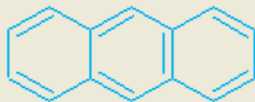
El hecho de estar compuestos fundamentalmente por carbono e hidrógeno es el origen del nombre “hidrocarburos”. Por otra parte, el olor característico del benceno hace que por extensión, todos los compuestos derivados del anillo bencénico se denominen “aromáticos”. Finalmente, el hecho de que la mayoría de estos compuestos posean varios anillos les otorga su carácter de “policíclicos”.

Figura 1**Estructura química de los principales hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).**

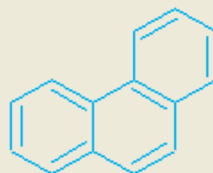
Benzo[a]pireno



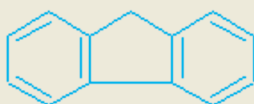
naftaleno



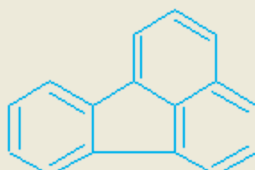
antraceno



fenantreno



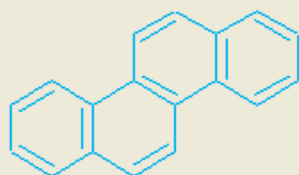
fluoreno



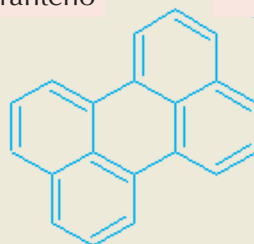
fluoranteno



pireno



criseno



pelileno

Cada vértice corresponde a un átomo de carbono. Cada átomo de carbono tiene 4 enlaces, representado por las segmentos que confluyen en cada vértice; en la mayoría de ellos se visualizan 3 enlaces, lo que significa que el enlace restante está ocupado por un átomo de hidrógeno.

La unidad básica de un compuesto químico es la molécula, que es una agrupación de átomos. Los átomos se unen entre ellos para formar moléculas mediante enlaces, que de hecho son electrones que se pueden intercambiar o compartir. Los átomos de carbono tienen cuatro enlaces, que les permiten unirse a otros átomos de carbono o de hidrógeno; cuando los cuatro enlaces están ocupados se dice que el átomo está saturado. Algunos átomos de carbono sin embargo no tienen los cuatro enlaces ocupados, quedando por tanto enlaces libres (átomos no saturados). Las moléculas con átomos no saturados pueden utilizar los enlaces libres para unirse a otros átomos o moléculas.

Si bien la mayoría de HAP están formados por varios anillos benzenicos con cinco átomos saturados de carbono; también se encuentran algunos HAP en los que aparecen anillos con cuatro, cinco o seis átomos de carbono, algunos de ellos no saturados.

Tanto el grado de saturación como la configuración espacial de los HAP (es decir, el número y forma de sus anillos) son importantes, pues determinan algunas de sus características químicas y biológicas, y en último término su posible efecto sobre la salud.

En general al hablar de HAP nos referimos a los compuestos exclusivamente por carbono e hidrógeno. Sin embargo existen compuestos en los que uno o varios átomos de carbono han sido substituidos por otros átomos o grupos de átomos, como nitrógeno, flúor, cloro, o grupos más complejos. Estos HAP se conocen como HAP substituidos, mientras que los formados por carbono e hidrógeno exclusivamente son los HAP no substituidos.

Las características físico-químicas de los HAP son muy diversas; algunos de ellos son semivolátiles, es decir, que están en forma gaseosa a temperatura ambiente, mientras que otros tienen un ele-



vado punto de ebullición. En general son lipofílicos, es decir que tienden a unirse a sustancias grasas, y a disolverse en ellas. Este carácter lipofílico de los HAP se incrementa con la complejidad de los compuestos y la masa molecular, es decir, cuanto más átomos y más anillos forman la molécula del HAP mayor es su afinidad por las grasas. Son inestables fotoquímicamente, es decir, que se degradan por la luz.

1.2. Principales HAP

Los HAP se encuentran generalmente como mezclas complejas, no como compuestos simples. Existen más de 100 clases diferentes de HAP. En el medio ambiente se encuentran como compuestos volátiles (en la fase gaseosa) o unidos a partículas. Como sustancias químicas puras, los HAP existen generalmente como sólidos incoloros, blancos o verdes amarillosos pálidos y tienen un olor leve y agradable.

Típicamente, la exposición a los HAP raramente es de forma individual, sino a una mezcla de ellos. Aunque los efectos sobre la salud causados por cada uno de los HAP individuales no son exactamente los mismos, en general se consideran como un grupo. En la tabla 1 se recogen algunos de los HAP más comunes.

Se han incluido estos HAP por diversas razones:

- Hay más información disponible sobre ellos que sobre los otros HAP
- Se sospecha que son más dañinos y exhiben efectos nocivos que son representativos de los otros HAP
- Existe una mayor posibilidad de exposición a estos HAP
- De todos los HAP analizados éstos son los que suelen presentar una mayor concentración

Tabla 1

Principales hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)		
Nombre común	Número CAS*	Nombre CAS*
Acenafteno	83-32-0	Acenaftileno
Acenaftileno	208-96-9	1,2-Dihidro-acenaftileno
Antantreno	191-26-4	Dibenzo[d,e,f,m,n,o]criseno
Antraceno	120-12-7	Antraceno
Benzo[a]antraceno	56-55-3	Benzo[a]antraceno
Benzo[a]pireno	50-32-8	Benzo[a]pireno
Benzo[e]pireno	192-91-2	Benzo[e]pireno
Benzo[b]fluoranteno	205-99-2	Benzo[e]acefenantrileno
Benzo[g,h,i]perileno	191-22-4	Benzo[g,h,i]perileno
Benzo[j]fluoranteno	205-82-3	Benzo[j]fluoranteno
Benzo[k]fluoranteno	207-08-9	Benzo[k]fluoranteno
Ciclopenta[c,d]pireno	27208-37-3	Ciclopenta[c,d]pireno
Criseno	218-01-09	Criseno
Dibenzo[a,h]antraceno	53-70-03	Dibenzo[a,h]antraceno
Fluoranteno	206-44-0	Fluoranteno
Fluoreno	86-73-7	9H-fluoreno
Fenantreno	85-01-8	Fenantreno
Indeno[1,2,3-c,d]pireno	193-39-5	Indeno[1,2,3-c,d]pireno
Naftaleno	91-20-3	Naftaleno
Pireno	129-00-0	Pireno

(*) CAS: el número registrado CAS es una identificación numérica única para compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones. Llamado también CAS RN (en inglés CAS *registry number*). CAS es el acrónimo de *Chemical Abstracts Service*, una división de la Sociedad Americana de Química, que asigna estos identificadores a cada compuesto químico que ha sido descrito en la literatura.

1.3. Aspectos históricos

Curiosamente, los HAP están presentes desde los orígenes de la medicina laboral; a ellos se debe que por primera vez se reconociese que el trabajo y las sustancias a las que se está expuesto en el mismo pueden ser causa de enfermedad. En 1775 los médicos británicos Sir Percival Pott y John Hill informaron de la aparición anormalmente elevada de un tipo de tumor genital, el cáncer de piel del escroto, entre los deshollinadores. Este tipo de tumor prácticamente no se encontraba en otros pacientes. Su deducción fue que algunos de estos trabajadores acababan por desarrollar este extraño tumor tras muchos años de exposición al hollín.

Casi cien años después, el médico alemán von Volkman describió una elevada proporción de cánceres en operarios de la industria del alquitrán de hulla y de la parafina. Hallazgos similares fueron observados en Escocia por parte de Joseph Bell. Todo apuntaba claramente a que los derivados del petróleo y el carbón contenían sustancias que quizá fueran causa de estos tumores.

Los primeros intentos de inducir tumores en animales de experimentación con estas sustancias no dieron resultado, hasta que en 1918 los japoneses Katsuburo Yamgiwa y Koichi Ichikawa consiguieron inducir cáncer de piel en conejos producido por la aplicación de alquitrán.

Sin embargo tanto el alquitrán como el hollín son mezclas de diversas sustancias, y el aislamiento de los compuestos químicos responsables del posible efecto resultaba compleja. En la década de 1920 se apuntaron por primera vez los hidrocarburos aromáticos policíclicos como los compuestos posiblemente cancerígenos del alquitrán.



Ernest Kennaway y su equipo del Royal Cancer Hospital de Londres consiguieron demostrar que ciertos compuestos aislados del alquitrán eran responsables de tumores de piel en ratones. El primer hidrocarburo obtenido en estado químicamente puro fue el bezo[a]antraceno y en 1929 se sintetizó el dibezo[a,h]antraceno. Poco más tarde se aisló, a partir de la brea, el benzo[a]pireno, quizá el más característico de los HAP. Estudios posteriores llevaron al convencimiento de que éste último era el responsable de los tumores observados en los animales de experimentación.

2

ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS HAP

2. ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS HAP

2.1. Formación de los HAP

Los HAP se forman durante la combustión incompleta de materia orgánica en general. En el proceso de combustión de la materia orgánica, formada por carbono e hidrógeno, ésta reacciona con el oxígeno, formándose dióxido de carbono y agua. Sin embargo, si no hay suficiente oxígeno, la combustión es incompleta; parte del combustible no reacciona completamente con el oxígeno y se forman otros subproductos tales como monóxido de carbono y HAP. Este proceso también es conocido como pirólisis.



La tasa de formación de los HAP depende de las condiciones de la combustión. Si ésta genera mucho humo negro dará lugar a mayor cantidad de HAP; por ejemplo el hollín de hecho está formado por moléculas de HAP polimerizadas.

2.2. Fuentes de los HAP

Dada la amplia distribución de materia orgánica (carbón, madera, vegetación en general, combustibles fósiles, tabaco, alimentos), así como los procesos de combustión de la misma, los HAP son ubicuos, es decir se encuentran de forma generalizada en el medio ambiente. En general se distinguen dos tipos de fuentes como responsables de la presencia de HAP en el ambiente.

2.2.1 Fuentes naturales

Algunas formas de combustión natural de materia orgánica que comportan emisión al aire de HAP son las erupciones de los volcanes y los incendios forestales debidos a causas naturales. Los petróleos y en general los combustibles fósiles contienen de forma natural HAP en bajas concentraciones (alrededor del 1%), dependiendo en gran parte del origen del crudo.

2.2.2 Fuentes antropogénicas

Este término hace referencia a todas las formas en las que se originan HAP que sean dependientes de la actividad humana. La amplia utilización de procesos de combustión de materia orgánica durante el último siglo ha hecho que la producción de HAP sea un fenómeno habitual en nuestra sociedad. Los combustibles fósiles (de materia orgánica) son de uso frecuente y abundante, sobre todo en tres ámbitos: en muchas actividades industriales, en las calefacciones domésticas, y en todo tipo de vehículos de transporte.

Las calefacciones domésticas

Una fuente primaria muy importante de HAP es la combustión incompleta de madera y otros combustibles para las calefacciones domésticas, tales como gas y otros combustibles orgánicos.

Emissiones de vehículos de motor

Otra de las fuentes principales de emisión de HAP es la emisión de gases de todo tipo de vehículos, incluyendo barcos y aviones. Sobre todo en las áreas urbanas una de las fuentes principales de HAP son los gases de los tubos de escape de automóviles y camiones. Los HAP se encuentran tanto en las emisiones de la gasolina como de los motores diesel.

Usos industriales

Los HAP se forman también en muchos procesos industriales o se emiten al ambiente de trabajo por la utilización de productos ricos en HAP en muchas industrias. Algunos HAP se utilizan en medicinas y para la producción de tintas, plásticos y pesticidas. Se encuentran HAP en el petróleo crudo, el asfalto, el carbón, el alquitrán, la brea, la creosota y algunos disolventes comerciales. También se produce emisión de HAP en plantas de generación de energía eléctrica, incineradoras de residuos domésticos y de origen agrícola, y la industria metalúrgica, especialmente del hierro y el aluminio.

2.2.3 Otras fuentes antropogénicas: el tabaco y los alimentos

Una de las formas de combustión incompleta de materia orgánica de origen antropogénico es la que conlleva el hábito de fumar. Entre los muchos productos que se originan en la combustión, el humo del tabaco contiene cantidades importantes de HAP.

Figura 2
Principales hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)



De izquierda a derecha y de arriba abajo: actividades industriales, contaminación atmosférica a partir de vehículos de motor y calefacciones, alimentos que contienen HAP, y humo del tabaco.

Los HAP formados en la combustión del tabaco se encuentran tanto en el humo directamente inhalado por el fumador, como en el que se exhala después o el que se emite directamente a partir del como de combustión del cigarrillo.

Algunos HAP pueden formarse también como productos de la pirólisis de los carbohidratos, aminoácidos, y ácidos grasos. Así pues, muchos alimentos, especialmente carnes elaboradas a la parrilla o la barbacoa, en que la cocción se produce a elevadas temperaturas y en contacto directo con la llama, se forman HAP en la superficie del alimento. Lo mismo ocurre en los procesos de tostado a elevada temperatura de productos derivados de cereales, como el pan y la pizza. Finalmente también se absorben HAP en los procesos de ahumado de pescado o carnes.

2.3. Importancia relativa de las fuentes de HAP

En los países industrializados la mayor parte de la emisión de HAP es de origen industrial y urbano, incluyendo esta última la correspondiente a las emisiones de vehículos y las calefacciones e incineración de residuos domésticos. La contribución de algunas fuentes puntuales es difícil de estimar con precisión, y varía según el país; por ejemplo en los Estados Unidos las calefacciones a base de madera son la fuente más importante de HAP. En Alemania durante los años 90 algo más del 50% las emisiones de benzopireno (uno de los HAP más importantes) eran debidas a las calefacciones a base de carbón, 30% se originaban en la industria que utiliza el carbón como combustible y el 15% se originaba en los vehículos de motor. No obstante, en países con baja densidad de población la producción de HAP es predominantemente industrial. Por ejemplo en Canadá más del 90% del total de HAP emitidos se originan en la industria metalúrgica, especialmente la producción de aluminio, la siderometalurgia, y manufactura de metales férricos.

2.4. Los HAP como contaminantes ambientales

La pirólisis de la materia orgánica es un proceso muy extendido, lo que implica una amplia distribución en todos los compartimentos ambientales: aire, suelos, aguas, sedimentos, tejidos biológicos, incluyendo algunos alimentos.

HAP en el aire

Los HAP se encuentran fundamentalmente como contaminantes atmosféricos. En el aire están presentes como vapores o gases, o bien se encuentran adheridos a la superficie de pequeñas partículas sólidas. En general esta contaminación consiste en mezclas de HAP, nunca de compuestos aislados; la composición específica de cada emisión depende de varios factores, tales como el tipo de combustible utilizado y sus propiedades, y el tipo de tecnología utilizada para su combustión. Por otra parte, los HAP en general se emiten unidos a otras partículas, y una vez en el aire pueden sufrir rápidamente procesos de oxidación o degradación, favorecidos por la presencia de otros contaminantes y de la radiación ultravioleta solar.

HAP en el agua y los suelos

Los HAP pueden entrar a las aguas de superficie a través de las descargas de plantas industriales y de tratamiento de aguas residuales y pueden ser liberados a los suelos a partir de desechos peligrosos si éstos se escapan de los contenedores de almacenamiento. En el suelo los HAP se unen a otras partículas y algunos pueden contaminar los acuíferos. La degradación de los HAP en el suelo y en el agua puede llevar semanas y meses y es causada principalmente por la acción de microorganismos.

Movilización de los HAP

Los HAP pueden viajar largas distancias antes de regresar a la tierra en forma de agua de lluvias o por asentamiento de partículas. La movilización de los HAP en el medio ambiente depende de las propiedades de cada uno de ellos, como su capacidad de disolverse o no en el agua o su volatilidad (capacidad de evaporación). En general tienden a unirse y disolverse bien en sustancias grasas (son lipofílicos), mientras que no se disuelven fácilmente en el agua.

HAP en los seres vivos

El contenido de HAP presente en las plantas y los animales que viven en la tierra o en el agua puede ser a veces más alto que las concentraciones de HAP presentes en el suelo o en el agua. Aunque no parece que el nivel de HAP se incremente en la cadena trófica, por su carácter lipofílico tiene gran afinidad por los tejidos ricos en grasa, donde se acumulan es decir que sí se produce bioconcentración.

Impacto de los HAP en el medio ambiente

A pesar de su amplia distribución en el medio ambiente, no parece que los HAP de la atmósfera contribuyan significativamente a la reducción de la capa de ozono de la estratosfera o el calentamiento global.

3

**EXPOSICIÓN A LOS HAP:
TIPOS, NIVELES
Y CONCENTRACIONES**

3. EXPOSICIÓN A LOS HAP: TIPOS, NIVELES Y CONCENTRACIONES

El hecho de que el medio ambiente en general contenga HAP no implica que estos compuestos deban suponer un problema de salud para el ser humano. Para ello es necesario entrar en contacto con dichas sustancia y que éstas alcancen los tejidos del organismo. A esto es a lo que se refiere el concepto de exposición: cuando alguien está en una situación en la que el organismo recibe una determinada cantidad de un compuesto químico (sea o no perjudicial para la salud) se dice que está expuesto a esa sustancia.

3.1. Vías de exposición a los HAP

Los HAP pueden entrar al organismo por diferentes vías. Puesto que están presentes fundamentalmente en el aire contaminado la principal vía de entrada es respirando el aire que los contiene. Sin embargo también es posible ingerir sustancias contaminadas con HAP, y finalmente también cabe la posibilidad de que algunos HAP puedan ser absorbidos por la piel.

Exposición por vía inhalatoria

Los HAP pueden entrar al cuerpo a través de los pulmones al respirar aire que los contiene, generalmente adheridos a partículas o al polvo. El humo del cigarrillo, de la madera, del carbón y el humo proveniente de muchas áreas industriales contienen HAP. Las personas que viven cerca de sitios de desechos peligrosos también pueden estar expuestas por respirar aire contaminado por HAP. No se sabe con certeza la velocidad y el grado de absorción de los HAP en los pulmones.

Exposición por vía digestiva

Tomar agua o ingerir alimentos que contienen HAP es otra de las rutas por las cuales estas sustancias químicas pueden introducirse en organismo, pero generalmente la absorción de los HAP ingeridos es más bien lenta e incompleta.

Exposición por vía dérmica

En condiciones normales de exposición ambiental los HAP pueden entrar a través de la piel al entrar en contacto con partículas del suelo que contienen altos niveles de HAP, por ejemplo cerca de sitios de desechos peligrosos, o al contacto de la piel con aceite de motor u otros productos como la creosota, que contienen HAP. Algunos HAP son la base de medicamentos utilizados para el tratamiento de ciertas afecciones de la piel como el eccema, psoriasis y algunas dermatitis.



La rapidez con la cual entran los HAP al cuerpo mediante la inhalación, el consumo de alimentos, la bebida o el contacto con la piel, puede ser influenciada por la presencia de otros compuestos a los cuales se está expuesto al mismo tiempo que a los HAP.

Una vez en el organismo los HAP pueden llegar a todos los tejidos del cuerpo que contienen grasa, donde tienden a almacenarse. Así pues son más abundantes en el hígado, los riñones, y en general en los depósitos grasos del cuerpo, como el tejido adiposo. También se acumulan, aunque en cantidades más pequeñas, en el bazo, las glándulas suprarrenales y los ovarios. Los tejidos del cuerpo transforman los HAP en muchas sustancias diferentes. La mayor parte de los HAP son eliminados del organismo en unos cuantos días, principalmente por la orina y las heces.

3.2. Formas y niveles de exposición a los HAP

Teniendo en cuenta las fuentes en las que se forman y originan los HAP, y las diferentes vías por las que pueden llegar al organismo, las poblaciones humanas pueden estar sometidas a cuatro tipos de exposición a los HAP: ambiental, dietética, del humo de tabaco, y ocupacional.

3.2.1 Exposición ambiental

Es más probable que en el medio ambiente la exposición se deba a los HAP volátiles del aire, o a los HAP que están adheridos al polvo y a otras partículas presentes en el aire. La vía de exposición es fundamentalmente inhalatoria, y las fuentes, como se ha descrito, son sobre todo los gases de los tubos de escape de los vehículos, las emisiones de los sistemas de calefacción que utilizan combustibles fósiles, los incendios forestales, y la incineración de desechos industriales, agrícolas y domésticos. También es posible la exposición dentro de las casas, a partir de la combustión de madera y de productos de madera tratados con creosota.

Los HAP son ubicuos en el medio ambiente, dando lugar a niveles basales detectables en la población general. En el aire de las áreas rurales se han encontrado niveles de algunos HAP que oscilan entre 0,02 y 1,2 ng/m³ (nanogramos por metro cúbico; un nanogramo es una milmillonésima parte de un gramo). En áreas urbanas los niveles detectados varían de 0,15 a 20 ng/m³. Se han encontrado HAP en algunos abastecimientos de agua potable; las referencias de HAP en el agua potable oscilan entre 4 y 24 ng/L.

Para uno de los HAP más importantes, el Benzo[a]pireno, conocido por su abreviatura BaP, el nivel basal es próximo a 0. En los EEUU en áreas urbanas la concentración de BaP oscila entre 1 y 5 ng/m³. Las concentraciones actuales en la principales ciudades europeas (media anual) varían entre 1 y 10 ng/m³, mientras que en las áreas rurales es menor de 1 ng/m³. Las concentraciones han disminuido sustancialmente durante los últimos 30 años. La relación entre el nivel de BaP y otros HAP se conoce como el “*perfil de HAP*”.

3.2.2 Exposición a partir del humo del tabaco

La exposición al humo del tabaco comporta el acceso al interior de los pulmones de una cantidad importante de de HAP, junto con otras sustancias tóxicas, mediante la inhalación directa del humo por parte del fumador. Esta corriente de humo, abundante en HAP, es inhalado directamente al aspirar del cigarrillo y se conoce como la “corriente principal” (o *mainstream*). También se emiten al ambiente HAP contenidos en el humo que se emite a partir del cono de combustión del cigarrillo, conocido como la “corriente lateral” (*sidestream*). Mientras que para el fumador la inhalación de humo del tabaco es una forma de exposición directa y específica, para los no fumadores los HAP del humo del tabaco son un componente más de la exposición ambiental.

En los fumadores habituales sin exposición ocupacional la inhalación de HAP del humo del tabaco es la principal fuente de exposición a HAP. Se estima que un fumador de un paquete de cigarrillos diario ingiere entre 2 y 5 $\mu\text{g}/\text{d}$ (microgramos por día; un microgramo es la millonésima parte de un gramo, y equivale a mil nanogramos)

3.2.3 Exposición a partir de la dieta

Una gran parte de los alimentos que consumimos de forma habitual contienen HAP, aunque sea en cantidades mínimas. Los vegetales cultivados en suelos contaminados o en atmósferas contaminadas pueden contener trazas de HAP. También pueden encontrarse HAP en los alimentos a base de cereales y los lácteos. Cocinar carne y otros alimentos a altas temperaturas, lo cual ocurre al asar a la brasa o al carbón, aumenta las cantidades de HAP presentes en los alimentos. Lo mismo ocurre al ahumar los alimentos, sobre todo el pescado.

Diferentes estudios han permitido conocer, de forma aproximada, la concentración de HAP en algunos alimentos. Destacan por su contenido elevado en BaP los productos ahumados, en especial mediante técnicas tradicionales, como el pescado tahlilandés (hasta 1.200 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Entre los alimentos no ahumados, los de mayor concentración son algunos pescados y mariscos, con concentraciones de hasta 5-7 $\mu\text{g}/\text{kg}$, y los que tienen alto contenido en grasas, como los aceites, con concentraciones a veces superiores a 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$. El nivel de HAP del aceite varía notablemente según del fruto o semilla, la tecnología utilizada y el proceso de refinado. Es muy bajo en el aceite virgen de oliva, y algo mayor en el aceite refinado de otras semillas. El de orujo, resultante de extraer el aceite remanente en el hueso, debe someterse a procesos más agresivos y tiene un mayor riesgo de contener mayores concentraciones de HAP.

Se han establecido límites máximos tolerables de BaP para alimentos. Como muchas mezclas de HAP lo contienen en concentraciones parecidas a menudo se toma el BaP como referencia para el control de los HAP totales, de los que suele representar entre un 1 y un 15%. Para los alimentos que se consumen crudos la UE ha fijado un límite máximo tolerable de 0,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$. No se ha fijado un límite para alimentos ahumados, aunque en algunos países (Francia, Alemania, Suiza, Austria) han establecido valores de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$. En el aceite de orujo se han establecido límites para un grupo de ocho HAP (entre ellos el BaP); para cada uno el límite máximo debe ser menor de 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, y la suma de sus concentraciones no puede exceder de 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

En la dieta típica en España de población adulta se ha estimado que la ingesta diaria promedio es de 8.6 $\mu\text{g}/\text{d}$, correspondiendo 0,14 $\mu\text{g}/\text{d}$ a la ingesta de BaP. Para el BaP, el 24% de la ingesta correspondía a carne y derivados, 20% a productos a base de cereales, y 11% a los aceites y otras grasas. En las poblaciones no expuestas ocupacionalmente y no fumadoras los HAP de la dieta constituyen la principal fuente de exposición.

3.2.4 Exposición ocupacional

En algunas personas la principal fuente de exposición a los HAP ocurre en el lugar de trabajo. La exposición ocupacional es principalmente por inhalación de gases y partículas, pero en algunos casos puede haber un fuerte componente de exposición de HAP por la piel, al entrar en contacto o manipular sustancias con un elevado contenido en HAP.

La exposición ocupacional puede considerarse como una forma de exposición ambiental, pero con unas características peculiares. La principal es que la exposición tiene lugar a concentraciones

nes mucho mayores que la exposición ambiental. Por ejemplo, en industrias con exposición a HAP el BaP se encuentra a veces a concentraciones de 10 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cuando en el aire la concentración típica es del orden de pocos ng/m^3 . Es decir, que la exposición ocupacional puede ser de un orden de magnitud de 10.000 a 100.000 veces mayor que la ambiental. Por otra parte es una exposición que puede tener variaciones en su concentración, y que tiene lugar durante un período limitado de tiempo a lo largo del día y de la semana. Finalmente, con frecuencia la exposición ocurre en lugares confinados, sometidos a condiciones no habituales de temperatura, y en muchas ocasiones con exposición concomitante a otros compuestos químicos.



La exposición laboral a HAP es muy común, existiendo un gran número de industrias y procesos en los que están presentes los HAP. En algunos casos la base de la exposición es a causa de la combustión de materia orgánica necesaria para un proceso determinado; en otros casos se debe a la utilización de productos ricos en HAP, y en otros casos la industria no tiene relación alguna con los HAP, pero la exposición es secundaria a otras situaciones habituales: por ejemplo, en casi todas las ocupaciones en las que se opera con maquinaria y vehículos de transporte las emisiones de los tubos de escape contienen HAP.

3.2.5 Actividades industriales y ocupaciones con exposición a HAP

En los capítulos siguientes se tratarán en detalle las principales ocupaciones y productos del entorno laboral importantes en la exposición a HAP, así como sus concentraciones y niveles de exposición asociados. Sin embargo se presenta a continuación una lista no exhaustiva de industrias y circunstancias laborales para las que se ha descrito exposición ocupacional a los HAP.

- Industria metalúrgica: fundición de aluminio, industria del hierro
- Siderurgia
- Trabajo en hornos de coque
- Destilación de productos ricos en HAP: alquitrán, betún, creosota
- Aplicación de alquitrán y embreado
- Producción de asfalto
- Operaciones de asfaltado; utilización de asfaltado en general, asfaltado y reparación de carreteras; construcción de carreteras
- Refinado: de petróleo, aceites minerales, betún
- Producción de derivados del petróleo
- Gasificación del carbón

- Centrales térmicas de carbón
- Recubrimiento de canalizaciones
- Impregnado y embreado de madera y cerámica
- Fabricación de electrodos de carbono
- Manufactura y producción de negro de carbón
- Industria de la goma y el caucho; fabricación de neumáticos
- Incineración de residuos
- Operadores y mecánicos de maquinaria y automóviles
- Ahumadores de alimentos



3.2.6 Niveles de referencia en la exposición ocupacional a HAP

En general los niveles de referencia en el ambiente laboral se determinan mediante diversos indicadores, frecuentemente conocidos por sus siglas en inglés. Por ejemplo el límite de exposición permisible (PEL, *permissible exposure limits*), límites de exposición recomendados (REL, *recommended exposure limits*), o valores límite umbral (TLV, *threshold limit values*). Evidentemente las concentraciones medidas en el aire del ambiente de trabajo pueden variar, pero se dan referidas a una jornada de trabajo, en general tomada como 8 horas, lo que se conoce como promedio temporal ponderado (TWA, *time-weighted average*). Para los HAP, el estándar químico que se ha tomado como referencia es la concentración de compuestos volátiles solubles en benceno que se desprenden por el calentamiento del alquitrán de hulla o la brea, conocida por sus siglas en inglés CTPVs (*coal tar pitch volatiles, benzene-soluble fraction*).

El Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de los EEUU ha establecido un límite de exposición ocupacional recomendado como concentración promedio ponderado de tiempo (REL-TWA) para los productos de alquitrán de hulla (medidos como CTPVs) de $0,1 \text{ mg/m}^3$ en una jornada laboral de 10 horas, durante una semana de trabajo de 40 horas.

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) recomienda un límite de exposición ocupacional para los productos del alquitrán de hulla de $0,2 \text{ mg/m}^3$ en una jornada laboral de 8 horas, durante una semana de trabajo de 40 horas.

También en los EEUU, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales (OSHA) ha establecido un límite de cumplimiento legal de $0,2 \text{ mg/m}^3$ promediado durante una exposición de 8 horas.

En ocasiones se dan los valores regulados para el BaP como representante de los demás HAP, por ser el de mayor potencial cancerígeno.

La Fundación Alemana de Investigación (DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft) establece unos límites de concentración o máxima (promedio ponderado por 8 horas) para el BaP de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la producción y carga de los hornos de coquificación, y $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el resto de localizaciones.

En España el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) ha establecido el límite de exposición de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el BaP.



4

**EXPOSICIÓN LABORAL
A LOS HAP:
INDUSTRIAS Y PRODUCTOS**

4. EXPOSICIÓN LABORAL A LOS HAP: INDUSTRIAS Y PRODUCTOS

Como ya se ha mencionado, los HAP se han utilizado ampliamente en la industria, existiendo por tanto una alta probabilidad de exposición ocupacional. Por una parte, los HAP forman parte de algunas sustancias o productos ampliamente utilizados en muchos procesos industriales, especialmente todos los derivados del petróleo y otros compuestos orgánicos. Además, en la mayoría de procesos de producción se requiere energía, que durante mucho tiempo se ha extraído fundamentalmente de la combustión de materia orgánica, especialmente carbón.

A continuación se describen en detalle en primer lugar, los principales productos de uso frecuente en la industria que contienen HAP, y en segundo lugar dos ejemplos de la industria metalúrgica en los que se dan niveles elevados de exposición a HAP. Dentro de ellas se incluye especialmente la siderurgia, o industria del hierro y el acero, por la importancia histórica que ha tenido en nuestro país, y la industria de fundición del aluminio, por ser una de las que ha registrado mayores niveles de exposición a HAP. En ambos casos se trata también de dos de los sectores industriales en los que se han estudiado más los efectos sobre la salud de la exposición ocupacional a los HAP.

4.1. Productos que contienen HAP utilizados en el entorno laboral

COQUE

El coque (*coke*) es un combustible obtenido de la destilación de la hulla calentada a temperaturas muy altas en hornos cerrados; en ellos se añade calcita para mejorar la combustión, que se produce en ausencia de aire. Al calentar la hulla se desprenden gases que son muy útiles industrialmente (véase más adelante); el sólido resultante es el carbón de coque, que es liviano y poroso.

Figura 3
Coque utilizado en la metalurgia



El carbón puede también obtenerse a partir de la madera (carbón vegetal), pero actualmente el más utilizado es el que se forma a partir de los minerales de carbón, como el lignito, y sobre todo la hulla. La hulla es una roca sedimentaria orgánica, que contiene entre un 45 y un 85% de carbono. Se formó como resultado de la descomposición de la materia vegetal de los bosques primitivos y posterior compresión del lignito. Tiene mayor proporción de carbono, menor porcentaje de humedad y mayor poder calorífico que el lignito.

Durante la revolución industrial sustituyó al carbón vegetal como reductor y fuente de energía en los altos hornos, facilitando el desarrollo de la industria siderúrgica, que dependía hasta entonces de un recurso limitado como la madera. También se ha utilizado ampliamente para la calefacción doméstica, pues su combustión no produce humo y es menos contaminante.

El carbón de coque es un combustible muy importante para la fabricación del hierro y del acero. Dentro de las plantas de producción de hierro y acero, el coque es producido en una instalación específica. El proceso de transformación de la hulla en coque se conoce como coquificación o coquizado. En este proceso, además del coque, se desprenden también una serie de gases y líquidos de utilidad industrial.

La utilización del coque y su importancia en la producción y fabricación de hierro y acero será tratada más adelante, cuando se detallen las características de la industria siderúrgica.

ALQUITRÁN

El alquitrán (tar) es una sustancia en general en estado líquido de elevada viscosidad, oscura y de olor fuerte, que se obtiene de la

destilación de ciertas materias orgánicas, principalmente de la hulla, el petróleo y de algunas maderas resinosas.

El alquitrán está compuesto por miles de sustancias químicas, algunas de las cuales se consideran tóxicas. Al ser una mezcla compleja de compuestos orgánicos, es muy difícil hablar de fórmula específica; la composición puede variar según la temperatura y el proceso de destilación utilizados. Del alquitrán de hulla se conocen alrededor de 300 componentes distintos; el que se forma por debajo de los 600°C contiene principalmente parafinas, olefinas, alcoholes, fenoles, y agua. A partir de los 1000°C, cuando comienza a formarse el coque, el alquitrán resultante consiste principalmente en HAP, fenoles, y algunos compuestos de nitrógeno, azufre y oxígeno. Contiene también grandes cantidades de tolueno, xileno y naftaleno.

Alquitrán de madera

El alquitrán de madera se produce por el calentamiento o el quemado parcial de dicho material; en el norte de Europa, de hecho, la palabra alquitrán se refiere principalmente a la sustancia que se obtiene a partir de madera. En ellos el alquitrán se obtenía principalmente de la destilación en seco de madera de la corteza de algunas especies de árboles como el abedul. Los subproductos de alquitrán de madera son la trementina y carbón.

El alquitrán de madera se utilizaba a menudo para calafatear el casco de las embarcaciones. Los alquitranes de madera se utilizaron para impermeabilizar velas y botes, pero hoy estos componentes de las embarcaciones son intrínsecamente resistentes al agua gracias a sustancias sintéticas, haciendo obsoleto el uso del alquitrán. Alquitranes de madera aún se utilizan para sellar los barcos tradicionales de madera y los techos históricos de las iglesias,

así como las paredes exteriores de edificios antiguos. Actualmente se utiliza principalmente en la elaboración de diversos productos, como jabones y cosméticos, pinturas, plásticos, y productos químicos. También se utiliza como aditivo de dulces, alcohol y otros alimentos. El alquitrán es un desinfectante general, con propiedades microbicidas, y también se utiliza en el tratamiento de la psoriasis, aunque el alquitrán de hulla es más eficaz.

Alquitrán de hulla

El alquitrán de hulla (*coal tar*) se produce por la destilación del carbón de hulla y su composición es variable y compleja dependiendo del carbón de origen y de la temperatura de destilación. Contiene cantidades variables de aceites, HAP, fenoles, brea y carbono. Actualmente el alquitrán de hulla se genera como subproducto del proceso de producción del coque, material de enorme importancia en la fundición de hierro.

El alquitrán de hulla puede usarse como recubrimiento anticorrosivo, caracterizándose por tener una excelente resistencia al agua salada y una buena resistencia tanto a ácidos como a bases. Se emplea también para conservar madera e impermeabilizar techos. Se usa como materia prima para la producción de varias sustancias químicas como el benceno, tolueno, xilenos, fenol, naftaleno, antraceno, piridina, quinolina y pireno

Siendo inflamable, el alquitrán de hulla se usa a veces para calefacción, como combustible de calderas. Como la mayoría de los aceites pesados, debe calentarse previamente para que fluya fácilmente.

El alquitrán de hulla en bajas concentraciones es utilizado como un medicamento de usos tópico, especialmente para el tratamiento

de la psoriasis. También puede usarse obtener jabón de alquitrán de hulla, que se usa como champú medicinal para la eliminación de parásitos y la caspa.

El residuo de la destilación total del alquitrán de hulla es la brea de alquitrán, sólida a temperaturas de 20°C y superiores según sea su naturaleza, de color pardo o negro.

BREA

La brea (*pitch*, *coal tar pitch*) es un residuo de la pirólisis de material orgánico o destilación de alquitranes. También se pueden obtener breas de otros productos; en la destilación del petróleo se produce un residuo sólido y negro llamado brea del petróleo o también asfalto o betumen asfáltico. Es sólida a temperatura ambiente y está constituida por una mezcla compleja de muchos hidrocarburos, tanto HAP como de otros tipos.

- La brea de alquitrán de hulla es el residuo de la destilación total del alquitrán de hulla. Está constituida por mezclas complejas de numerosos HAP y otros compuestos heterocíclicos, resinas, fenoles y carbono.
- La brea de petróleo está compuesta por los residuos del tratamiento térmico y destilación de distintas fracciones del petróleo. En ella abundan los hidrocarburos aromáticos sustituidos con grupos químicos más o menos complejos. Se conoce también como asfalto o betumen asfáltico.
- La brea vegetal o de biomasa se obtienen a partir de alquitranes de origen vegetal, por procedimientos similares a los empleados en la obtención de breas de alquitrán de hulla o petróleo.
- La brea sintética se obtiene mediante polimerización de com-

puestos aromáticos puros como el naftaleno, o mediante pirólisis de polímeros. Su estructura y propiedades depende del compuesto de partida.

- La brea de mesofase es un material con las características de un cristal líquido. Está formada por unas unidades básicas con forma de esfera que poseen una estructura similar a la del grafito. Se obtiene por diversos tratamientos térmicos en los que partiendo de otras breas, se consigue separar o concentrar la fracción específica de la brea.

La brea fue el producto más exportado por los países nórdicos en las épocas en que los navíos y buques mercantes europeos necesitaban enormes cantidades de brea y su principal suministro provenía de los bosques de dichos países. La fabricación de brea con esta aplicación cesó a comienzos del siglo XX, cuando se dejaron de construir barcos de madera.

Actualmente, la brea es un subproducto de otros procesos, es decir, un producto de relativamente poco valor añadido, que sin embargo es el precursor de productos con un gran valor añadido: es la materia prima principal para la fabricación de los materiales de carbón.

La transformación de los precursores existentes en la brea en un material de carbón implica un proceso de tratamiento térmico denominado carbonización. De las condiciones de este proceso y de las características del precursor dependerán las propiedades o prestaciones del material de carbón resultante.

La brea también es una precursora de algunos tipos de fibras de carbono o de grafito. Para la obtención de este tipo de fibras la brea se somete a un tratamiento térmico específico. Se emplea

también para la fabricación de electrodos, como adhesivo, como impermeabilizante, y en la producción de asfalto artificial.

CREOSOTA

La creosota (*creosote*) es un compuesto químico derivado del fraccionamiento de alquitranes procedentes de la destilación de carbones grasos como la hulla. Fue descubierta y patentada por John Berthell en Inglaterra en el año 1838. Cuando la hulla se introduce en un horno de coquificación se produce por una parte el coque, y por otra vapores que llegan a un condensador, del que se obtienen alquitrán. El alquitrán pasa a la destilería, y de su fraccionamiento se obtiene la brea y cuatro sustancias grasas: aceite de naftalina, aceite de antraceno, aceite fenolado, y aceite de lavado. La mezcla de estos cuatro componentes en las proporciones adecuadas conforma el producto conocido como creosota.

Una de las principales características de la creosota son sus propiedades biocidas para los agentes causantes del deterioro de la madera. La madera se protege impregnándola con el producto mediante proceso llamado creosotado; habitualmente se realiza en un autoclave en condiciones específicas de vacío, presión y temperatura. Este método de creosotado se usa hace más de 150 años para tratar y preservar maderas expuestas a la intemperie. Mediante el creosotado, se abren los poros de la madera consiguiendo que el producto penetre dentro en mayor medida. La creosota evita el ataque de los hongos y bacterias que afectan la madera expuesta al aire libre y enterrada. Por su característica físico-química de sustancia orgánica neutra no ataca los metales que se introduzcan en la estructura de la madera, como clavos, tornillos, o alambres, y por ser oleosa los protege de la humedad del ambiente evitando su oxidación.

Tras quedar probado su potencial cancerígeno la UE prohibió la comercialización y uso de la creosota como conservante de la madera; la prohibición también se aplica a las maderas tratadas con creosota. La creosota podrá seguir utilizándose en aplicaciones industriales, por ejemplo en traviesas para las vías y postes telegráficos, pero con nuevos parámetros en su composición.

No hay ningún tratamiento químico que neutralice la creosota de la madera. La madera creosotada debe ser desechada y quemada en hornos especiales para evitar la exposición a los compuestos tóxicos que contiene. En la actualidad se están utilizando sustitutos de la creosota para el tratamiento de la madera, tales como sales metálicas, principalmente cúpricas.

BETÚN

El betún (*bitumen*) o betumen es una mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra, pegajosa, compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos policíclicos. El betún es la fracción residual (el fondo) resultante de la destilación del petróleo; es la fracción más pesada y la que tiene el punto de ebullición más elevado. No debe ser confundido con el asfalto, que es una mezcla de minerales y betún, ni con el alquitrán, que se obtiene de la destilación del carbón y es químicamente diferente. La mayoría de los betunes, además de HAP, contienen azufre, arsénico, selenio y varios metales pesados como níquel, cromo, mercurio, y otros elementos tóxicos.

El betún se usa primordialmente para pavimentar carreteras y calles, como componente del asfalto. Sus otros usos son como impermeabilizante de diversos productos tales como botas de vino, o el papel alquitranado para el sellado de techos y tejados. En el pasado, el betún se usó para impermeabilizar barcos, o como un recubrimiento en la construcción.

El betún puede actualmente fabricarse a partir de fuentes renovables no basadas en el petróleo, como azúcar, melaza, arroz, maíz y patata; en este caso se conoce como biobetún. También puede obtenerse o a partir del reciclado de materiales de desecho, como el aceite mineral procedente de la destilación fraccionada de aceite de motor usado.

ASFALTO

El asfalto (*asphalt*) es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras. Está presente en el petróleo crudo y se encuentra en estado natural formando una mezcla compleja de hidrocarburos en lagunas de ciertas cuencas petrolíferas.

Figura 4

Asfalto. Operaciones de asfaltado de carretera



A pesar de la fácil extracción y excelente calidad del asfalto natural, no suele explotarse desde hace tiempo ya que se obtiene también en las refinerías de petróleo como subproducto sólido en la fragmentación de las torres de destilación, resultando mucho más económica su obtención de este modo.

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, y capaz de resistir altas presiones puntuales y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Estas son propiedades que lo hacen un material ideal para la construcción de pavimentos cumpliendo principalmente dos funciones: impermeabiliza la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua de lluvia; y proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.

NEGRO DE CARBÓN

El negro de carbón (*carbon black*) es un material producido por la combustión incompleta de los productos derivados del petróleo. Es una forma de carbono amorfo con una relación superficie-volumen extremadamente alta. Es un conocido cancerígeno que puede afectar el tracto respiratorio si se inhala, debido a su alto contenido en HAP.

El uso más común (prácticamente el 70%) del negro de carbón es como pigmento y base de refuerzo en neumáticos para automóviles. El negro de carbón ayuda a disipar el calor de las zonas de la huella y el cinturón del neumático, reduciendo el daño térmico e incrementando la vida de la goma. Las partículas de negro de carbón también se emplean en algunos materiales absorbentes de radares y en los tóners de impresoras.

También se usa el negro de carbón como relleno de refuerzo en los productos de goma además de los neumáticos; la mezcla de un vulcanizado puro con negro de carbón al 50% mejora su resistencia a la tensión y resistencia al desgaste y la abrasión. En algunos productos tales como el calzado deportivo el negro de carbón está siendo paulatinamente substituido por compuestos basados en cuarzo ahumado. Tradicionalmente han tenido peor resistencia a la abrasión, pero la tecnología de los compuestos de cuarzo ha mejorado gradualmente hasta igualar la del negro de carbón.

HOLLÍN

Aunque el hollín (*soot*), es más frecuente como un subproducto de otros procesos que como un producto de uso industrial se incluye aquí por su importancia en el ámbito laboral. Se llama hollín a las partículas sólidas de tamaño muy pequeño, en su mayoría compuestas de carbono impuro pulverizado, y generalmente de colores negruzcos, resultantes de la combustión incompleta de material orgánico, especialmente carbón y madera. Su aspecto es similar a la ceniza pero con un tono más negro.

Es común encontrar grandes cantidades de hollín en las salidas de combustión de las calderas y chimeneas, tanto industriales como domésticas. En las calderas con captadores de hollín pueden almacenarse varios metros cúbicos de este material. Cuando proviene del quemado de combustible diésel puede contener absorbidos hidrocarburos compuestos principalmente por lubricantes y combustible sin quemar. Además puede contener otros sólidos como óxidos y sulfatos. Las operaciones de limpieza del hollín conllevan una exposición importante a HAP y otros compuestos tóxicos.

4.2. Actividades industriales metalúrgicas con alta exposición a HAP

En general la industria metalúrgica se dedica a la obtención de los metales a partir de minerales metálicos, y su tratamiento. La fundición es una de las formas más habituales de metalurgia, cuya principal aplicación es la producción de un metal a partir del mineral base o mena. La mayoría de minerales son mezclas del metal con otros elementos; para obtener el metal debe producirse una reacción química en la que alguna sustancia se combina con dichos elementos para liberar el metal. Para que se produzca la reacción química se necesita también aporte de energía, en general en forma de calor.

SIDERURGIA

Es la técnica del tratamiento del mineral de hierro para obtener diferentes tipos de éste o de sus aleaciones, especialmente el acero. El hierro se encuentra presente en la naturaleza en forma de óxidos (hematita), hidróxidos, carbonatos (siderita), silicatos y sulfuros. Estos minerales se encuentran combinados en rocas, las cuales contienen elementos indeseados denominados gangas.

Se denomina siderurgia integral a una planta industrial dedicada al proceso completo de producir acero a partir del mineral de hierro, mientras que se denomina acería a una planta industrial dedicada exclusivamente a la producción y elaboración de acero partiendo de otro acero o de hierro.

El acero es una aleación de hierro y carbono, que se produce en un proceso de dos fases. Primero el mineral de hierro es reducido con coque y piedra caliza, para producir hierro fundido o arrabio; la segunda fase tiene por objetivo disminuir el alto contenido de carbono y eliminar las impurezas.

Figura 5
Alto horno



Una planta integral tiene todas las instalaciones necesarias para la producción de acero en diferentes formatos. Las materias primas para una planta integral son mineral de hierro, caliza y coque.

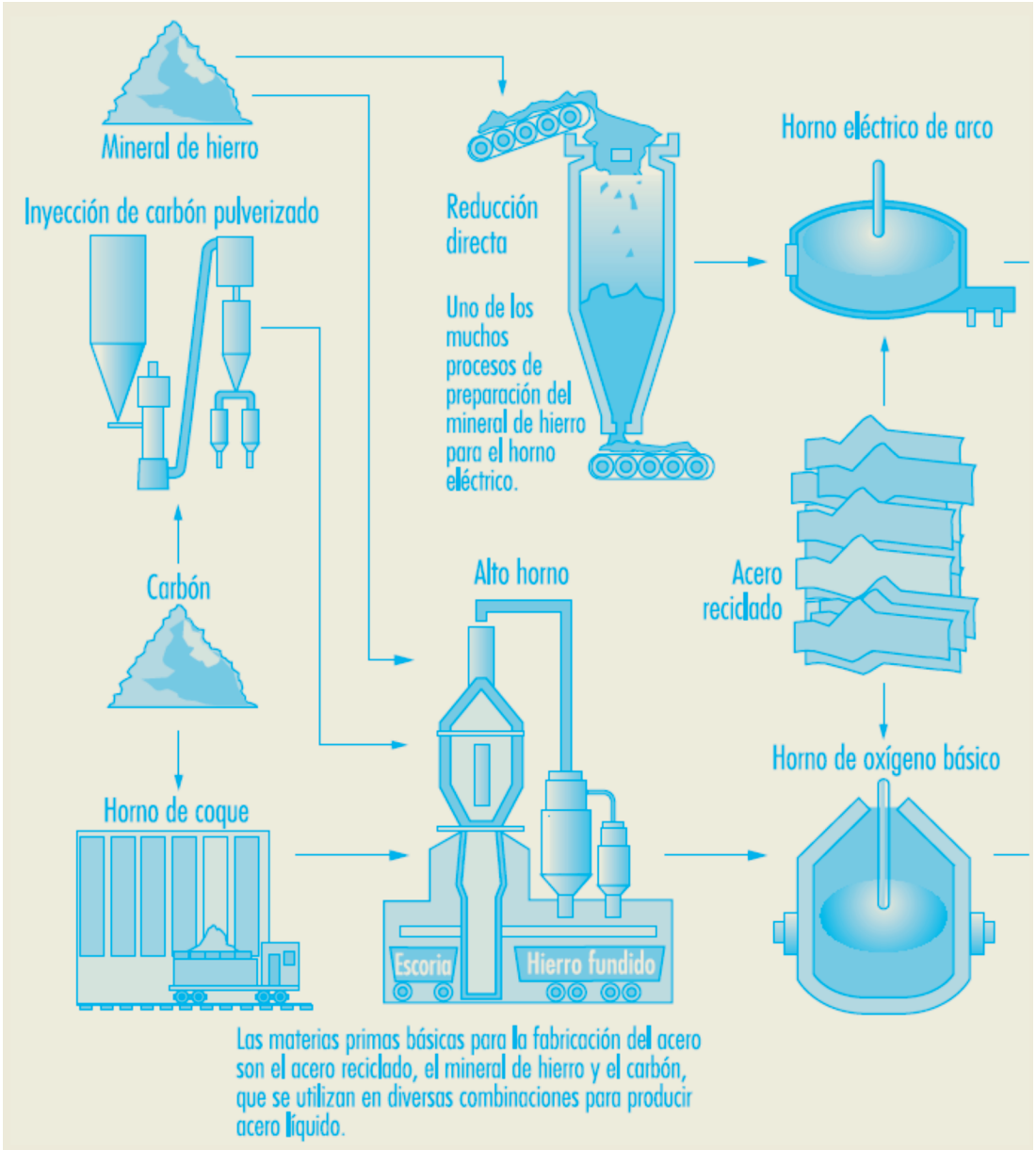
El alto horno

La principal peculiaridad de la fabricación de hierro es el alto horno, en el cual se funde o reduce el mineral de hierro para producir el arrabio o hierro fundido.

Un alto horno típico está formado por una cápsula cilíndrica de acero de gran altura. Está hecho de fuertes chapas soldadas que constituyen su armazón principal; pero teniendo en cuenta la elevada temperatura que se produce en su interior, el armazón debe estar protegido mediante una gruesa capa de material refractario que reviste toda la chapa por su interior. Además la estructura debe estar dotada de un sistema de refrigeración. La inmensa cuba que es el horno alto cuenta, con una gran tubería por la que llega el aire caliente que ha de entrar por las toberas, también protegida por una capa interior de material refractario. Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra (vacía) el alto horno. Otro dispositivo importante de esta construcción es la zona de carga o tragante del horno. Un plano inclinado es generalmente el medio empleado para subir a la zona del tragante los recipientes conteniendo el mineral, coque y caliza, que una vez arriba son volcados para vaciar la carga al interior del horno. Finalmente, completa la construcción un conjunto de salidas de gases o tuberías que parten de la parte alta del horno y se reúnen en una sola que desciende a un colector general, que lleva el gas a las instalaciones preparadas para su aprovechamiento.

El horno se carga por la parte superior con mineral de hierro, coque y caliza; por la solera se inyecta aire caliente, a menudo enrique-

Figura 6
Representación gráfica del proceso de fabricación del acero



cido con oxígeno. El monóxido de carbono producido a partir del coque transforma el mineral de hierro en arrabio; la caliza actúa como fundente. A la temperatura de 1.600°C el arrabio se funde, y la caliza se combina con la tierra formando escoria. El horno se sangra (se retira el arrabio) periódicamente; el arrabio se recoge en crisoles en los que se traslada, todavía fundido, a la acería.

La acería

El acero es una aleación fundamentalmente de hierro y carbono, pero éste no debe sobrepasar el 1,9%, aunque la mayor parte del acero tiene una proporción de carbono inferior a 0,5%. El arrabio contiene grandes cantidades de carbono y otras impurezas, por lo que debe ser refinado. En el convertidor de Bessemer se inyecta aire a presión, que mediante un proceso de oxidación convierte el arrabio en acero. En el proceso LD (iniciales de Linzer Duserverfahren) el arrabio se sopla con oxígeno puro en vez de hacerlo con aire, resultando mucho más eficiente.

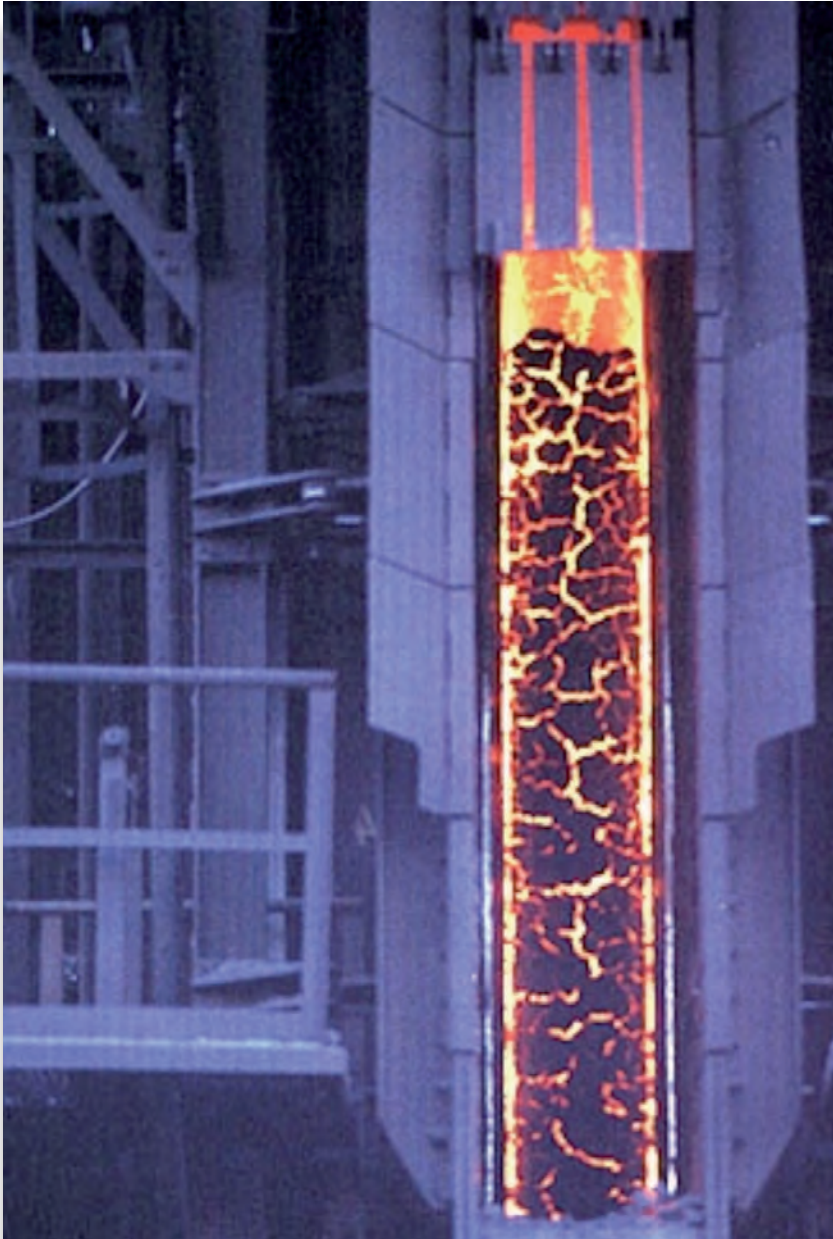
Hornos de coque; coquificación

Un grave inconveniente asociado de las siderúrgicas integrales es el consumo energético, y sobre todo el requerimiento de grandes cantidades de coque, producto esencial para la reducción del mineral de hierro en el alto horno. Dado el gran consumo de coque que es necesario para el funcionamiento de los altos hornos, los hornos de coquificación suelen ser una instalación anexa a las industrias siderúrgicas.

El coque metalúrgico es el residuo sólido que se obtiene a partir de la destilación o pirólisis de determinados carbones minerales, como las hullas, que poseen la capacidad de transformarse en coque después de haber pasado por una fase plástica. Este proceso

Figura 7

Horno de coque a punto de ser deshornado



se denomina coquificación y consiste en un calentamiento entre 1.000 y 1.200 °C en ausencia de oxígeno hasta eliminar la práctica totalidad de la materia volátil del carbón.

Dos elementos esenciales del horno de coque son las cámaras de coquificación y las retortas. En las cámaras de coquificación se alcanzan las elevadas temperaturas necesarias para el proceso, que necesita un tiempo que oscila entre 16 y 20 horas dependiendo del tipo de carbón. Una vez convertido el carbón en coque, se extrae del horno por un lateral empleando un émbolo automático llamado deshornador.

Las reacciones que tienen lugar durante la transformación del carbón en coque son complejas. Entre los productos de descomposición se encuentran inicialmente agua, óxidos de carbono, sulfuro de hidrógeno, compuestos aromáticos, parafinas, olefinas, compuestos fenólicos y compuestos nitrogenados, y diversos compuestos volátiles como benceno, tolueno y xilenos. Los productos primarios experimentan procesos de síntesis y degradación que generan grandes cantidades de hidrógeno, metano y sobre todo hidrocarburos aromáticos policíclicos. La descomposición de los compuestos nitrogenados da lugar a amoníaco, cianuro de hidrógeno, y bases de piridina. Las retortas de coquificación, que disponen de equipos para recuperar y procesar los productos del carbón, producen diversos materiales entre los que se encuentran alquitranes, y creosota.

Industria siderúrgica y acererías EAF

Las fábricas siderúrgicas se han transformado considerablemente y se han adoptado nuevos métodos de fabricación de acero. Progresivamente se han adoptado métodos de conversión con oxígeno y hornos eléctricos. Además se han aportado importantes cambios al

sistema de elaboración, incluyendo la automatización y el control centralizado. En la industria del acero la evolución tecnológica ha favorecido la creación de nuevas capacidades de producción mediante la instalación de hornos eléctricos de arco (EAF, *electric arc furnace*) alimentados con chatarra de acero reciclada.

FUNDICIÓN DE ALUMINIO

El aluminio es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre; sus compuestos forman el 8% de la corteza del planeta. Como metal se extrae únicamente del mineral conocido con el nombre de bauxita. Cuando fue descubierto se observó que era extremadamente difícil su separación de las rocas de las que formaba parte, por lo que durante un tiempo fue considerado un metal precioso, más caro que el oro.

Reseña histórica

En 1825 el químico danés Hans Christian Oersted obtuvo por primera vez aluminio calentando una mezcla de potasio con cloruro de aluminio. El nombre se debe a Sir Humphrey Davy, quien propuso el término *aluminum* para el metal que formaba parte del material conocido como alumbre, aún antes de que dicho metal fuera aislado y descubierto.

En 1886 Charles Martin Hall desarrolló en los Estados Unidos un método para extraer aluminio mediante una corriente eléctrica. Casi simultáneamente Paul Héroult desarrolló de forma independiente el mismo proceso en Francia. Dos años después, el químico austriaco Karl Bayer desarrolló y patentó su proceso para extraer óxido de aluminio de la bauxita.

La aplicación método Bayer y el proceso Hall-Héroult abarató considerablemente la producción de aluminio, lo que permitió

que se extendiera su uso hasta hacerse común en multitud de aplicaciones. En 1888 Hall fundó una empresa para la manufactura de aluminio, posteriormente conocida como *Aluminum Company of America* o Alcoa.

Actualmente el proceso ordinario de obtención del metal consta de dos etapas: primero la obtención de alúmina a partir de la bauxita, y posteriormente la electrolisis de la alúmina para obtener aluminio.

Figura 8
Planta de fundición de aluminio



Producción de alúmina: el proceso Bayer

El mineral del que se extrae el aluminio casi exclusivamente es la bauxita. Las bauxitas son productos de erosión procedentes de rocas madres silicatoaluminicas, que contienen aproximadamente un 45-60% de óxido de aluminio, 12-30% de agua, y algunas otras impurezas. El método mayoritariamente utilizado para producir alúmina a partir de la bauxita es el proceso inventado por Karl Bayer. Comienza con un lavado de la bauxita molida con una solución de sosa cáustica a alta presión y temperatura. Los minerales de aluminio se disuelven mientras que los otros componentes de la bauxita, principalmente sílice y óxidos de hierro y titanio, permanecen sólidos y se depositan en el fondo de un decantador y se retiran. Luego se recristaliza el hidróxido de aluminio de la solución y se calcina a más de 900°C para eliminar el agua. La alúmina (óxido de aluminio, Al_2O_3) resultante está lista para la fundición del aluminio.

Electrolisis de la alúmina: el proceso Hall-Heroult

La alúmina (óxido de aluminio) se reduce a aluminio mediante electrolisis, en el proceso conocido como Hall-Heroult. La electrolisis es un proceso electroquímico en el que se hace pasar una corriente eléctrica a través de una solución que contiene compuestos disociados en iones para provocar una serie de reacciones químicas, que permiten separar los elementos de esos compuestos. La corriente eléctrica se hace pasar por la solución sumergiendo en ella dos electrodos, uno llamado cátodo y otro llamado ánodo, conectados a los dos polos de una fuente de corriente continua. El cátodo es el electrodo por el cual los electrones llegan a la solución y en él se produce la reacción de reducción, mientras que el ánodo es el electrodo en el que se produce la reacción de oxida-

ción, y en él se genera calor. Los electrones emitidos por el cátodo circulan a través de la solución hacia el ánodo; al impactar con el ánodo ceden a éste su energía, que se disipa en forma de calor.

La fundición del aluminio, o electrolisis de la alúmina se produce en una celda o cuba electrolítica. En la celda electrolítica el óxido de aluminio (alúmina) se disuelve en un baño fundido de criolita. La alúmina proveniente del proceso Bayer tiene un punto de fusión extremadamente alto (por encima de los 2.000°C), y la mezcla con la criolita logra bajar el punto de fusión a alrededor de los 900°C. La solución electrolítica también debe tener menor densidad que el aluminio a esa temperatura, para que el aluminio ya refinado se deposite en el fondo de la cuba. La electrolisis se produce mediante la corriente que llega a la solución por los electrodos de carbono.

En general se dispone de varias cubas conectadas; en cada una de ellas la corriente llega y por los electrodos de carbono, pasa a través de la solución de alúmina y criolita, y sale hacia los electrodos de la siguiente cuba. La cuba consiste en un armazón de acero en el que se aloja el cátodo de carbono y que contiene la solución de criolita y alúmina. Una superestructura aislada eléctricamente en la parte superior de las cubas contiene los ánodos de carbono suspendidos sobre la cuba, sumergidos parcialmente en la solución electrolítica. El oxígeno de la alúmina reacciona con el carbono del cátodo formando dióxido de carbono y aluminio. A medida que transcurre el proceso, el aluminio que es más denso que la solución se deposita en el fondo y se va retirando regularmente en un crisol en condiciones de vacío.

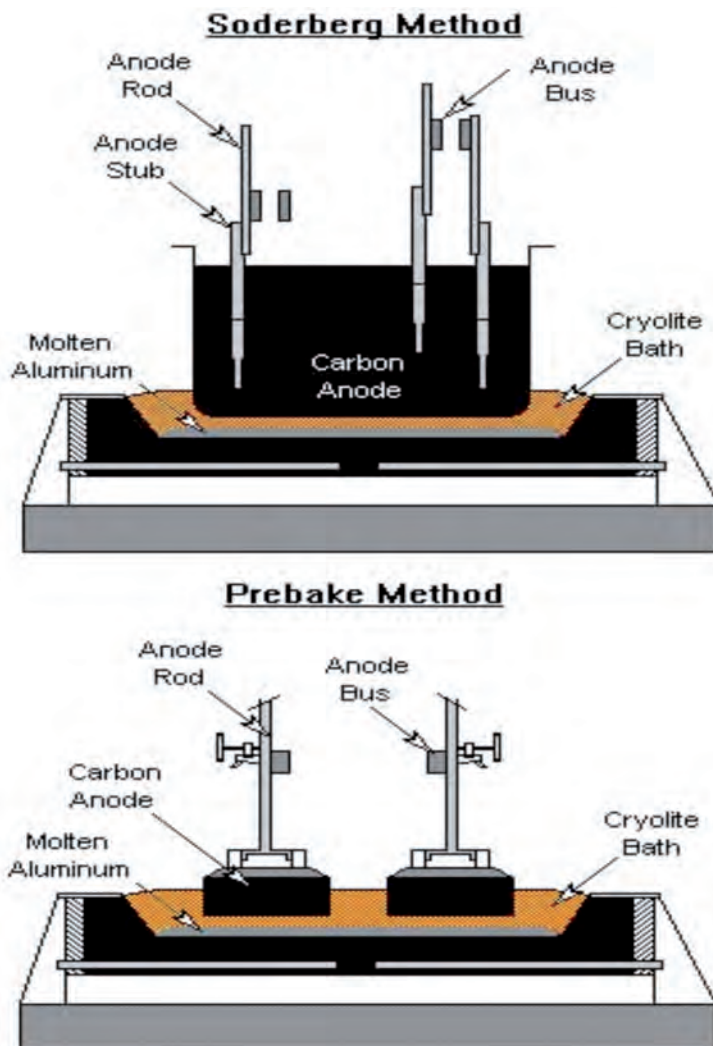
Los electrodos de carbono. El proceso Soderberg

En la celda electrolítica usada para obtener el aluminio se utilizan electrodos de carbono. El cátodo es el lecho de carbono que forma parte del fondo de la cuba; consiste en bloques preformados de carbono, que duran de 4 a 6 años.

Los ánodos, en general barras de suspendidas y sumergidas en la solución electrolítica, se consumen durante el proceso; se calcula que por cada tonelada de aluminio metálico se consumen de 400 a 500 kg de carbono. Los ánodos, pues, deben ser reemplazados continuamente para mantener la electrolisis.

La producción de los ánodos de carbono (horneado) se puede efectuar mediante dos procesos. En el método llamado prehorneado, los ánodos, completamente formados en hornos externos a la instalación de electrolisis, se insertan en la solución electrolítica. Sin embargo el más común es el proceso de Soderberg, que hornea el carbono directamente en los ánodos de la cuba de electrolisis. El ánodo, en esencia, está formado por una mezcla de coque de petróleo y brea calentados a elevada temperatura de forma que las partículas de coque se mantengan juntas. Para ello se utiliza el calor originado en la misma reacción de reducción de la alúmina. Conforme se va consumiendo la parte inferior del ánodo sumergida en la cuba, se va añadiendo coque y brea en la parte superior. En este proceso se liberan gran cantidad de productos volátiles, mientras que el carbono solidificado permanece en el ánodo. Entre los productos liberados se encuentra una elevada concentración de HAP.

Figura 9
Representación gráfica del proceso de fabricación
de los ánodos de carbono utilizados en la fundición de aluminio



- (a) Método Soderberg: los ánodos se fabrican de forma continua en la parte superior de la celda de electrolisis
- (b) Prehorneado: los ánodos se fabrican previamente en instalaciones externas y se sumergen en la celda electrolítica completamente formados.

Emisiones de la fundición de aluminio

En una planta de producción de aluminio las emisiones gaseosas incluyen el polvo de bauxita, sales de sodio y productos de combustión como óxidos sulfúricos o de nitrógeno. Los principales residuos sólidos son los cienos rojos que contienen óxido de alúmina, silicona, hierro, titanio, sodio, calcio y otros elementos a un pH muy elevado.

Las emisiones de las fundiciones de aluminio incluyen el polvo de coque y los productos derivados de la pirólisis del coque para formar el ánodo cuando se hace mediante el proceso de Soderberg, formados sobre todo de HAP, aunque incluye también sulfuros, dióxido de carbono y compuestos fluorados.

Para producir una tonelada de alúmina se necesitan aproximadamente dos toneladas de bauxita; a su vez, se necesitan dos toneladas de alúmina para producir una tonelada de aluminio, para lo que se requiere, además, una gran cantidad de electricidad. El consumo energético necesario para obtener aluminio es muy elevado y eso lo convierte en uno de los metales más caros de obtener; se necesitan aprox. entre 17 y 20 kw/h por cada kilo de metal de aluminio. El precio de la energía consumida representa entre un 25% y un 30% del costo de producción del aluminio. Por esta razón se están desarrollando procesos alternativos que permiten una reducción de la energía necesaria, hasta un 70% menos que con el procedimiento electrolítico.



5

**PRINCIPALES EFECTOS
DE LOS HAP
SOBRE LA SALUD**

5. PRINCIPALES EFECTOS DE LOS HAP SOBRE LA SALUD

Existen centenares de HAP, pero hasta el momento sólo una veintena han mostrado posibles efectos sobre la salud, especialmente de tipo carcinogénico. Diversos aspectos de los HAP son importantes para determinar sus posibles efectos sobre la salud: en primer lugar la vía de entrada al organismo; en segundo lugar su metabolismo, es decir, la serie de transformaciones que sufren los HAP una vez absorbidos; y por último las características químicas de los compuestos y de sus derivados.

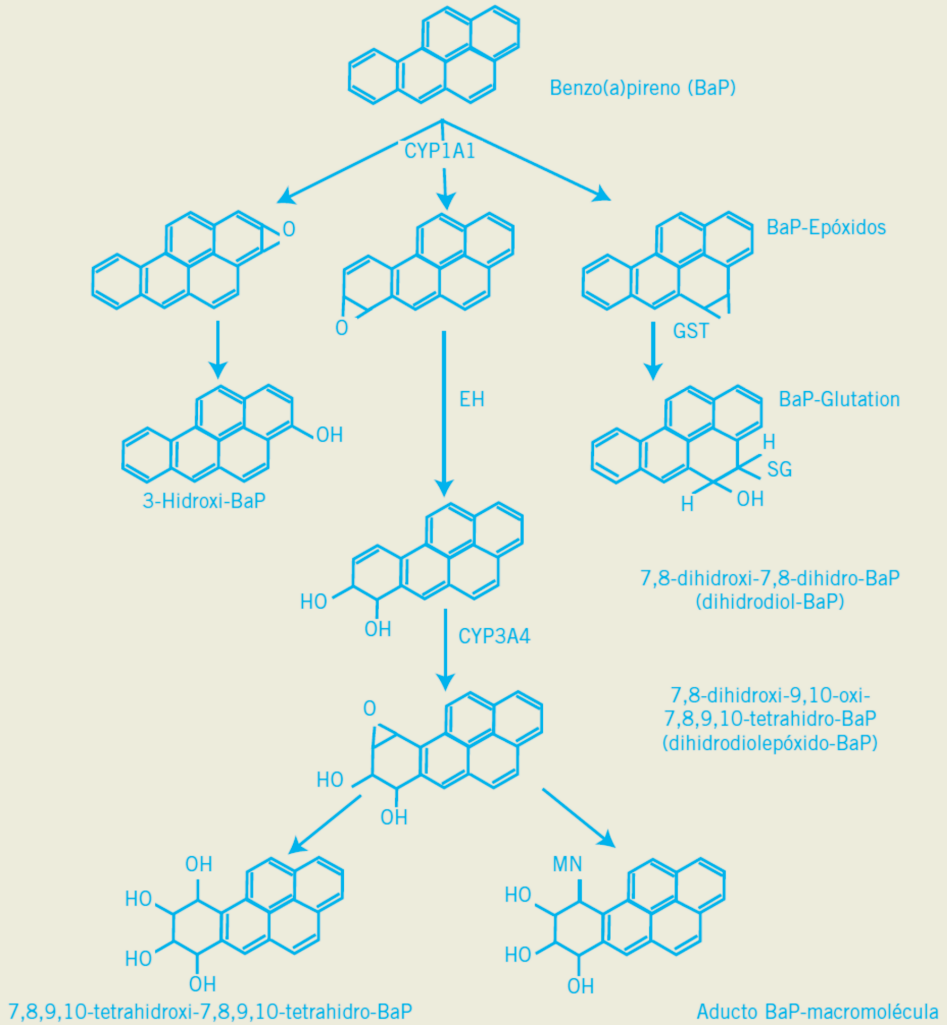
5.1. Absorción y metabolismo de los HAP

La exposición humana a los HAP se produce sobre todo por inhalación de los HAP presentes en el aire y la ingestión de HAP en los alimentos, aunque es posible también su absorción por vía cutánea. Tras su absorción por el organismo se distribuyen ampliamente en todos los tejidos, especialmente en los que tienen mayor contenido graso. Así pues es lógico que los pulmones y la piel sean los principales órganos afectados por los HAP, aunque también pueden afectar al sistema digestivo y a órganos o tejidos con elevado contenido graso. Los HAP no tienden a acumularse en el organismo, y la mayoría de ellos son eliminados a los pocos días de su absorción, principalmente por la orina y las heces.

Un aspecto de interés para comprender la actividad biológica de los HAP es su metabolismo, es decir, la serie de transformaciones que sufren una vez absorbidos por el organismo. Como con cualquier sustancia externa, el organismo trata de eliminarlos, proceso que se conoce como detoxificación, y que se realiza mediante unas proteínas conocidas como enzimas.

Figura 10

Representación del metabolismo del benzopireno en humanos



Las abreviaturas corresponden a los enzimas que catalizan las transformaciones del benzo[a]pireno en sus diferentes metabolitos:

CYP1A1, CYP3A4: enzimas 1A1 y 3A4 del citocromo P450

EH: Epóxido hidrolasa.

GST: Glutation-S-Transferasa.

Este proceso tiene lugar sobre todo, aunque no exclusivamente, en el hígado. El primer paso consiste en la oxidación de los HAP; posteriormente, al compuesto oxidado se le añade una molécula abundante en el organismo como el glutatión; este paso se conoce como conjugación. El proceso de oxidación-conjugación tiene como objeto que un compuesto que originalmente era soluble en las grasas se haga hidrosoluble (soluble en el agua) y favorecer así su eliminación por la orina. Por desgracia, el paso intermedio de la oxidación produce compuestos conocidos como epóxidos que son altamente reactivos, con capacidad para unirse a moléculas complejas, como las proteínas y el ADN. Esta última característica es la responsable de la capacidad genotóxica de los HAP.

5.2. Efectos no cancerígenos de los HAP

Diversas mezclas de HAP, sobre todo las que fácilmente desprenden compuestos volátiles como las del alquitrán y la brea ejercen una acción irritante sobre la piel y las mucosas.

Se han demostrado algunos efectos nocivos de los HAP en animales de experimentación, y aunque parece que también pueden afectar a los seres humanos, sus efectos no están suficientemente bien establecidos. La estructura química de los HAP es similar a la de los estrógenos, las hormonas femeninas. Además algunos HAP tienen la capacidad de atravesar la barrera de la placenta, por lo que pueden afectar al feto de una madre expuesta.

En animales sometidos a altas dosis de exposición a benzopireno se observaron problemas reproductivos; además, cuando la exposición se producía durante el embarazo las crías mostraron otros efectos dañinos, como defectos congénitos y disminución del peso corporal. Así mismo, en estudios realizados en animales se ha demostrado que los HAP pueden causar efectos nocivos en

el sistema inmunitario, es decir, que disminuye la capacidad del organismo para combatir las infecciones, después de exposiciones a HAP tanto a corto como a largo plazo. En los seres humanos se podrían presentar efectos similares, pero no disponemos de información para demostrar que estos efectos ocurren.

5.3. Los HAP como causa de cáncer

La capacidad de producir cáncer es sin duda el principal motivo de preocupación en cuanto a los efectos sobre la salud atribuibles a los HAP. El principal mecanismo para la inducción de tumores por parte de los HAP es su genotoxicidad. El efecto cancerígeno de los HAP ha sido claramente demostrado en los seres humanos para diversos tumores y para varios tipos de exposición.

5.3.1 Genotoxicidad de los HAP

Existen diversos mecanismos por los que una sustancia química puede producir tumores malignos; la más importante y conocida es la capacidad de producir mutaciones en el ADN. Cuando un compuesto es capaz de inducir mutaciones del ADN se dice que es genotóxico.

La genotoxicidad depende de dos características de los HAP. En primer lugar su estructura química: algunos compuestos como el benzopireno tienen una región de su molécula con capacidad de captar electrones, que les permite interactuar con moléculas complejas como el ADN. Por otra parte, la mayoría de los HAP no tienen esta propiedad de forma natural, sino que quienes la tienen son los productos derivados de ellos durante el metabolismo. Como se ha visto en la sección anterior, en el proceso de eliminación de los HAP se forman compuestos intermedios llamados epóxidos. Son éstos derivados de los HAP los que tienen la capacidad de adherirse al ADN formando lo que se conoce como aductos.

El ADN es fundamental para la vida ya que es la molécula que forma los genes, donde se contiene la información sobre cómo debe desarrollarse y realizar sus funciones cada célula del organismo. Cuando la célula se divide, cada una de las células resultantes contiene una copia del ADN original. En este proceso de copia del ADN, la presencia de sustancias extrañas adheridas (como los aductos de HAP) pueden hacer que la copia sea defectuosa, es decir que se produzca un cambio en la nueva molécula de ADN; dicho cambio se conoce con el nombre de mutación. Muchas mutaciones no tienen consecuencias para la célula y por tanto para el organismo. Sin embargo si la mutación se produce en algunos genes clave, que controlan el crecimiento celular, la célula puede entrar en un estado de crecimiento incontrolado, que a la larga puede ser el inicio de un cáncer.

Es importante también recordar que además de genotóxicos, algunos HAP o mezclas de HAP tienen la capacidad de hacer progresar con mayor rapidez mutaciones que han sido producidos por otras sustancias. En este caso se dice que los HAP son promotores de tumores, o co-cancerígenos.

5.3.2 Clasificación de la exposición a HAP como cancerígenos

Diversos organismos y agencias han establecido clasificaciones para determinar la carcinogenicidad de sustancias químicas. Actualmente la más aceptada es la clasificación de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, conocida por sus siglas en inglés IARC (*International Agency for Research on Cancer*). Es una agencia con sede en Lyon (Francia), dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La clasificación la IARC tiene cuatro grupos principales:

Grupo 1: sustancias o exposiciones que son cancerígenos para el ser humano.

Grupo 2A: sustancias o exposiciones que son *probables* cancerígenos para el ser humano. En general se clasifican en este grupo las sustancias que son claramente cancerígenas en experimentación animal pero para las que no hay suficiente información en los seres humanos.

Grupo 2B: sustancias que son *posibles* cancerígenos para el ser humano. En general se clasifican en este grupo sustancias para las que no hay suficiente información en los seres humanos, y para las que hay pruebas que indican que pueden producir cáncer en animales de experimentación, pero no se puede concluir que sean claramente cancerígenos animales.

Grupo 3: sustancias para las que no se dispone de suficiente información sobre su capacidad carcinogénica.

Grupo 4: sustancias que probablemente no son carcinogénicas para los seres humanos.

Cuando una sustancia se clasifica en el grupo 1 significa que no hay duda sobre su potencial para producir cáncer. Deben promoverse acciones de protección de la salud y se deben establecer medidas regulatorias para prevenir la exposición a la misma.

Las sustancias clasificadas en el grupo 2A deben ser objeto de atención, y el principio de precaución sugiere actuar prácticamente como si fueran del grupo 1. De hecho, las sustancias del grupo 2A son objeto prioritario de investigación que aporte nuevas pruebas. Como la clasificación se actualiza periódicamente, no es infrecuente que algunas sustancias del grupo 2A, una vez recopi-

lada más información sobre sus efectos, pasen al grupo 1 o bien se rebaje su clasificación al grupo 2B. Aunque es interesante conocer las sustancias del grupo 2B como potencialmente sospechosas, no se indican acciones específicas para las mismas.

Una característica importante de la clasificación de la IARC es que no sólo se aplica a sustancias químicas individualmente, sino a mezclas complejas de sustancias, así como a circunstancias que implican exposiciones que resulten cancerígenas, aunque no se conozca con detalle cuál es la sustancia responsable del efecto.

Clasificación de la IARC para los HAP

Respecto a los *HAP individuales* la última actualización de la IARC ha establecido la siguiente clasificación:

- Cancerígeno para los seres humanos (*grupo 1*): Benzo[a]pireno.
- Probablemente cancerígenos para los seres humanos (*grupo 2A*): Ciclopenta[c,d]pireno, Dibenzo[a,h]antraceno y Dibenzo[a]pireno.
- Posiblemente cancerígenos para los seres humanos (*grupo 2B*): Benzo[j]aceantrileno, Benzo[a]antraceno, Benzo[b]fluoranteno, Benzo[j]fluoranteno, Benzo[k]fluoranteno, Benzo[c]fenantreno, Criseno, Dibenzo[a,h]pireno, Dibenzo[a,i]pireno, Indeno[1,2,3-cd]pireno, 5-Metilcriseno

En la evaluación de la IARC se consideran como cancerígenos para el hombre (*grupo 1*) las siguientes *ocupaciones o exposiciones*:

- gasificación del carbón
- producción de coque
- destilación de la hulla
- deshollinadores
- operaciones de pavimentación o recubrimiento con breá
- producción de aluminio

Se consideran como probablemente cancerígenos para el hombre (2A):

- la manufactura de electrodos de carbón
- la creosota

5.2.3 Tipos de tumores causados por HAP y magnitud del efecto

Cáncer de pulmón

Sin duda el tumor que más frecuentemente se ha encontrado asociado a la exposición laboral a HAP es el cáncer de pulmón. No es sorprendente este hecho si se tiene en cuenta que la exposición a HAP es fundamentalmente por inhalación de aire contaminado, y por tanto el pulmón es el principal órgano donde se depositan los HAP inhalados. En la mayoría de ocupaciones y actividades industriales con posible exposición a HAP se ha observado un incremento de riesgo para este tumor. En concreto se ha informado de un mayor riesgo de cáncer de pulmón en las ocupaciones relacionadas con: gasificación del carbón, producción de coque, trabajos de pavimentación y recubrimiento con brea, trabajos en los que se emplea creosota, fundición de aluminio, fabricación de electrodos de carbono, y en los deshollinadores.

Cáncer de la vejiga urinaria

El siguiente tumor para el que hay evidencias sólidas de que pueda ser causado por exposición a HAP es el cáncer de la vejiga urinaria. En diversos estudios se ha encontrado asociación entre este tumor y la exposición a HAP en los siguientes trabajos: gasificación del carbón, trabajos con creosota, y fundición de aluminio. Desde el punto de vista fisiológico es plausible que los HAP puedan causar cáncer de las vías urinarias, puesto que en su mayor parte los

HAP se eliminan por la orina. Hay que recordar que una de las causas más importantes de este tumor es el hábito de fumar, y el humo del tabaco también es una fuente de HAP.

Cáncer de piel

El tercer tumor para el que se han encontrado evidencias de que pueda ser causado por exposición a los HAP es el cáncer de piel. Tampoco debe sorprender este hecho pues es conocido que la absorción dérmica es una de las posibles vías de entrada de los HAP. En concreto el cáncer de piel se ha encontrado sobre todo asociado a los trabajos de destilación de hulla, manipulación de creosota, y en los deshollinadores.

Otros tumores

Aunque en algunos estudios la exposición a HAP puede estar asociada a otros tumores, no puede aun aceptarse con certeza que éstos sean debidos a los HAP. Entre estos cánceres destacan el de estómago, colon, laringe, esófago, páncreas, y el de la médula ósea.

Cuantificación del riesgo

En el caso del cáncer de pulmón se ha intentado determinar la relación entre el riesgo y el nivel de exposición. En un análisis que combina datos de varios estudios se ha establecido como medida de exposición la concentración acumulada de benzo[a]pireno (BaP) a la que un trabajador ha estado expuesto durante su vida. La unidad de exposición usada en este análisis es $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -años; esta es una forma de exposición acumulada, que sería, por ejemplo, la que resultaría de estar expuestos a una concentración media en el trabajo de $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 40 años, o bien haber trabajado en una ocupación con una exposición media de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 20 años.



En promedio el riesgo de de cáncer de pulmón se incrementa en un 20% por cada 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -años de exposición a BaP en ocupaciones con exposición a HAP. Este incremento de riesgo varía según la ocupación en la que se produce la exposición; para un mismo nivel (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -años de exposición a BaP) el incremento de riesgo de desarrollar un cáncer de pulmón es del 17% para los trabajadores de la producción de coque y la fundición de aluminio, y del 15% para los trabajadores en la gasificación del carbón. Los trabajos de mayor riesgo fueron los relacionados con la aplicación de asfalto y los deshollinadores, en que el riesgo de desarrollar un cáncer de pulmón se multiplica por 16 para la misma cantidad acumulada de exposición.

Un estudio español analizó la mortalidad en los más de 1.500 trabajadores activos y retirados de la siderurgia integral “Altos Hornos de Vizcaya” fallecidos durante el período de 1986-1993. Comparada con la mortalidad de la población general, se encontró en estos trabajadores un exceso del 26% de muertes por cáncer en general, del 50% por cáncer de estómago, 56% por cáncer hepático, y 89% por cáncer del riñón. En cambio se encontró un exceso de sólo el 13% por tumores del pulmón y la vejiga urinaria.

6

**PREVENCIÓN
DE LA EXPOSICIÓN A HAP
EN EL MEDIO LABORAL**

6. PREVENCIÓN DE LA EXPOSICIÓN A HAP EN EL MEDIO LABORAL

Aunque los aspectos relacionados con el control, disminución, y en último término la prevención de la exposición a los HAP posee elementos específicos para cada una de las ocupaciones y actividades industriales, hay también aspectos generales que pueden aplicarse a cualquier situación de posible riesgo de exposición laboral.

En general estos elementos pueden agruparse en tres áreas: aspectos organizativos y tecnológicos, higiene industrial, y monitorización de la exposición. El control rutinario de la exposición de los trabajadores y del área de trabajo se considera en el próximo capítulo. Los elementos referentes a aspectos organizativos e higiene industrial se analizan brevemente a continuación, con especial atención a la industria metalúrgica.



6.1. Principales elementos de riesgo en la industria metalúrgica

Un aspecto a tener en cuenta en la exposición a HAP que se produce en la industria metalúrgica es que en la misma se puede dar, a la vez, exposición a muchas otras sustancias y compuestos nocivos. Así mismo, además de la exposición por la inhalación o absorción de compuestos químicos, se concentran en el medio laboral otros riesgos. La prevención de la exposición a los HAP no puede abordarse de forma aislada, sino que debe integrarse junto con todos los otros elementos y medios de prevención de los riesgos laborales.

En la industria metalúrgica existe riesgo de accidentes, intoxicación por CO, exposición al calor, alto nivel de ruido e inhalación de polvos y gases diversos, que se generan en muchos puntos del proceso de producción. En la industria siderúrgica se puede estar expuesto a partículas y vapores derivados del mineral de hierro o de metales ferrosos. Los trabajadores encargados de la colocación y reparación de los revestimientos refractarios de los hornos pueden estar expuestos a inhalación de polvo de sílice. En la producción de aluminio las exposiciones más frecuentes son al polvo de bauxita, sales de sodio, sulfuros, dióxido de carbono y compuestos fluorados. Los materiales utilizados para sellar juntas de las estructuras deben tener un alto poder aislante; aunque ya se utilizan sustitutos adecuados, es posible que en algunos casos dichos sellos y filtros contengan aún importantes cantidades de amianto.

En la industria siderúrgica el principal problema relacionado con los HAP se da en las operaciones de coquificación, por las emisiones de las retortas durante la carga del carbón, su transformación en coque, y el deshornado del coque. Estas emisiones contienen

cantidades importantes de numerosos HAP, así como benceno. En cuanto a las fundiciones de aluminio, las emisiones incluyen el polvo de coque y los productos derivados de su horneado para formar el ánodo cuando se hace mediante el proceso de Soderberg, formadas sobre todo de HAP.

6.2. Aspectos tecnológicos y medidas generales de seguridad

🔧 Aspectos tecnológicos

Las fábricas siderúrgicas y acererías se han transformado considerablemente. Ha habido importantes cambios que van de la manipulación de las materias primas a la preparación de la colada y su introducción en los altos hornos. La automatización y el control centralizado constituyen el centro de toda gran fábrica siderúrgica.

La industria del acero ha experimentado una revolución tecnológica que ha favorecido la creación de nuevas capacidades de producción mediante la instalación de hornos eléctricos de arco (EAF, *electric arc furnace*) alimentados con chatarra de acero reciclada en pequeñas acerías.

En la industria del aluminio, el uso de la tecnología de ánodos preformados reduce sensiblemente las emisiones. El control computerizado del proceso de electrolisis también es un medio de reducción de emisiones.

🔧 Medidas de salud y seguridad

- Organización de la seguridad: la organización de la seguridad es de gran importancia, ya que la seguridad depende en gran medida de la reacción de los trabajadores ante los posibles peligros.



- **Formación:** la formación debe comprender información sobre riesgos, métodos de trabajo más seguros, evitación de riesgos y utilización de equipos de protección personal.
- **Medidas técnicas administrativas:** todas las partes peligrosas de la maquinaria y los equipos, deberán estar bien protegidas. Es necesario organizar un sistema regular de inspección, comprobación y mantenimiento para todas las máquinas y equipos

6.3. Aspectos de higiene industrial

Ventilación

Es necesaria una buena ventilación general en toda la planta y ventilación por extracción localizada (VEL) en las zonas en que se generen cantidades importantes de polvo y gases. Para mantener la concentración de polvo a un nivel aceptable durante la producción de carbón, hay que confinar y encerrar los sistemas de clasificación, trituración y transporte. También puede ser necesario disponer de ventilación por extracción localizada además de aplicar agentes humectantes al carbón.

Siempre que haya que realizar un trabajo en un ambiente que pueda contener gases, se utilizarán detectores de monóxido de carbono para garantizar la seguridad. Cuando sea imprescindible trabajar en una zona peligrosa, se emplearán respiradores independientes o con alimentación de aire. A fin de mejorar el ambiente de trabajo, se instalará ventilación forzada que suministre aire fresco.

Equipos de protección personal

Es necesaria una estricta vigilancia y formación a fin de asegurar la correcta utilización y mantenimiento de los equipos de protección personal. La mejor protección para los trabajadores de los hornos es un traje de material termorresistente provisto de capucha y de un aparato de respiración con conducciones de oxígeno. En la ropa de protección deben tenerse en cuenta los riesgos para la salud.



Controles técnicos de las operaciones de producción de coque

En cuanto a las características especiales que presentan las operaciones de producción de coque, éstas requieren medidas específicas de salud y seguridad. Debido a los riesgos para la salud asociados con los numerosos HAP liberados durante la coquificación, es importante contener y recoger estas emisiones. La mejor forma de conseguirlo es combinar controles técnicos, prácticas laborales y un programa de mantenimiento. También es necesario disponer de un programa de respiradores efectivo.

Entre los controles deben incluirse los siguientes:

- diseñar un procedimiento de carga para eliminar las emisiones controlando el volumen de la carga de carbón;
- diseñar y emplear un sistema de aspiración para mantener suficiente flujo y presión negativa;
- mantener en el colector una presión uniforme adecuada para transportar las emisiones;
- minimizar el deshornado prematuro calentando el carbón uniformemente durante un período de tiempo adecuado;
- instalar grandes cerramientos que cubran toda la zona para controlar las emisiones durante el deshornado;
- inspección, mantenimiento y reparaciones de rutina para una adecuada contención de las emisiones;
- instalar cabinas de presión positiva y temperatura controlada para los operarios de los equipos móviles a fin de controlar los niveles de exposición de los trabajadores.

7

**MONITORIZACIÓN
DE LA EXPOSICIÓN
LABORAL A HAP**

7. MONITORIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL A HAP

Uno de los aspectos fundamentales para la prevención y el control de los efectos sobre la salud de los HAP es la medición de los niveles de HAP. Eso comporta la medición de concentraciones de HAP en el aire en el lugar de trabajo, así como la medición de los niveles de HAP en los propios trabajadores, lo que se conoce como control biológico o biomonitorización.

Es importante tener en cuenta que aunque estas mediciones pueden demostrar que alguien ha estado expuesto a los HAP y en qué cantidad aproximada, no son una medida directa que permita predecir si se presentarán efectos en la salud.

7.1. Medición de HAP en el ambiente laboral

La medición de la concentración de HAP en el aire es la forma más directa de evaluar la exposición en el lugar de trabajo. También puede medirse la concentración de HAP en los equipos de protección respiratoria o las máscaras.

La composición de las mezclas de HAP en diferentes ambientes de trabajo no siempre es la misma, sino que puede variar. Cuando se utiliza un único compuesto como indicador de todo el conjunto de HAP se debe tener en cuenta que la proporción del mismo en la mezcla puede cambiar en el tiempo y en el espacio. Sin embargo se observa que en las medidas comparativas de HAP en el ambiente, dentro de un mismo lugar de trabajo, la contribución relativa de cada hidrocarburo al perfil de la mezcla es relativamente constante. En cambio se observa también que la proporción de cada hidrocarburo al perfil de la mezcla de HAP es diferente al

cambiar de lugar de trabajo. El compuesto individual que se usa más frecuentemente como marcador es el benzo[a]pireno (BaP).

El método de medición habitualmente utilizado es el denominado “captación en filtro y tubo adsorbente y detección fluorimétrica para la medicétrica y cromatografía líquida de alta resolución” (HPLC-F). Es el procedimiento aceptado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) para la medición de HAP en el ambiente laboral.

Dicho método ha sido sometido a un protocolo de validación por organizaciones oficiales competentes en el área de la normalización de métodos analíticos, o bien ha sido adoptado como método recomendado por asociaciones profesionales dedicadas al estudio y evaluación de riesgos por agentes químicos.

El método descrito permite la determinación simultánea de los siguientes HAP: naftaleno, 1-metilnaftaleno, 2-metilnaftaleno, ace-nafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno.

Los HAP presentes en el aire tanto en forma de vapor como de aerosol se recogen en filtros y tubos adsorbentes utilizando una bomba de muestreo personal. Los filtros y tubos adsorbentes se someten a un proceso de extracción para la preparación de las muestras. Los diferentes HAP extraídos se determinan mediante cromatografía líquida de fase reversa con detección fluorimétrica, con un programa adecuado de longitudes de onda de excitación y emisión para cada compuesto o grupo de compuestos y un programa de gradiente de concentración del eluyente.

7.2. Control biológico o biomonitorización de los HAP

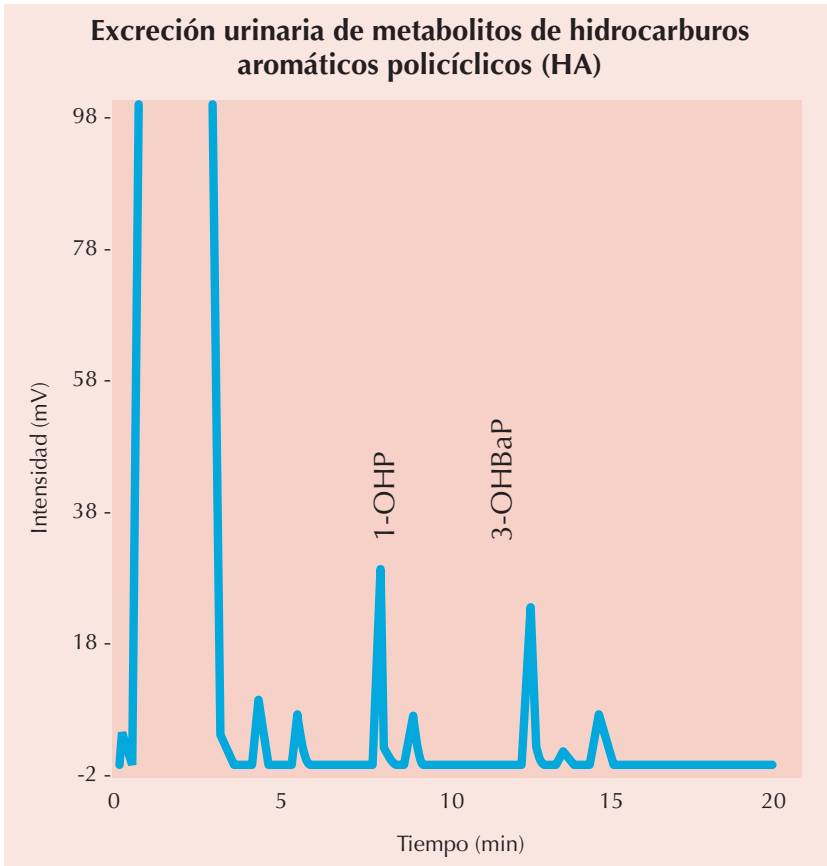
Aunque la inhalación de los HAP del aire es la forma más frecuente de exposición a HAP, muchos de ellos pueden absorberse a partir de la piel, por tanto no es suficiente la protección respiratoria. Por otra parte, la concentración en el ambiente da idea del nivel global de exposición, pero el grado de absorción de HAP de cada trabajador puede variar de un individuo a otro dependiendo de su proximidad a la fuente de emisión, del tiempo real pasado en un área determinada, y de las características fisiológicas de la persona. Así pues, la determinación de concentraciones en el aire o máscaras no es suficiente y se requiere la monitorización biológica.

El control biológico es un medio para determinar la exposición del individuo a los productos que contienen HAP y que penetran en su organismo por cualquier vía, sea oral, dérmica o respiratoria. Consiste en una evaluación de la exposición total a dichos hidrocarburos a través de la medida de los propios HAP, o de alguno o varios de sus productos derivados recogidos en algún medio biológico del propio individuo.

La medición de HAP o sus derivados en el organismo incluye la posible determinación de los derivados de HAP adheridos a las proteínas de la sangre, así como del DNA (aductos). Sin embargo ésta es una práctica invasiva, que supone en general la extracción de muestras de sangre, y las técnicas de detección son en general costosas. Lo más frecuente es utilizar muestras biológicas que no requieran técnicas invasivas; por tanto la forma más frecuente de biomonitorización de los HAP es la medición de los propios HAP a algunos de sus derivados (metabolitos) en orina.

Aunque la exposición a HAP es casi siempre a una mezcla compleja de varios compuestos sería difícil y costoso medir las concentraciones de cada uno de los compuestos individuales. El pireno, es un HAP no cancerígeno que se encuentra generalmente siempre presente y es relativamente abundante en las mezclas de HAP. Uno de sus metabolitos principales es el 1-hidroxipireno, metabolito específico del pireno, que se elimina principalmente a través de la orina.

Figura 11



Cromatograma correspondiente a una muestra de orina que contiene 20 ng/L de 1-OHP (1-hidroxipireno) y 3-OHBP (3-hidroxibenzopireno)

Medición de la concentración de de 1-hidroxipireno en orina

El 1-hidroxipireno, conocido como 1-OH-pireno o simplemente 1-OHP, ha sido ampliamente utilizado como biomarcador único de exposición a HAP. Debido a su presencia generalizada en las mezclas de HAP no solo se puede contemplar como un indicador de la entrada del pireno en el organismo sino también puede considerarse un indicador indirecto para todos los HAP.

El método de medición aceptado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) es la “hidrólisis enzimática y detección fluorimétrica y cromatografía líquida de alta resolución” (HPLC). Una alícuota de 10 ml de la muestra de orina se hidroliza enzimáticamente a 37°C y pH=5, y se ajusta con acético acetato 0,2 M. Tras un proceso de extracción sólido-líquido y de evaporación del disolvente, el residuo se reconstituye en acetoni-trilo. El 1-OHP se determina mediante cromatografía líquida de fase reversa con detección fluorimétrica utilizando un programa de gradiente de concentración adecuado. El límite de detección de la técnica es de 0,1-0,2 µg/L (microgramos de 1-OHP por litro).

En la evaluación de la exposición ocupacional se recoge una muestra de orina al inicio de jornada y otra al finalizar la jornada laboral. La vida media del 1-OHP es de aproximadamente 18h; por tanto su concentración en orina refleja la exposición a HAP los días previos a toma de la muestra de orina. Lo ideal para la bio-monitorización de trabajadores expuestos es recoger una muestra antes del inicio de la jornada del lunes y al final de la jornada del viernes (o del primer y último día laborables de la semana).

La concentración puede expresarse como cantidad de 1-OHP por volumen de orina (µg/L). Sin embargo esta medida puede estar influida por la densidad de la orina; es decir, una misma cantidad

de 1-OHP (correspondiente a la misma exposición a HAP) puede resultar en una concentración menor si el volumen total de orina es elevado y por lo tanto ésta es muy diluida, y viceversa. Puesto que la creatinina es una sustancia que se excreta siempre por la orina y de forma conocida, frecuentemente se da la concentración de las sustancias en orina como la cantidad del elemento en cuestión por gramo de creatinina, es decir μg 1-OHP/g creatinina (o simplemente $\mu\text{g/g}$).

También es frecuente que las concentraciones de sustancias químicas no utilicen las unidades habituales de masa (gramos o sus submúltiplos, como mg, μg , ng) sino una unidad habitual en química conocida como mol. Un mol es la masa en gramos de la sustancia correspondiente a su peso molecular. Es importante especificar en cada momento las unidades que se utilizan; en todo caso se puede utilizar el siguiente factor de conversión para establecer la equivalencia entre concentraciones expresadas en diferentes unidades: $1 \mu\text{mol}$ 1-OHP / mol creatinina = 1,93 μg 1-OHP/g creatinina.

Niveles indicativos de 1-OHP en orina

A partir de diversos estudios se han dado valores indicativos de las concentraciones urinarias de 1-OHP. Las personas no expuestas ocupacionalmente que no fuman, tienen un nivel de base o referencia, debido a la exposición ambiental (contaminación atmosférica y doméstica) y la ingesta de los HAP contenidos en los alimentos. Este nivel se incrementa substancialmente en los fumadores.

Diversos sectores industriales, con diferentes grados de exposición a HAP, pueden ocasionar diferentes grados de excreción. En la tabla 7.2.a se dan valores de referencia aproximados para diversas situaciones de exposición.

Por otra parte, en España se dispone de datos de monitorización de la excreción de 1-OHP en trabajadores de hornos de coque y de la destilación de alquitrán y brea. Los datos de exposición de estos trabajadores se muestran en la tabla 7.2.b.

Tabla 7.2.a.

Diversas circunstancias de exposición y concentraciones de referencia aproximadas de 1-hidroxipireno en orina (μmol 1-OHP/mol creatinina).	
Circunstancia de exposición	1-OHP ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)
Sin exposición ocupacional, no fumadores	0,12 (<0.20)
Sin exposición ocupacional, fumadores	0,25 (<0.50)
Exposición ocupacional baja o moderada	0,20-1
Exposición ocupacional alta ^a	1-20
Excreción correspondiente a 0,2 mg/m ³ HAP ^b	4,6

a Por ejemplo hornos de producción de coque, fabricación de electrodos de carbono, destilación de alquitrán, fundición de aluminio, producción y manipulación de creosota.

b Esta concentración en el aire, medida como CTPVs, es la fijada como límite de exposición a HAP por muchas agencias y organismos (ver sección 3.2.6).

Tabla 7.2.b.

Excreción urinaria de 1-hidroxipireno (1-OHP) en trabajadores expuestos en diversos puntos de hornos de producción de coque y destilación de hulla y brea. Los valores de la tabla corresponden concentración de 1-OHP por excreción de creatinina.		
Circunstancia de exposición	μmol/mol	μg/g
Trabajo en hornos de coque		
panel de control	17,8	34,3
máquina guía	7,9	15,2
máquina guía	14,8	28,5
máquina de carga	16,7	32,2
deshornadora	16,1	31,0
Producción de alquitrán y brea		
destilación de alquitrán	1,0	1,9
destilación de alquitrán	1,8	3,5
laboratorio de destilado	1,9	3,7
laboratorio de destilado	6,1	11,8

7.3. Monitorización de la exposición laboral a HAP

Recientemente se ha llevado a cabo una evaluación de la exposición ocupacional en el Reino Unido. Para ello se midió la concentración de HAP en el aire y en muestras de orina de los trabajadores de HAP en 25 industrias en las que se sabe que se produce exposición a HAP.

En total se midieron las concentraciones de 17 HAP en 219 detectores personales. La determinación se hizo mediante cromatografía de gases. Se recogieron también 218 muestras de orina de trabajadores al final de la jornada y de 213 al inicio de la jornada de trabajo. En ellas se midió la concentración de 1-hidroxipireno (1-OHP) mediante cromatografía líquida de alta resolución.

En la tabla **7.3.a.** se muestran los 19 HAP predominantes en las industrias monitorizadas. Se realizaron mediciones de 17 de estos HAP. Todas las emisiones de HAP en las diversas industrias suponen la exposición a mezclas complejas de HAP; la asociación de cada HAP de la tabla con cierto tipo de actividad solo indica que esas industrias son la fuente más frecuente de ese compuesto. La lista incluye los HAP considerados como cancerígenos o tóxicos por las principales agencias y organismos de evaluación de riesgos sobre la salud de sustancias químicas.



Tabla 7.3.a.

Principales HAP incluidos en el estudio y tipo de industria donde más frecuentemente se producen	
HAP	Actividad industrial
Naftaleno ^a	Horno de coque, alta temperatura
Acenaftaleno ^a	Horno de coque, baja temperatura
Acenafteno ^a	Destilación de alquitrán, alta temperatura
Fluoreno ^a	Destilación de alquitrán, baja temperatura
Fenantreno ^a	Fundición de aluminio
Antraceno ^a	Impregnado de cerámica
Fluoranteno ^a	Recubrimiento de tuberías
Pireno ^a	Central térmica de carbón
Benzo(a)antraceno ^{a,b,c}	Embreado de madera
Cryseno ^{a,b}	Fabricación de electrodos de carbono
Benzo(b)fluoranteno ^{a,b,c}	Refinado de aceites
Benzo(k)fluoranteno ^{a,b,c}	Destilación de alquitrán del petróleo
Benzo(j)fluoranteno ^{*, a}	Coquificación de brea o betún del petróleo
Benzo(a)pireno ^{a,b,c}	Refinado del betún
Indeno(1,2,3-c,d)pireno ^{a,b,c}	Utilización de asfaltado en general
Benzo(g,h,i)perileno ^{a, b}	Asfaltado y reparación de carreteras
Dibenzo(a,h)antraceno ^{a,b,c}	Construcción de carreteras
Antantreno ^b	Manufactura, producción de negro de carbón
Cyclopenta(c,d)pireno [*]	Fabricación de neumáticos, goma y caucho, fundiciones de hierro, ahumado de pescado

* No medido en la evaluación.

^a 16 HAP incluidos en la evaluación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, *Environmental Protection Agency*).

^b 9 HAP considerados como potencialmente cancerígenos por la Oficina Ejecutiva de Salud y Seguridad del Reino Unido (HSE, *Health and Safety Executive*).

^c Clasificados por la IARC en los grupos 1, 2A o 2B (ver sección 5.3.2).



En la tabla **7.3.b** se recogen los principales resultados de la evaluación. Se dan las concentraciones en el aire de los 17 HAP medidos conjuntamente, los 9 HAP seleccionados por el HSE, y deforma individual para el Benzo[a]pireno (BaP). También se da la excreción urinaria de 1-hidroxipireno (1-OHP).



Tabla 7.3.b.

Concentración media de HAP en el aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio durante 8 horas) y de 1-OHP en orina (μmol 1-OHP/mol creatinina), según tipo de industria				
Industria	HAP totales	9 HAP (HSE)	BaP	1-OHP
Horno de coque:				
- alta temperatura	70,7	5,69	0,79	2,10
- baja temperatura	49,9	6,87	1,13	2,63
Destilación alquitrán:				
- alta temperatura)	278,8	0,73	0,06	2,60
- baja temperatura	12,2	0,01	0,01	0,36
Fundición de aluminio	60,9	0,31	0,03	0,72
Tintado de cerámica	24,7	5,44	0,82	11,3
Recubrimiento de tuberías	263,6	3,78	0,32	10,6
Central térmica de carbón	1,37	0,20	0,02	0,25
Embreado de madera	835,1	0,05	0,01	16,0
Fabricación de electrodos de carbón	12,8	1,72	0,24	0,25
Refinado de aceites	5,24	0,01	0,01	0,25
Destilación de alquitrán de petróleo	68,9	0,13	0,02	0,88
Producción de coque del petróleo	5,83	2,58	0,374	0,48
Refinado del betún	2,38	0,02	0,01	0,25
Aplicación de asfalto	1,51	0,34	0,02	0,25
Asfaltado de carreteras	3,21	0,01	0,01	0,25
Construcción de carreteras	9,56	0,38	0,01	0,25
Manufactura de negro de carbón	10,7	0,52	0,05	0,63
Industria de neumáticos, goma y caucho	3,22	0,06	0,01	0,32
Fundición de hierro	65,8	0,211	0,02	0,29



En promedio, los niveles en el ambiente laboral de los 9 HAP potencialmente carcinogénicos varían en un rango aproximado de 0,01 a 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una mediana de 0,12. La suma de los 17 compuestos tiene un rango muy amplio, de 1,4 a más de 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y está dominada sobre todo por el naftaleno, Las mayores concentraciones de HAP se registraron en los equipos de protección respiratoria de los trabajadores de hornos de coque.

La medición individual del BaP presenta una buena correlación con las concentraciones tanto de los 9 HAP seleccionados como con el total de los 17 HAP, siendo por tanto un buen marcador de la exposición global a HAP. Sus niveles oscilan entre 0,01 y 6,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Globalmente, el 95% de los valores se situó por debajo de los 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos como límite por diversos organismos reguladores.

El nivel de excreción urinaria de 1-OHP presentó también una buena correlación con las concentraciones en el ambiente; las concentraciones varían de menos de 0.5 hasta un máximo de 60 $\mu\text{mol}/\text{mol}$, con una media de 2,5 μmol 1-OHP/mol de creatinina.

8

BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

Air Quality Guidelines. Chapter 5.9 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000.

Aluminum Manufacturing. World Bank Group Environmental, Health, and Safety Guidelines. World Bank Group, April 2007.

Armstrong B, Hutchinson E, Unwin J, Fletcher T. Lung cancer risk after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review and meta-analysis. *Environmental Health Perspective*, 2004 Vol. 112: 970-978.

IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 92. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. International Agency for Research on Cancer 2010. Lyon (France).

Ibáñez R, Agudo A, Berenguer A, et al. Dietary intake of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Spanish population. *Journal of Food Protection* 2005, Vol. 68: 2190–2195.

Mastandrea C, Chichizola C, Ludueña B, Sánchez H, Álvarez H, Gutiérrez A. Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores

Biológicos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 2005, Vol. 39: 27-36.

Moffit A. Cap. 73. Hierro y acero. En: *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Stellman JM, McCann M, Warshaw L. Brabant, eds. Organización Internacional del Trabajo, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998.

Unwin J, Cocker J, Scobbie E, Chambers H. An assessment of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in the UK. *Annals of Occupational Hygiene* 2006, Vol. 50: 395-403.

Urbaneja F, Aurrekoetxea JJ, Echenagusía V. Mortalidad en trabajadores de la siderurgia del País Vasco. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales* 1998, Vol 4: 161-167.

Urbaneja MT, Montes N, Egiarte I. Exposición laboral a hidrocarburos aromáticos policíclicos en procesos de fabricación de coque y destilación de hulla. Determinación cuantitativa de sus metabolitos hidroxilados en orina.

XII Congreso Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Valencia, noviembre de 2001.

Vives I, Grimalt JO, Guitart R. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos y la salud humana. *Apuntes de Ciencia y Tecnología*. Nº 3, septiembre 2001. p. 45-51.



DIRECCIONES DE



MCA
F. de Industria



DIRECCIONES DE

FEDERACIÓN	DIRECCIÓN	TELÉFONO
ANDALUCÍA	Antonio Salado 10-12 - 41002 Sevilla	954 50 63 93
S. P. Almería	Javier Sanz, 14 - 4º - 04004 Almería	950 27 12 98
S. I. Cádiz	Avda. Andalucía 6 - 3º - 11008 Cádiz	956 25 08 08
S. C. Cam. Gibraltar	Avda. Fuerzas Armadas 2 - 11202 Algeciras	956 63 12 51
S. P. Córdoba	Marbella s/n - 14013 Córdoba	957 29 91 42
S. P. Granada	Avda. de la Constitución 21 - 18014 Granada	958 20 94 99
S. P. Huelva	Puerto 28 - 21001 Huelva	959 25 04 19
S.P. Jaén	Pº de la Estación 30 - 23008 Jaén	953 27 55 05
S. P. Málaga	Alemania 19, 1º Pl. - 29001 Málaga	952 22 97 62
S. P. Sevilla	Blas Infante 4-2º - 41011 Sevilla	954 28 13 61
ARAGÓN	Costa, 1-2º - 50001 Zaragoza	976 70 01 08
S. C. Andorra	Jose Iranzo s/n - 44500 - Andorra	978 84 36 86
S. C. Alcañiz	Avda. Aragon 7, Pasaje. - 44600 Alcañiz (Teruel)	978 83 10 50
S. C. Barbastro	Beato M. Escrivá 2 - 22300 Barbastro (Huesca)	974 31 24 35
S. C. Calamocha	Avda. Sagunto-Burgos s/n - 44200 Calamocha (Teruel)	978 73 00 37
S. C. Calatayud	Padre Claret 5 - 50300 Calatayud (Zaragoza)	976 88 11 70
S. C. Caspe	Plaza Aragón 1, 2ª - 50700 Caspe (Zaragoza)	976 63 20 40
S. C. Ejea de los Caballeros	Pasaje Aragón s/n - 50600 Ejea de los Caballeros (Zaragoza)	976 66 20 99
S. C. Huesca	Avda. del Parque 9 - 22002 Huesca	974 22 99 96
S. C. Monzón	Galicia s/n - 22400 Monzón (Huesca)	974 41 57 44
S. C. Sabiñánigo	General Villacampa 14 - 22600 Sabiñánigo (Huesca)	974 48 20 93
S. C. Tarazona	Cortes de Aragón, 14 - 1ª - 50500 Tarazona (Zaragoza)	976 64 09 27
S. C. Teruel	Plaza de la Catedral 9 - 4º - 44001 Teruel	978 60 85 84
S. C. Utrillas	San Vicente de Paúl s/n - 44760 Utrillas (Teruel)	978 75 79 08

ASTURIAS	Plza General Ordóñez 1, 6º - 33005 Oviedo	985 25 31 98
S. C. de Avilés	Pza. Vaticano s/n Bajo - 33401 Avilés (Asturias)	985 56 88 01
S. C. del Caudal	Pza. del Mercado s/n - 33600 Mieres (Asturias)	985 46 79 52
S. C. de Gijón	Mariano Moré 22 Entresuelo - 33206 Gijón	985 35 24 19
S. C. de Nalón	Pza. la Salve s/nº - 33900 - Sama de Langreo (Asturias)	985 67 60 95
S. C de Occidente	Maestro Maseda, 5 Bajo - 33710 Navia (Asturias)	985 63 14 35
S. C. Oviedo-Siero	Pza. General Ordóñez 1, 3º - 33005 Oviedo Sta. Isabel, 20-Bajo - 33420 Lugones-Siero (Asturias)	985 25 38 22 985 26 40 94
S. C. de Oriente	José Glez. Soto, 2 - 1º - 33550 Cangas de Onis (Asturias)	985 84 84 93
BALEARES	Av.Gaspar Bennasar 69,1º- 07004 P. Mallorca	971 76 19 14
S. I. Menorca	Plaza Augusto Miranda s/n - 07701 Mahón	971.36 72 05
CANTABRIA	Rualasal, 8, 4º - 39001 Santander	942 22 79 28
S. C. Besaya	La Pontanilla, s/n - 39400 Los Corrales de Buelna (Cantabria)	942 83 03 62
S. C. Campoo	Avda. Castilla, s/n -39200 Reinosa (Cantabria)	942 75 28 11
S. C. Central	Avda. Bilbao, 54 - 39600 Muriedas (Cantabria)	942 26 12 25
S. C. Oriental	Pza. Constitución, 10, 1º - 39770 Laredo (Cantabria)	942 60 76 93
CASTILLA-LA MANCHA	Cuesta Carlos V, 1, 2º - 45001 Toledo	925 28 30 19
S. P. Albacete	Mayor, 58, 2º- 02002 Albacete	967 52 22 07
S. C. Alcázar S. J.	Socuéllamos, 14-3 - 13700 –Tomelloso (Ciudad Real)	926 51 40 98
S. C. Almansa	Pza. Rey Don Jaime, 7 – Apto. 228 - 02640 Almansa (Albacete)	967 34 29 54
S. P. Ciudad Real	Alarcos, 24-7º - 13002 Ciudad Real	926 21 47 47
S. P. Cuenca	Hermanos Valdés, 5, 1º - 16002 Cuenca	969 23 19 08
S. P. Guadalajara	Pza Pablo Iglesias, 2, 2º - 19001 Guadalajara	949 21 38 07
S. C. Manzanares	Molinos de Viento, 1 -13200 Manzanares (Ciudad Real)	926 61 39 62
S. C. Puertollano	Juan Bravo, 6 - 2º - 13500 - Puertollano (Ciudad Real)	926 42 67 58
S. P. Toledo	Cuesta Carlos V, 1 - 1º - 45001 Toledo	925 25 15 65
CASTILLA Y LEÓN	Gamazo 13, 2º - 47004 Valladolid	983 32 90 08
S. P. Ávila	Isaac Peral, 18 - 05001 Ávila	920 25 26 42
S. P. Burgos	San Pablo, 8 - 2º - 09002 Burgos	947 25 22 67

S. P. León	Gran Vía San Marcos, 31 - 24001 León	987 27 06 86
S. C. Medina del C.	San Martín, 3 - 47400 Medina del Campo (Valladolid)	983 81 13 96
S. P. Palencia	Mayor Antigua, 69 - 34005 Palencia	979 70 24 03
S. P. Salamanca	Gran Vía, 79-81 - 37001 Salamanca	923 28 04 60
S. P. Segovia	Avda. Fernández Ladreda, 33 - 40002 Segovia	921 43 64 00
S. P. Soria	Vicente Tutor, 6 - 42001 Soria	975 22 33 95
S.P. Valladolid	Gamazo, 13, 2º - 47004 Valladolid	983 32 90 08
S. P. Zamora	Lope de Vega, 6 - 49013 Zamora	980 51 90 92
S.C. Bierzo	Av. Valdés, 36 - 1º - 24400 Ponferrada (León)	987 42 56 21
CATALUNYA	Plaza Vázquez Montalbán, 6 2ª planta (Esquina Rambla del Raval, 19-35) - 08001 Barcelona	93 301 83 62
S. I. Anoia-Alt Penedés Garraf	Rambla Sant Joseph, 5 - 08800 Vilanova i La Geltrú (Barcelona)	93 814 14 40
S. I. Bages-Berguedá	Pº. Pere III, 60-62 - 08240 - Manresa (Barcelona)	93 874 44 11
S. T. Vallés Oriental- Maresme	Esteve Terrades, 30-32 - 08400 Granollers (Barcelona)	93 879 31 06
S. C. Baix Llobregat	Revolt Negre, 12 - 08940 Cornellá de Llobregat (Barcelona)	93 261 91 35
S. C. del Barcelonés	Rambla Sta. Mónica, 10-1º - 08002 Barcelona	93 301 57 97
S. I. Girona	Miquel Blai, 1-4º - 17001 Girona	97 221 33 44
S. C. L'Hospitalet	Rambla Marina, 429-431 - 08901 L'Hospitalet (Barcelona)	93 338 92 53
S. C. Osona	Vendrell, 33 Bj.- 08560 Manlleu (Barcelona)	93 851 31 30
S. I. Tarragona	Ixart, 11-4º - 43003 Tarragona	97 723 41 93
S. I. Terres D'Ebre	Ciudadella, 13-1º - 43500 Tortosa (Tarragona)	97 744 44 56
S. I. Terres de Lleida	Avgda. Catalunya, 2 - 25002 Lleida	97 328 17 23
S. C. Valles Occidental	Rambla, 73 - 08202 Sabadell (Barcelona)	93 725 75 75
EUSKADI	Colón de Larreategui, 46, Bis - 48011 Bilbao	944 25 56 00
S. I. de Ayala-Vitoria	San Antonio, 45, Bajo - 01005 Vitoria	945 15 04 38
S. I. San Sebastián-Bidasoa	Catalina de Erauso, 7 - 20010 S. Sebastián (Guipúzcoa)	943 46 98 00
S. C. Alto Deba-Alto Gohierri	Garibai, 6 bis - 20500 Arrasate-Mondragón (Guipúzcoa)	943 79 03 74
S. C. Bajo Deba y Costa Urola	Isasi, 2-1º - 20600 Eibar (Guipúzcoa)	943 82 07 82
S. C. Basauri	Urbi, 7 Entrepantia - 48970 Basauri (Vizcaya)	944 49 32 98



S. C. Bilbao-Margen Izquierda	Jado, 5-1º Dcha. - 48950 Erandio (Vizcaya)	944 67 69 88
S. C. Durangésado	Avda. Montevideo, 30 Bajo - 48200 Durango (Vizcaya)	946 81 90 26
S. C. Margen Izquierda	Avda. Juntas Generales, 4-2º - 48901 Barakaldo (Vizcaya)	944 18 94 00
EXTREMADURA	Marquesa de Pinares, 36 - 06800 Mérida	924 30 09 08
S. C. de Cáceres	Obispo Segura Sáez, 8 - 10001 Cáceres	927 21 38 14
S. C. Campo Arañuelo-La Vera	Pablo Luego, s/n - 10300 Navalmoral de la Mata (Cáceres)	927 53 19 48
S. C. Mérida - Tierra de Barros	Marquesa de Pinares, 36 - 06800 Mérida (Badajoz)	924 30 09 08
S. C. Vegas Altas – Siberia	Hernán Cortés, 217 - 06700 Villanueva de la Serena (Badajoz)	924 80 00 75
S. I. Norte Extremeño	Tr. General Mora, 5 - 10840 Moraleja (Cáceres)	927 14 74 78
S. C. Sur Extremeño	Avda Díaz Ambrona, 24 - 1ºB- 06300 Zafra (Badajoz)	924 55 52 90
S. C. De Badajoz	Cardenal Carvajal, 2 - 06001 - Badajoz	924 22 22 47
GALICIA	Miguel Ferro Caaveiro, nº 12 - 2º - 15707 Santiago Compostela	981 58 97 43
S. I. de Compostela	Miguel Ferro Caaveiro, 12 - 3ª - 15707 Santiago Compostela	981 57 54 17
S. I de Coruña	Avda. Fernández Latorre, 27-2º - 15006 A Coruña	981 23 72 64
S. C. Costa Lucense	Apto. Correos, 88 - 27890 San Ciprián (Lugo)	982 55 55 00
S. C. Ferrol	Carmen, 43-45, 2º - 15402 Ferrol (A Coruña)	981 35 12 37
S. I. de Lugo	Ronda da Muralla, 58-1º - 27003 Lugo	982 22 02 79
S. I. de Ourense	Parque San Lázaro, 14-1º - 32003 Ourense	988 24 20 98
S. I de Pontevedra	Pasantería, 1 - 1 - 36001 Pontevedra	986 84 49 57
S. C. de Vigo	Enrique Heraclio Botana, 2-4º - 36201 Vigo (Pontevedra)	986 22 75 48
LA RIOJA	Milicia, 1-Bis - 26003 Logroño (La Rioja)	941 24 00 22
LAS PALMAS	Avda. 1º de Mayo, 21 - 35002 Las Palmas Gran Canaria	928 36 99 28
TENERIFE	Méndez Núñez, 84-4º 38001 Sta. Cruz Tenerife	922 28 89 55
MADRID	Avda. América 25, 4ª - 28002 Madrid	91 589 73 50
Comarca Este	Divino Vallés, 2, 1º - 28805 Alcalá de Henares Avda- de la Constitución, 135 - 28850 - Torrejón de Ardoz	91 881 89 76 91 676 62 22
Comarca Norte	Avda. Valdelaparra, 108 - 28100 Alcobendas	91 662 08 75
Comarca Oeste	Clara Campoamor, 2 - 28400 Villalba	91 850 13 01
Comarca Sur	Avda. de los Ángeles, 20 - 28903 Getafe La Concha, 2 - 28300 - Aranjuez	91 696 05 11 91 892 10 82

Comarca Sureste	Silos, 27 – 28500 Arganda	91 871 34 50
Comarca Suroeste	Huesca, 2 - 28944 - Fuenlabrada	91 697 54 27
MELILLA	Pza. 1º de Mayo, s/n - Ap. 358 - 52002 Melilla	952 67 26 02
MURCIA	Santa Teresa, 10-5º - 30005 Murcia	968 28 12 30
S. C. del Altiplano	Epifanio Ibáñez, 9-Entres.- 30510 Yecla (Murcia)	968 75 15 97
S. C. de Cartagena	Pza. España, 12 - 4º- 30201 Cartagena (Murcia)	968 52 96 52
S. C. Río Mula	Avda. Constitución s/n. 30191 Campos del Río (Murcia)	968 65 27 57
S. C. del Valle del Guadalentín	Corredera, 36 - 30800 Lorca (Murcia)	968 46 98 70
S. C. Vega del Segura	Pérez Cervera, 3 - 30530 Cieza (Murcia)	968 76 13 63
NAVARRA	Avda. Zaragoza, 12-1º - 31003 Navarra	948 29 06 24
S. C. Tudela	Cuesta de la Estación, 3 - 31500 Tudela (Navarra)	948 82 18 01
PAÍS VALENCIANO	Arquitecto Mora, 7-4º - 46010 Valencia	963 88 41 10
S. C. Bajo Vinalopo- Vega Baja	Pza. Constitución, 3 - 03203 Elche (Alicante)	965 42 38 12
S. C. Horta Nord-Camp Turia, Camp Morvedre	Ausías March, 12 - 46133 Meliana (Valencia)	961 49 32 05
S. C. L'Alicanti	Pablo Iglesias, 23, 5º - 03004 Alicante	965 14 87 34
S. C. La Marina	Avda. L'Aigüera, 1 (ed. Central Park) - 03500 Benidorm	965 86 20 11
V. Vinalopó	Glorieta, 22 - 03660 Novelda (Alicante)	965 60 04 78
S. C. Valencia Sur e Interior	Virgen del Olivar, 10 - 46900 Torrent (Valencia)	961 56 41 45
S. C. Millars-Plana Baixa-Palancia	Avda. País Valencià, 18 - Enlo. - 12200 Onda (Castellón)	964 60 14 58
S. C. Plana Alta-Maestrat-Els Ports	Pza. las Aulas, 5-5º - 12001 Castellón	964 23 98 82
S. C. Ribera Alta Costera-Canals	Curtidors, 27 - 46600 Alcira (Valencia)	962 41 27 51
S. C. Ribera Baja-Safor-Valls, D'Albaida	La Vall, 48 - 46400 Cullera (Valencia)	96 172 33 10
S. C., Horta Valencia	Arquitecto Mora, 7-4º - 46010 Valencia	96 388 41 10

Metal, Construcción y Afines de UGT, Federación UV: _Uf de R

Avda. América, 25 - 5ª y 6ª plantas 28002 - Madrid

Telf.: 91 589 75 11 - Fax: 91 589 75 24 - E-mail: cef@mca.ugt.org - www.ugt.es/mca

SOLICITUD DE AFILIACIÓN



Deseo afiliarme a Metal, Construcción y Afines, Federación de Industria, de la Unión General de Trabajadores

DATOS PERSONALES

Nombre NIF

Calle/Plaza CP

Localidad Provincia Tel.

DATOS LABORALES

Situación Laboral Oficio o/y Ocupación

Empresa Actividad de la empresa

Centro de Trabajo

Calle/Plaza CP

Localidad Provincia

DATOS BANCARIOS

Titular de la Cuenta

Código de la Cuenta

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Autorizo a que hasta nuevo aviso atiendan la presente orden de domiciliación bancaria de la cuota sindical de MCA-UGT.

Fecha y Firma:

Entrega esta hoja al responsable de MCA-UGT en tu empresa, o si no, remítela a la sede de MCA-UGT más cercana o, directamente, a: MCA-UGT Avda. de América nº 25-5ª, 28002 Madrid./Fax: (91) 589 75 24

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)

Acercamiento a su problemática como riesgo laboral

Con la financiación de: DI-0016/2009



FUNDACIÓN
PARA LA
PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES



MCA
F. de Industria