

Revisiones

Contaminación de los equipos de trabajo y riesgo de cáncer de próstata y testículo, en bomberos

Personal protective equipment's contamination and risk of prostate and testes cancer, in firefighters

Fernández-Rodríguez M.¹, González-González M.P.¹, Alonso-Martín M.T.², Carrizo L.R.², Rosa Ana Cortés Barragán³

1. Unidad Docente de Medicina de Trabajo de Asturias. España.
2. Unidad Docente de Medicina del Trabajo de la Comunidad de Madrid. Área 11. Madrid. España.
3. Escuela Nacional de Medicina del Trabajo, Instituto de Salud Carlos III, Madrid.

Recibido: 21-07-16

Aceptado: 15-08-16

Correspondencia:

Fernández-Rodríguez M

Correo electrónico: demafero@yahoo.es

Este trabajo se ha desarrollado dentro del Programa Científico de la Escuela Nacional de Medicina del Trabajo del Instituto de Salud Carlos III en convenio con las Unidades Docentes de Medicina del Trabajo de Asturias y de la Comunidad de Madrid.

Resumen

Antecedentes: Los bomberos, en el ejercicio de su actividad laboral, están expuestos en forma aguda y crónica a sustancias peligrosas que conllevan un riesgo para la salud; dichas sustancias (varias de ellas clasificadas como cancerígenas) están presentes en el escenario de extinción del fuego y fuera de éste. Los equipos de protección personal han ido evolucionado con el fin de minimizar los daños. En este artículo revisamos la evidencia existente en cuanto a contaminación a través de equipos de trabajo y si la profesión de bombero supone un riesgo para el desarrollo de cáncer de testículo y próstata.

Objetivos: Conocer la implicación de los equipos de trabajo como fuente adicional de contaminación en bomberos. Ver la asociación de esta profesión con cáncer de testículo y próstata.

Métodos: Búsqueda bibliográfica en Pubmed, Toxnet, Scopus y OSH Update, Google scholar y webs institucionales; recopilamos 20 artículos (11 de exposición y 9 relacionados con cáncer testicular y próstata).

Resultados: Se encontraron hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), compuestos orgánicos volátiles (COV), algunos cancerígenos, que se adhieren a los EP. Los cánceres testicular y prostático tuvieron asociación estadísticamente significativa en 4 y 5 estudios, que valoraban incidencia y mortalidad, respectivamente; dentro de los que se incluye un metaanálisis.

Conclusiones: Parece existir contaminación, a través de los equipos de protección, bien por sustancias liberadas en forma de gas, transferencia cutánea y/o desarrollo de un microambiente tóxico entre el traje y la piel. Se encontró asociación estadística significativa para cáncer de próstata y testículo.

Med Segur Trab (Internet) 2016; 62 (244) 241-262

Palabras clave: Bomberos, neoplasias testiculares, neoplasias prostáticas, ropa de protección, exposición profesional.

Abstract

Background: Firefighters, in the exercise of their work, are exposed to acute and chronically hazardous substances that pose a health risk; these substances (some classified as carcinogenic) are present in the scene extinguishing the fire and out of this. Personal protective equipment (PPE), have evolved in order to minimize damage. In this paper, we review the actual evidence about contamination through EP and if firefighters are in risk about prostate and testis cancer.

Objectives: To know the involvement of PPE as an additional source of pollution in fire. To see the association with testicular cancer and prostate cancer.

Methods: Research in PubMed, Toxnet, Scopus and OSH Update, Google scholar and institutional websites; we collect 20 articles (11 and 9 related to exposure testicular cancer and prostate).

Results: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and volatile organic compounds (VOCs), some carcinogens, adhering to the EP. Testicular and prostate cancer had a statistically significant association in studies 4 and 5 respectively that assessed incidence and mortality; this included a meta-analysis.

Conclusions: It seems that there's contamination through PPE, as some substances released as a gas, by dermal contamination or by creation of toxic microenvironment between suit and skin. Different substances released during or after the fire stick to the EP, creating a «toxic microenvironment» between the suit and the skin, promoting systemic absorption. We found statistically significant association to prostate and testicular cancer.

Med Segur Trab (Internet) 2016; 62 (244) 241-262

Key words: Firefighters, testicular neoplasms, prostatic neoplasms, protective clothing, occupational exposure.

INTRODUCCIÓN

Los bomberos, durante su actividad laboral extinguiendo incendios e instruyendo a otros bomberos, están rodeados de tóxicos procedentes de la combustión, que suponen un riesgo potencial para su salud¹. El humo del fuego se compone de materia líquida suspendida, sólida en forma de partículas, gases y vapores, que resultan de la combustión o pirólisis de materiales. Existe un gran número de tóxicos en el humo del fuego, algunos de los cuales son clasificados por la International Agency for Research on Cancer (IARC) como pertenecientes al grupo 1 (carcinógenos para humanos), 2A (probablemente carcinógeno para humanos), 2B (posiblemente carcinógeno para humanos) y 3 (no clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos)².

La extinción de un incendio se compone, de manera muy general, de dos fases:

- Fase de abatimiento («knockdown» en incendios municipales y «attack» en forestales), momento en el que se controla y extingue el fuego.
- Fase de inspección («overhaul» en incendios municipales y «mop-up» en forestales), durante la que se buscan focos residuales. En este momento, el ambiente no es tan caluroso ni presenta tanto humo como en la fase previa, pero persisten sustancias tóxicas en él^{2, 3}.

Para proteger la vía inhalatoria del humo del fuego, existen equipos de protección respiratoria desde hace más de un siglo. Dichos equipos han ido evolucionando, hasta desarrollarse los de presión positiva, que fueron ampliamente utilizados durante las décadas de los años 60 y 70 del siglo XX. Poco después surgieron los aparatos de respiración autónomos de presión a demanda con un factor de protección de 10000, utilizados de manera habitual, a día de hoy, por bomberos municipales². De este modo, parece que la vía inhalatoria en la escena del incendio puede ser evitable, con el adecuado uso de unos equipos de respiración autónoma correctos. En algunas situaciones, dichos equipos pueden ser inadecuados o no percibirse como necesarios, resultando en exposición no reconocida. Esto se da en ciertas fases de la lucha contra el fuego, como la de inspección, por infravalorarse el grado de contaminación existente². No obstante, estos trabajadores están cada vez más concienciados del peligro que supone, para la salud, el ambiente del incendio.

Un tema por el que ha surgido cierta preocupación y sobre el que se está investigando últimamente, es el de la implicación de los equipos de protección personal (EPP) en la contaminación de los bomberos. Los equipos de protección están diseñados para proteger contra la radiación térmica, convección de gases calientes y del contacto directo con superficies calientes, así como evitar pequeños cortes y abrasiones; no ofrecen protección específica (o no está bien caracterizada) frente a agentes biológicos y químicos^{4, 5}, por lo que pudiera generarse un microambiente, entre el traje y la piel, que favoreciera la absorción cutánea.

Otra posible vía de contaminación, desde los equipos de protección, sería la inhalación y/o deglución de sustancias volatilizadas o desprendidas en forma de gas, de las ropas protectoras, una vez que los bomberos han retirado los equipos de respiración autónomos. Dichas sustancias quedarían depositadas en el uniforme durante el incendio, pasando al aire cuando los bomberos se están desvistiendo o durante la vuelta a la estación de bomberos, en el reducido espacio que supone la cabina del vehículo. Igualmente, el hacinamiento de estos equipos, no limpiados correctamente, en espacios pequeños y no ventilados, puede favorecer una atmósfera tóxica. Puede existir, también, transferencia cutánea, cuando la piel toca estas superficies contaminadas.

La norma NFPA 1971 regula el diseño y requisitos mínimos que deben tener los elementos de protección de los bomberos. Las prendas de las que se compondría un equipo de protección serían: casco, «monjitas» o pasamontañas, capa o chaquetón (compuesto de tres capas: capa exterior, barrera hidratante y barrera termal), pantalones protectores (mismas capas que chaquetón), Los breteles/tirantes o suspensores (mantienen los pantalones en su lugar), guantes, botas, elementos de protección ocular (gafas de seguridad, gafas de protección ocular, viseras de los cascos y máscaras de aparatos de respiración autónoma), protectores contra ruidos, equipos de respiración autónoma⁶.

Desde hace décadas, existe preocupación sobre la relación entre bomberos y cáncer^{7, 8}. Diversos tumores malignos han sido relacionados con esta profesión, algunos con resultados contradictorios. Los bomberos pudieran tener más probabilidad de padecer y morir a consecuencia de leucemia, linfoma no Hodgkin, mieloma múltiple, cáncer de cerebro, vejiga y probablemente próstata, intestino grueso y piel⁷. Actualmente, la IARC ha clasificado la exposición ocupacional en bomberos como posible carcinogénico en humanos (grupo 2B)². En lo concerniente a cáncer de testículo, poco aportes existían, hasta épocas recientes, en cuanto a su riesgo, ya que la mortalidad derivada (índice ampliamente usado en este tipo de estudios) no supone una medida exacta de su morbilidad, por ser la supervivencia de los pacientes con este cáncer alta. También, por otro lado, muchas publicaciones han presentado, únicamente, la estimación del RR del grupo global de cánceres genitourinarios, incluyendo riñón, uréter, vejiga y próstata⁹.

Por todo lo expuesto, decidimos abordar este doble problema y revisar la literatura existente para conocer, por un lado, si los equipos de protección de los bomberos suponen una fuente potencial de intoxicación (durante y/o después de la intervención en el incendio) y por otro, cuál es la evidencia existente, hasta el momento, en cuanto al riesgo de cánceres de testículo y próstata en ellos.

OBJETIVOS

Principal:

Determinar la evidencia científica existente sobre toxicidad a través de equipos de trabajo contaminados y cáncer de testículo y próstata, en bomberos.

Secundarios:

1. Comprobar que las atmósferas de trabajo de los bomberos son tóxicas.
2. Determinar si los tóxicos derivados del incendio se acumulan en los equipos y entre éstos y la piel, así como si hay absorción sistémica pese a tener garantizado el aislamiento respiratorio durante el incendio.
3. Conocer la prevalencia/incidencia de los cánceres de testículo y próstata, en bomberos, y variables asociadas.
4. Determinar si existe asociación estadísticamente significativa entre los equipos de trabajos contaminados y los cánceres de próstata y testículo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda en las bases de datos bibliográficas científicas MEDLINE (Pubmed), Toxnet, Scopus y OSH Update utilizando descriptores Mesh para establecer las estrategias de búsqueda siguientes:

```
(«firefighters»[MeSH Terms] OR «firefighters»[All Fields] OR «firefighter»[All Fields])
AND («neoplasms»[MeSH Terms] OR «neoplasms»[All Fields] OR «cancer»[All Fields])
(«firefighters»[MeSH Terms] OR «fires»[MeSH Terms]) AND (((«prostatic neoplasms»[MeSH
Terms] OR «testicular neoplasms»[MeSH Terms]) OR «carcinogens»[MeSH Terms])
OR prostatic[Title/Abstract] OR testicular[Title/Abstract])
(((«prostatic neoplasms»[MeSH Terms] OR «testicular neoplasms»[MeSH Terms])
OR «carcinogens»[MeSH Terms]) OR prostatic[Title/Abstract] OR testicular[Title/
Abstract]) AND (((protective[All Fields] AND («instrumentation»[Subheading] OR
«instrumentation»[All Fields] OR «equipment»[All Fields] OR «equipment and
supplies»[MeSH Terms] OR («equipment»[All Fields] AND «supplies»[All Fields]) OR
«equipment and supplies»[All Fields])) OR (protective[All Fields] AND ensembles[All
Fields])) OR («protective clothing»[MeSH Terms] OR («protective»[All Fields] AND
«clothing»[All Fields]) OR «protective clothing»[All Fields])) OR «equipment
safety»[MeSH Terms]) AND («firefighters»[MeSH Terms] OR «fires»[MeSH Terms])
```

((«Firefighters»[Mesh] OR «Firefighters»[Title/Abstract]) AND («Occupational Exposure»[Mesh] OR «Occupational Exposure»[Title/Abstract])) AND («Neoplasms»[Mesh] OR «Neoplasms»[Title/Abstract])

Empleamos buscadores como Google y páginas web institucionales (OIT, INSHT, IARC, ISTAS). Las bibliografías de los artículos encontrados fueron, del mismo modo, origen de otras referencias de apoyo.

Como criterios de inclusión:

- Estudios sobre cáncer de testículo y próstata en bomberos.
- Estudios de exposición tóxica ambiental en bomberos y equipos de trabajo contaminados.
- Textos en español e inglés.
- Artículos originales.

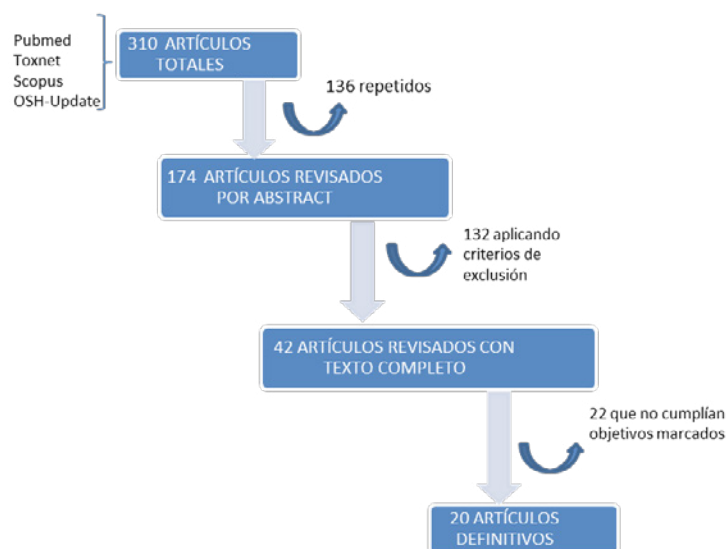
Criterios de exclusión:

- Falta de correspondencia de lo analizado con los objetivos de nuestro trabajo.
- Estudios previos a 2006 (artículos de riesgo de cáncer). Estudios previos a 2001 (artículos de exposición).
- Artículos sin disponibilidad de texto completo.

De acuerdo con nuestra estrategia de búsqueda, en las bases de datos indicadas, se obtuvieron 310 artículos. Tras aplicar los criterios de exclusión elegidos, descartar aquellos artículos repetidos en diferentes bases de datos así como los redundantes, nos quedamos con 20 artículos.

Para catalogar los artículos de riesgo de cáncer, según el nivel de evidencia, empleamos la escala del Scottish Intercollegiate Guidelines Network (SIGN).

Figura 1. Flow-chart



RESULTADOS

Revisamos 20 artículos, 11 de exposición tóxica (de los cuales 8 fueron cuasi-experimentales y 3 transversales) y 9 que trataban de cáncer de testículo y próstata (1 meta-análisis, 3 casos-contróles y 5 de cohortes).

(IARC: sustancias del grupo 1 (**en negrita**), grupo 2A (*en cursiva*), grupo 2B (!))

Tabla I. Artículos de exposición tóxica

Autor y año	Tipo de estudio	Sujetos o población	Características de la exposición	Tóxicos analizados	Muestras analizadas	Momento de la medición	Resultados
AUSTIN <i>et al.</i> 2001 ⁽¹⁰⁾	Quasi experimental.		-15 incendios experimentales. -Combustibles sólidos vs. líquidos. -20 s duración de la toma.	COV (144).	-Aire del incendio (60) vs. -Aire basal. -Biogás de un vertedero. -Aire ambiente (24 h).	2,5,10,15 min desde inicio de incendio.	-Concentración de COV en función de materiales quemados y duración del incendio. -14 COV(1), 65% en masa del total medido (no diferencia significativa combustibles sólidos vs líquidos). - Benceno , tolueno, 1,3-butadieno , naftaleno (1) y estireno (1) aumentan con el tiempo de combustión.
AUSTIN <i>et al.</i> 2001 ⁽⁹⁾	Transversal.		-9 incendios municipales; -7 edificios de ocupación mixta. -1 industria electrónica. -1 incendio latente durante 9 días.	COV (144).	-Aire del incendio.	-En el momento en que se juzgó que habría menos uso de equipos de respiración autónomos.	-Espectro toxicológico similar entre ellos. -14 más frecuentes (1), suponiendo el 76,8% del total de COV medidos.
LAITINEN <i>et al.</i> 2010 ⁽¹¹⁾	Ensayo cuasi experimental de intervención pre-post.	Entrenadores de bomberos (buceadores de humo) (n = 18). -4 en cada incendio en la casa de fuego. -2 en el simulador de gas. -4 en el contenedor.	-4 incendios experimentales: -3 simulador casa de fuego (evaluando cartón-madera, contrachapado y madera de abeto individualmente). -1 simulador de gas (propano). -Simulación en un contenedor (contrachapado). -Cada simulación realizada en tres tiempos. -Cada tiempo unos 30 min de duración.	-1-pireno (1-hidroxipireno). -1-naftol. -Ácido mucónico. ----- -HAP (15).	-Orina. ----- -Piel: -Pecho y torso. ----- -- Manos. ----- -Aire del incendio. -Cianuros. -Formaldehído.	-Pre-exposición. -Post-exposición. -6 h post-exposición. -Mañana siguiente. ----- -Muestradores colocados bajo la ropa. -Antes de comer. -Final del día. ----- Durante el entrenamiento.	-El combustible más seguro, toxicológicamente, fue el propano (pireno/ benzo(a)pireno 1,9 casa fuego vs 9 en simulador de gas). -Los niveles de exposición cutáneos a HAP fueron más bajos en el simulador de gas. -Reducción del 80% de los HAP, en las manos, con el uso de guantes.

Autor y año	Tipo de estudio	Sujetos o población	Características de la exposición	Tóxicos analizados	Muestras analizadas	Momento de la medición	Resultados
LAITINEN <i>et al.</i> 2012 ⁽¹²⁾	Ensayo cuasi-experimental de intervención pre-post.	Entrenadores de bomberos (buceadores de humo), varones, no fumadores (n = 13). -11 simulador convencional. -2 simulador moderno.	-4 incendios experimentales: -3 simulador convencional (cartón-madera, contrachapado, madera pura individualmente) -1 simulador moderno (Propano) -Cada simulación realizada en tres tiempos -Cada tiempo unos 30 min de duración.	-1-hidroxi pireno (2) -1-naftol (3) ----- -HAP (15) -COV	-Orina (4). ----- -Aire del incendio (5).	-Pre-exposición. -Post-exposición. -6 h post-exposición. -Mañana siguiente. ----- -Durante el entrenamiento.	-Las excreciones mayores de 1-hidroxi pireno y 1-naftol se encontraba 6 horas post-exposición. -Exposición a mezcla de HAP más tóxica en convencional que en moderno. -Hazard index(6) para cáncer (benceno, solvente nafta grupo 1 (7), solvente nafta grupo 2 (8), estireno (1), etilbenceno(1)) 0,39+0,21 para el convencional y 0,06+0,01 para el moderno. -Programa Mixie(9): efectos aditivos para cáncer entre solvente nafta grupo 1 y grupo 2, benceno , formaldehído y benzofalpireno . Posible efecto sinérgico entre formaldehído y cloruro de hidrógeno para cáncer nasal.
FENT <i>et al.</i> 2014 ⁽¹³⁾	Ensayo cuasi-experimental de intervención pre-post.	Bomberos varones, no fumadores, ≤ 45 años, nivel entrenador en Chicago Fire Department (n = 30). -15 en cada ronda (10), 5 por incendio.	-6 incendios experimentales: -Dos rondas separadas por un año. -Cada ronda, tres incendios (uno diario). -Tiempos de exposición (incendios 1-3 rondas 1-2) 15, 30,29, 20,18,18 min, respectivamente.	-HAP totales (fase de gas y partícula). ----- -HAP totales (suma de 6 HAP). ----- -HAP y sus metabolitos. -Metabolitos del benceno (s-PMA). -Creatinina. -Cotnina. ----- Hidrocarburos aromáticos(19) e HAP semivolátiles(20).	-Aire personal. ----- -Cutánea antebrazo y cuello. -Cutánea en manos y cara. -Cutánea en escroto. ----- -Orina. ----- -Aire espirado. ----- -Aire espirado.	-Exposición. ----- -Pre(11) y post-exposición (12). -Post-exposición. -Pre y post-exposición. ----- -Pre, post, 3 h y 6 h. -Pre, post, 3 h y 6 h. -Pre, post, 3 h y 6 h. -Pre, post, 3 h y 6 h. ----- -Pre, post y 6 h.	-La mayoría de los HAP cutáneos por debajo de concentraciones mínimas detectables. -Niveles post-exposición Cuello>cara>mano similar antebrazo (13). - Benceno fue el hidrocarburo aromático predominante medido en aire espirado. -Concentraciones s-PMA urinarias inferiores a BEI de ACGIH.

Autor y año	Tipo de estudio	Sujetos o población	Características de la exposición	Tóxicos analizados	Muestras analizadas	Momento de la medición	Resultados
PLEIL <i>et al.</i> , 2014 ⁽¹⁴⁾	Ensayo cuasi-experimental de intervención pre-post.	Bomberos voluntarios de Chicago, menores de 45 años, no fumadores (n = 30). -15 en cada ronda (10), 5 por incendio.	-6 incendios experimentales: --Dos rondas separadas por un año. --Cada ronda, tres incendios (uno diario). --Tiempo exposición en cada uno, 15-30 min.	-HAP.	-Aire espirado.	-Pre-exposición (una hora antes) -Post-exposición (10 minutos después) -6 horas post-exposición.	-HAP: 375 ppmv(14).
ALEXANDER, BAXTER 2014 ⁽¹⁵⁾	Transversal.		Duración de uso indefinida (salvo material nuevo).	-Diésteres de ftalato (6). -HAP (20).	-Equipos personales: --Pasamontañas (3). --Puño de abrigo (1, capa interna). -Guantes (2 usados y uno nuevo, 3 capas analizadas separadamente).		-DEHP(1) (15) en todas las muestras. -DEHP muy superior cantidad a HAP. -Gradiente de DEHP a través de las capas del guante usado (externa->interna).
BAXTER <i>et al.</i> 2014 ⁽¹⁶⁾	Transversal.	Bomberos experimentados (Cincinnati) n = 10.		-HAP. -Partículas orgánicas (PM 2,5 µm).	-Aire del incendio. -Aire 2 estaciones de bomberos (aparcamiento de camión, lugar de almacenamiento de equipos, cocina/área común, dormitorios). -Toallas absorbentes.	-Fase de inspección. -Durante 8 horas.	Aire: 1) partículas: elevada concentración en la fase de inspección, en el aparcamiento y durante la inspección (naftaleno (C), acenaftileno (D), y benzofluoranteno (I) (mezcla de isómeros b-, f-, k)). Toallas absorbentes: gran número de HAPs, algunos como el benzofluoranteno (I), encontrado también en la fase de inspección.

Autor y año	Tipo de estudio	Sujetos o población	Características de la exposición	Tóxicos analizados	Muestras analizadas	Momento de la medición	Resultados
KIRK, LOGAN 2015 ⁽⁵⁾	Ensayo cuasi-experimental de intervención.	Entrenadores de bomberos (no concretan más).	-5 incendios experimentales. -Tiempo exposición en cada uno, 31 min de media.	HAP.	-Aire personal (externo e interno a los equipos de protección). -Equipos personales.	-Desde colocación de equipo hasta retirada. -Parche de Normex IIIA (16) retirado al final de cada incendio.	-Mayor protección de los equipos frente a HAP de mayor peso molecular. - Benzol [a]pireno, d[ibenzol]a, b[antraceno], benzol[a]ntraceno (I) y benzol[b]fluoranteno/ benzol[k] fluoranteno (I) fueron los principales contribuyentes a la toxicidad de la mezcla, en el aire exterior. - Benzol [a]pireno, benzol[a]ntraceno (I) y benzol[b]fluoranteno/ benzol[k] fluoranteno (I), los principales tóxicos de la muestra, entre los depositados.
KIRK, LOGAN 2015 ⁽⁶⁾	Ensayo cuasi-experimental de intervención pre-post.	Bomberos (n = 24). -2 bomberos por incendio(aunque sólo se muestreó un equipo personal diario).	-Cuatro incendios experimentales diarios, tres días. -Tiempo exposición en cada uno, 14 min de media.	-HAP. COV. -Compuestos carbonílicos (aldehídos y cetonas) -Gases ácidos (Cianuro de hidrógeno). -HAP de bajo peso molecular.	-Equipos personales: -Depositados. -Gas liberado.	-Parche colocado sobre ropa (17). -Pre-exposición. -Post-exposición (4 incendios). -Post-limpieza.	-El depósito de HAP aumenta con el uso del equipo. -El flujo de depósito de HAP no difiere entre ropas nuevas y usadas. -De los compuestos liberados en forma de gas, el más cercano a su límite fue el cianuro de hidrógeno.
FENT <i>et al.</i> 2015 ⁽¹⁷⁾	Ensayo cuasi-experimental de intervención pre-post.	Bomberos (n = 15). -5 por incendio (aunque sólo se muestreó a dos individuos por incendio(18)).	-3 incendios experimentales. -Tiempo exposición en cada uno, 18-20 min.	-COV (64).	-Aire del incendio. Equipos personales vs. -Contenedores de medición. -Control. -Aire espirado. BTEXS (19).	-Basal (> 1 hora antes). -Fase de inspección -Incendio activo (sólo el último). -Post-exposición (25 min después). -Basal (1 h antes de cada incendio). -Pantalón y chaqueta nuevos. -Pre-exposición (1 h antes). -Post-exposición(4-14 min después).	-COV liberados de los equipos usados: post-exposición basal; acetona, 1,4-diclorobenceno y ciclohexano (p < 0,05). -Aire espirado: Concentraciones de benzeno , tolueno y estireno (I) post vs. pre-exposición mayores del doble. -Correlación positiva (p 0,05) entre concentración de BTEXS liberados de los equipos usados y concentraciones en aire espirado tras incendios.

1. Propeno, **benceno**, xileno, 1-buteno/ 2-metilpropeno, tolueno, propano, **1,3-butadieno**, 2-metilbutano, etilbenceno (E), naftaleno (N), estireno (E), ciclohexano, 1-metilciclohexano, isopropilbenceno.
2. Biomarcador de exposición a HAP de cadena más larga.
3. Biomarcador de exposición a HAP de cadena más corta.
4. Para 1-Hidroxipireno, 13 personas, 4 días. Para 1-Naftol, 5 personas, 2 días (limitado presupuesto).
5. 6 muestras para HAP y 5 para COV, en el convencional; 2 muestras para HAP y 2 para COV, en el simulador moderno.
6. C1/ STEL1 + C2/ STEL2 + C3/ STEL3... '1 (C: concentración en el aire del compuesto, STEL: Valor límite de exposición a corto plazo). La suma de múltiples exposiciones ocupacionales a COV no deben exceder el valor de 1.
7. Hidrocarburos alifáticos y alicíclicos con punto de ebullición entre 0°C y 120°C.
8. Hidrocarburos aromáticos, alifáticos y alicíclicos con punto de ebullición entre 150°C y 220°C.
9. Programa que contiene información sobre unos 700 químicos, sus efectos, mecanismos y órganos diana, así como información acerca de efectos aditivos y sinérgicos entre químicos.
10. 12 repitieron en la segunda ronda.
11. Aproximadamente 1 h antes del incendio.
12. 10-40 min después del incendio.
13. Escroto recogido de diferente manera y no incluido en esta comparación.
14. Partes por millón de volumen.
15. Di-(2-etilhexil) fralato. Sustancia plastificadora añadida a PVC para aumentar su flexibilidad. Adenoma y carcinoma hepatocelular en ratones y ratas, adenoma de células acinares pancreáticas en ratas, tumores de células de Leydig benignos en ratas. Adenoma o carcinoma tubular renal, en ratas, potenciando N-ethyl-hydroxyethylNitrosamine (IARC 2013. Sup 7, 77, 101).
16. Mismo material que capa externa de equipo.
17. Idéntico material que la capa externa del equipo.
18. Manguerista y oficial de la compañía.
19. **Benceno**, Tolueno, Etilbenceno (E), Xileno, Estireno (E).
20. Naftaleno (N), antraceno, fenantreno, fluoranteno y pireno.

Tabla II. Artículos de cáncer de testículo y/o próstata

Autor y año	Tipo de estudio	Población	Tipo de cáncer	Tiempo de exposición	Resultados	Nivel de evidencia (SIGN)
LEMASTERS <i>et al.</i> 2006 ⁽¹⁸⁾	Meta-análisis.	32 estudios.	Testículo. Próstata.	No se menciona.	SIGNIFICACIÓN ESTADÍSTICA. Testículo: SRE (*1) 2,02 (IC95% (*2) 1,30-3,13). Próstata: SRE 1,28 (IC95% 1,15-1,43).	1+
FANGCHAO <i>et al.</i> 2006 ⁽¹⁹⁾	Cohorte retrospectivo.	34.796 bomberos profesionales del estado de Florida.	Testículo. Próstata.	12,9 años (19,5 años en los casos de cáncer).	Cáncer de testículo ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO. RR 1.60 (IC95% 1.20-2.09). Cáncer de próstata. RR 1.10 (IC95% 0.95-1.42).	2+
BATES <i>et al.</i> 2007 ⁽²⁰⁾	Casos y controles.	Registro de Cáncer (1988-2003) en California.	Testículo. Próstata.	No se menciona.	SIGNIFICACIÓN ESTADÍSTICA Testículo (OR (*3) 1.54, IC95% 1.18-2.02). Próstata (OR 1.22, IC95% 1.12-1.33).	2+
KANG <i>et al.</i> 2008 ⁽²¹⁾	Casos y controles.	161.778 (Casos de cáncer ocupaciones reportadas). 2.763 (Policías). 2.125 (Bomberos). Hombres blancos.	Próstata. Testículo.	No se menciona.	No estadísticamente significativos. Próstata: SOMRs(*4) 1.14 (IC95% 0,65-2.00). Testículo: SMORs 1.21 (IC95% 0.60-2.4).	2+
AHN <i>et al.</i> 2012 ⁽²²⁾	Cohortes.	33.416 (Trabajadores de emergencia varones): -Bomberos, 29.438 (84,6%). -No bomberos, 3.978 (11,9%).	Próstata.	Duración media de años de trabajo de los bomberos, 12 años.	No estadísticamente significativo. SRR (*5) 0.22 (IC95% 0.05-1.05).	2-
C. W. IDE 2014 ⁽²³⁾	Cohortes (Incidencia y mortalidad).	Población local comparada con 2213 bomberos varones.	Testículo.	Duración media de años de trabajo, 13 años.	Incidencia de cáncer testicular mayor de la esperada. No estadísticamente significativo. Tasa de Incidencia 10 ⁵ años SD (*6) 9.1 versus 8.1 Mortalidad nula.	2+

Autor y año	Tipo de estudio	Población	Tipo de cáncer	Tiempo de exposición	Resultados	Nivel de evidencia (SIGN)
PUKKALA <i>et al.</i> 2014 ⁽²⁴⁾	Cohortes	16422 bomberos de 30 a 64 años: 8144 Suecia. 4740 Finlandia. 2579 Noruega. 760 Dinamarca. 199 Islandia.	Próstata. Testículo.	No se menciona.	Aumento ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO de cáncer de próstata (30-49 años). SIR (*7) 2.59 (IC95% 1,34-4,52). Cáncer de testículo (30-49 años). SIR 0.65 (IC95% 0,28-1,29). Cáncer de próstata (30-64 años): ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO. SIR 1,13 (IC95% 1,05-1,22). Cáncer de testículo (30-64 años). SIR 0,51 (IC95% 0,23-0,98).	2+
DANIELS <i>et al.</i> 2014 ⁽²⁵⁾	Cohortes (Incidencia y Mortalidad)	29.993 bomberos, de todas las razas, de San Francisco, Chicago y Filadelfia. 97% población masculina.	Próstata. Testículo.	No se menciona.	Aumento mortalidad cáncer de próstata no caucásicos. SMR(*8) 1,64 (IC95% 0,95-2,63). Aumento incidencia de cáncer de próstata en los no caucásicos, ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO. SIR 1,26 (IC95% 1,02-1,54). Aumento mortalidad cáncer de próstata en los bomberos de Chicago, ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO. SMR 1,28 (IC95% 1,08-1,50). Aumento incidencia cáncer de próstata entre los bomberos de San Francisco, ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO. SIR 1,22 (IC95% 1,08-1,37). Poca evidencia de aumento de cáncer de testículo. SMR 0,73 (IC95% 0,15-2,14). SIR 0,75 (IC95% 0,42-1,24).	2+

Autor y año	Tipo de estudio	Población	Tipo de cáncer	Tiempo de exposición	Resultados	Nivel de evidencia (SIGN)
TSAI <i>et al.</i> 2015 ⁽²⁶⁾	Casos y controles.	3,996 bomberos varones entre 18 y 97 años con cáncer. Estratificado por raza. Registro de cáncer de California.	Próstata. Testículo.	No se menciona.	Riesgo de cáncer en todos los bomberos combinados: -Cáncer de próstata: ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO. OR 1,45 (IC95% 1,25-1,69). -Cáncer de testículo. OR 1,10 (IC95% 0,73-1,66). Bomberos de otra raza/etnia: -Cáncer de próstata: ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO. OR 2,42 (IC95% 1,53-3,84). -Cáncer de testículo: ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO. OR 3,73 (IC95% 1,26-11,02). Bomberos de raza blanca: -Cáncer de próstata: ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO. OR 1,40 (IC95% 1,19-1,64). -Cáncer de testículo: OR 0,91 (IC95% 0,58-1,44).	2+

(*1) Resumen de riesgo estimado.

(*2) Intervalo de confianza del 95%.

(*3) *Odds Ratio*.

(*4) Morbilidad estandarizada *odd ratio*.

(*5) Proporción de la tasa estandarizada.

(*6) Rango medio.

(*7) Razón de incidencia estandarizada.

(*8) Razón de mortalidad estandarizada.

AUSTIN *et al.*, en el año 2001¹⁰, analizaron la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el humo de 15 incendios experimentales, diferenciando combustibles sólidos y líquidos. La concentración total (0,1-107 ppm) oscilaba en función de los materiales quemados y la duración del incendio. Catorce COV fueron encontrados en mayor proporción, suponiendo el 65% en masa del total medido (no diferencia significativa entre combustibles sólidos y líquidos).

Benceno (0,6-65 ppm), tolueno, **1,3-butadieno**, naftaleno (!) (Hasta 3 ppm) y estireno (!) (hasta 0,4 ppm), los más abundantes, se incrementaban con el tiempo de combustión (en el caso de combustibles líquidos, tras aumento inicial, los niveles descendían) junto con los niveles de CO.

En otro artículo de 2001, esta vez en el contexto de 9 incendios municipales, AUSTIN *et al.*³ examinaron la presencia de COV en muestras de aire tomadas por los bomberos. Se apreció un espectro similar entre los diferentes escenarios, con la presencia dominante de **benceno** (0,12-10,76 ppm) (más de cuatro veces el límite de exposición a corto plazo (ACGIH, 2001; IARC 1985, 1987, 1992, 1994)) junto con tolueno (0,05-5,52 ppm) y naftaleno (!) (0,01-2,14, ppm). Propeno y **1,3-butadieno** (0,03-4,84 ppm) se encontraron en todos los fuegos, y estireno (!) (0,003-2,01 ppm) y otros compuestos de benceno alquil-sustituidos fueron identificados frecuentemente. Al igual que en el artículo previamente indicado de los mismos autores, se encontraron como más frecuentes los 14 COV señalados en él, suponiendo el 76,8% del total de COV medidos.

LAITINEN *et al.*, en 2010¹¹, realizaron un estudio con entrenadores de bomberos, evaluando diferentes tipos de simulador de prácticas. El combustible más seguro resultó ser el propano, según la excreción urinaria de 1-pireno a las 6 h y emisión de benceno, siendo de 1,0 nmol/l y 0,2 mg/m³ (frente a contrachapado y cartón-madera 4,3-9,2 nmol/l y 1,0-2,5 mg/m³, y pino y abeto 1,5 nmol/l y 0,6mg/m³, respectivamente). Recomiendan, como valor límite de acción biológica de 1-pireno para entrenadores, 16 nmol/l. Ácido mucónico mayor tras incendio de contrachapado (1,5 mcmol/l vs. 1 madera pura y 0,8 simulador gas). Los niveles de exposición cutánea a HAP fueron más bajos en el simulador de gas (30 ng/cm² vs. 1200 ng/cm² del simulador de la casa de fuego y 760 ng/cm² en el contenedor). La cantidad de HAP se redujo en un 80% en las manos de los entrenadores cuando usaron protectores bajo los guantes (8,7 ng/cm²) que cuando no (48,4 ng/cm²). La razón de concentraciones pireno/benzo(a)pireno fue de 1,9 en la casa de fuego y 9 en simulador de gas.

Otro estudio de LAITINEN *et al.* en 2012¹², evaluó la exposición de entrenadores a tóxicos en dos tipos de simuladores, con diferentes combustibles. Establecieron límites de acción biológica para 1-hidroxi-pireno ligados a razón pireno/benzo[a]pireno. Las excreciones mayores, tanto para 1-hidroxi-pireno como para 1 naftol, se encontraban 6 horas post-exposición (360% y 170%, respectivamente, con respecto a determinaciones basales), siendo de 135 y 65mmol/l para 1-naftol y 5 y 1,2nmol/L para 1-hidroxi-pireno (simulador convencional vs moderno). La excreción de 1-hidroxi-pireno en el moderno es inferior al límite de la población no expuesta para 1-hidroxi-pireno. Límite de acción biológica (LAB) para 1-hidroxi-pireno 12 nmol/l (2010, Finlandia) por estudios de trabajadores de horno de coque (razón pireno/benzo(a)pireno en el aire 2.5). La razón Pireno/benzo(a)pireno era de 1.3 en el simulador convencional (LAB 1-hidroxi-pireno 6 nmol/l) y de 11 en el moderno (LAB 1-hidroxi-pireno 53 nmol/l). La concentración individual más alta de 1-hidroxi-pireno, encontrada 6 horas después, en el simulador convencional, triplicó su LAB. Las del moderno estaban por debajo de la población no expuesta.

FENT *et al.* 2014¹³ realizaron un estudio compuesto de dos rondas y emitieron un informe detallado con los siguientes resultados: las determinaciones realizadas en el aire personal, arrojaron unas concentraciones de HAP totales de 1500-22000 µg/m³ en la ronda 1 y de 130-2200 µg/m³ en la ronda 2. La fase de partículas respirables fue la principal contribuidora de HAP ('95% en forma de partículas o adsorbido por partículas). En cuanto a la piel, la mayoría de los HAP estaban por debajo de concentraciones mínimas

detectables. Los niveles post-exposición eran mayores en cuello, después en cara y finalmente en mano y brazo. Se encontró un incremento significativo ($p = 0,02$) en los niveles post vs. pre-exposición, para la determinación del cuello, en la ronda 1. Los resultados de las determinaciones en orina indicaban que la mediana más alta (metabolitos HAP) se encontraba en las muestras de las 3 h en ambas rondas (no eran significativamente mayores a los pre-exposición). Todas las concentraciones de s-PMA eran inferiores al límite de detección y la concentración mínima detectable corregida fue $8.5 \mu\text{g/g}$ creatinina (inferior al límite de exposición biológica del ACGIH²⁷). En el aire espirado, **benceno** fue el hidrocarburo aromático predominante medido. Se observó incremento significativo ($p < 0,05$) entre sus niveles post vs. pre-exposición, en ambas rondas. En general, las concentraciones de hidrocarburos aromáticos en aire espirado eran mayores post-exposición, reduciéndose durante las 6 horas siguientes. Esta tendencia no se observó en HAP semivolátiles (excepto el naftaleno (!)). Exploraron correlaciones entre biomarcadores y niveles de exposición, resultando varias positivas, las que fueron estadísticamente significativas se establecían entre concentraciones HAP en aire personal y cambio en niveles de metabolitos HAP urinarios (3 h menos pre-exposición) durante la ronda 1 ($p < 0,01$) y entre concentraciones de HAP en aire personal y cambio en concentración de benceno espirado (post menos pre-exposición), en la ronda 2 ($p < 0,01$).

Los resultados del estudio de PLEIL y colaboradores¹⁴ indicaron una cierta cantidad de absorción biológica de materiales tóxicos a pesar del uso de protección dérmica y respiratoria. Demostraron que los biomarcadores exhalados en el aliento son útiles para evaluar la exposición ocupacional de los bomberos durante la combustión, especialmente los compuestos aromáticos. Se encontró que los compuestos aromáticos de anillos individuales y algunos HAP estaban estadísticamente elevados en las muestras post-exposición de incendios, en algunos individuos, lo que sugiere que el equipo de protección contra incendios puede permitir la exposición dérmica a los contaminantes aerotransportados. En general, hay una tendencia a que la mayor parte de compuestos aromáticos y naftaleno tengan un efecto de exposición estadísticamente significativo en al menos una categoría de la población estudiada.

ALEXANDER y BAXTER en 2014¹⁵, caracterizaron y cuantificaron diésteres de ftalato e HAP en prendas de equipos personales de bomberos. Encontraron 22 de los 26 químicos en al menos una muestra de ropa. Di-(2-etilhexil) ftalato (DEHP)(!) fue detectado en todas las muestras usadas (52 a 875 veces mayor cantidad que los HAP más abundantes, en cada pieza de ropa) y no usadas en mucha menor cantidad (ningún HAP analizado fue detectado en ninguna muestra de ropa nueva). Se observó un gradiente de DEHP desde la capa más externa hasta la más interna, en la muestra guante usado.

BAXTER y colaboradores¹⁶ realizaron un estudio piloto observacional para evaluar la exposición de los bomberos a partículas orgánicas (partículas de PM $2,5 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m}$ o menos llamadas micrómicas, $0,1 \mu\text{m}$ o menos llamadas ultrafinas) e HAP. La exposición global de los bomberos a partículas finas y agentes tóxicos fue mayor que en la población control. Este estudio mostró que los bomberos están expuestos a niveles elevados de partículas de PM $2,5$ y submicrómicas, tanto durante las fases de inspección del incendio como en las áreas de la estación de bomberos, donde pasan gran parte de la jornada laboral. Las concentraciones en los dormitorios, en el aparcamiento del camión, cocina y durante la etapa de inspección del fuego (posterior a la extinción del incendio), fueron superiores a los que se encontraron en el sitio control. Se detectaron trazas de las naftaleno (!), benzofluoranteno (b, j, k) (!) y acenaftileno en la mayoría de las muestras de la fase de inspección de los incendios, pero no en el sitio de control. Benzofluoranteno (!) y otros tipos de HAP con actividad carcinogénica se detectaron como contaminantes de la piel del bombero, lo que sugiere la absorción de la piel como una vía potencial de exposición a estos agentes.

KIRK y LOGAN en 2015⁵, estudiaron las concentraciones de HAP en el aire externo e interno a los equipos de protección, así como la cantidad que se deposita, en un grupo de instructores de bomberos. HAP fuera vs. dentro, entre $430-2700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $32-355 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente (protección relativa al paso de HAP). Concentración HAP equivalente a

benzo(a)pireno total, exterior de 4.4 a 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e interior de 0.6 a 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Concentración de HAP totales depositados en los equipos: de 69 a 290 ng/cm^2 (cuatro compuestos presentes en todas las muestras: fenantreno, fluoranteno, pireno- los más frecuentes- y benzo[a]antraceno (!)). Concentración HAP equivalente a **benzo(a)pireno** depositado de 0.6 a 31 ng/cm^2 . Los principales contribuyentes a la toxicidad, entre los depositados eran **benzo[a]pireno**, benzo[a]antraceno (!) y benzo[b]fluoranteno/benzo[k]fluoranteno (!). En el aire exterior, naftaleno (!), fenantreno y acenaftileno predominaban en masa, pero benzo[a]pireno, dibenzo[a, h] antraceno, benzo[a]antraceno (!) y benzo[b]fluoranteno/benzo[k]fluoranteno (!) fueron los principales contribuyentes a la toxicidad de la mezcla.

Otro estudio de KIRK y LOGAN⁴ del mismo año caracterizó el depósito de HAP en el exterior de los equipos de protección, para valorar cómo la contaminación previa modificaba futuros flujos de deposición y no encontraron que difiriera entre ropas nuevas y usadas. Estas concentraciones no eran uniformes en el equipo (diferían entre el frente y la espalda). En cuanto a la liberación de diferentes compuestos en forma de gas, en orden a ver el potencial inhalatorio para los bomberos, vieron que las concentraciones de **benceno**, tolueno, etilbenceno (!), xileno, estireno (!), trimetilbenceno, pentano, 2-butanona y metilisobutilcetona (!) de una o más prendas, post-exposición, estaban elevadas con respecto a pre-exposición. Naftaleno (!) fue uno de los HAP detectados en mayor concentración post que pre-exposición, pese a que no se encontró depositado en los trajes. Las concentraciones que se liberaron al aire estaban por debajo de los estándares de exposición para compuestos individuales.

FENT y colaboradores¹⁷, en el año 2015, estudiaron cuantitativa y cualitativamente los COV liberados en forma de gas de los equipos, tras exposición a incendios experimentales, y si pudieran ser una fuente de intoxicación por inhalación. Las concentraciones medidas de los equipos usados eran superiores a las basales, con diferencias significativas ($p < 0,05$) para acetona, 1,4-diclorobenceno y ciclohexano. Las concentraciones de 1,4 diclorobenceno fueron mayores para las prendas nuevas que para las usadas. Todas las concentraciones estuvieron por debajo de los límites de exposición ocupacional a corto plazo. Concentraciones medias, en aire espirado, de **benceno**, tolueno y estireno (!) post vs pre-exposición mayores del doble. Se encontró una correlación positiva, estadísticamente significativa ($p < 0,05$), entre concentración de BTEXS liberados de los equipos usados y concentraciones en aire espirado tras incendios.

LE MASTERS y colaboradores¹⁸ realizaron un meta-análisis en el que revisaron 32 artículos que analizaban, cuantitativa y cualitativamente, el riesgo de cáncer en bomberos. Se realizó una búsqueda en bases de datos electrónicas y bibliografías y se evaluó el riesgo probable, posible o improbable de 21 cánceres, dentro de los que estaban el cáncer testicular y el de próstata. Los resultados indicaron que los bomberos tenían un probable aumento de riesgo de cáncer de próstata (SRE 1,28; IC del 95%: 1,15 a 1,43) y testicular (SRE 2,02; IC del 95%: 1,30 a 3,13).

FANGCHAO y colaboradores¹⁹ analizaron la incidencia de cáncer en bomberos, comparado con la población general, entre los años 1981 y 1999. Se utilizó el registro de bomberos de Florida (Florida Fire Marshal), se cruzó la información con el registro de cáncer de Florida (Florida Cancer Data System). Se encontraron 970 casos de cáncer (209 de próstata y 54 testiculares) en el total de 34.796 bomberos varones. Se objetivó un aumento del riesgo relativo para cáncer testicular. Sin embargo, no se evidenció aumento del cáncer de próstata con respecto a la población general.

El objetivo del estudio de BATES y colaboradores²⁰ fue estudiar la evidencia existente sobre aumento del riesgo de cáncer en bomberos, en relación a otras ocupaciones. Con este propósito se buscaron, en el California Cancer Registry (CCR,) todos los cánceres, en varones, desde el año 1988 hasta 2003. Se analizaron 3659 casos de cáncer en bomberos. El análisis demostró que existía evidencia de aumento de riesgo de cáncer testicular (OR 1.54, IC95% 1.18-2.0) y de próstata (OR 1.22, IC95% 1.12-1.33).

KANG y colaboradores²¹ identificaron todos los cánceres asociados a profesiones, obtenidos del registro de cáncer de Massachusetts (1987-2003,) dividiéndolos en expuestos

(bomberos) y no expuestos (policías y otras profesiones). Dentro de estos cánceres se determinó la incidencia de cáncer de próstata y testículo. Se distribuyeron los casos de cáncer por edad, condición de fumadores y no fumadores, lugar del cáncer entre bomberos, policías y otras profesiones. Se utilizó como método estadístico la odds ratio (SMOR) midiéndose la asociación entre bomberos y tipo específico de cáncer. Los resultados de los no expuestos fueron muy similares. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para cáncer de próstata y testículo. Los bomberos tuvieron un riesgo mayor en el estrato de edad más joven (18-54 años) en relación a las demás ocupaciones comparadas.

En el estudio de AHN y colaboradores²², la población estudiada estaba compuesta por trabajadores que responden a emergencias (n=33416). Del total, 29438 (88,1%) correspondieron a bomberos y 3978 (11,9%) a no bomberos. Fueron excluidas las mujeres. La incidencia de cáncer fue calculada usando como método estadístico el modelo de regresión de Poisson. Se analizó la incidencia de cáncer y número de muertes de la población general de Corea comparándolo con lo encontrado en los bomberos. Otras variables estudiadas fueron la edad de los trabajadores, edad del primer empleo, duración del primer empleo, años de vida laboral, status del empleo (activo o retirado). La cuantificación de la exposición fue evaluada por la frecuencia de asistencia a eventos de incendios según recogen registros de fuego. Para el cáncer de próstata no hubo significación estadística comparando con los no expuestos y la población general de Corea. Duración media de años trabajo de los bomberos fue de 12 años.

En el estudio realizado por C. W. IDE²³, se determinaron la incidencia y mortalidad de cáncer en una cohorte de 2200 bomberos varones (fueron excluidas las mujeres por constituir menos del 1%). Los registros médicos de servicios fueron examinados para los informes de las neoplasias malignas. La edad de contratación y el diagnóstico fueron calculadas, las tasas anuales de incidencia y mortalidad se obtuvieron y compararon con la población masculina de igual edad de Escocia. Se encontró una frecuencia mayor de la esperada para el cáncer de testículo, aunque no alcanzo significación estadística. Los tumores más frecuentes, generalmente, se asociaron a hombres jóvenes y de mediana edad.

PUKKALA y colaboradores²⁴ investigaron la incidencia de cáncer en 16422 bomberos, durante 45 años, en Suecia, Finlandia, Noruega, Dinamarca e Islandia. Hallaron un aumento de cáncer de próstata, estadísticamente significativo, entre los 30 y 49 años con SIR = 2,59 (IC95% 1,34-4,52), siendo estos valores superiores a los encontrados en mayores de 70 años. Para el mismo grupo de edad, el cáncer de testículo tenía un SIR = 0,65 (IC95% = 0,28-1,29) siendo este resultado, en la muestra completa, SIR = 0,51 (IC95% 0,23-0,98).

DANIELS y colaboradores²⁵ realizaron un estudio que analizó la mortalidad e incidencia en una cohorte de bomberos de tres ciudades de Estados Unidos. Se observó un aumento de mortalidad por cáncer en general debido, principalmente, a un exceso de cáncer de pulmón, esófago, intestino, recto y riñón. La mortalidad por cáncer de próstata estaba próxima a la significación estadística (SMR = 1,64; IC95%: 0,9-2,63) entre los varones no caucásicos, alcanzándose entre los bomberos de Chicago (SMR = 1,28; IC95% = 1,08 a 1,50). Del mismo modo se observó un aumento de la incidencia de cáncer de próstata entre los bomberos de San Francisco (SIR = 1,22; IC95% = 1,08-1,37). Se encontró poca evidencia de aumento de cáncer de testículo.

TSAI y colaboradores²⁶ evaluaron una muestra de 3996 bomberos para 32 tipos de cáncer, considerando diferencias interraciales (bomberos raza blanca vs. raza no blanca). Sólo tres tumores estaban significativamente elevados tanto en el grupo completo como en cada grupo racial, de entre ellos el cáncer de próstata, con OR: 1.45 (IC95%: 1,25-1,69). El cáncer de testículo estaba significativamente elevado, únicamente, entre el grupo de raza no blanca.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Que los bomberos están rodeados de múltiples agentes tóxicos, algunos cancerígenos², es un hecho conocido desde hace tiempo⁷.

En los artículos de Austin y colaboradores del año 2001^{3,10} sobre incendios experimentales y municipales, hemos podido ver la coincidencia en el perfil de COV más frecuentes en la atmósfera de ambos tipos de incendio, y cómo cuatro considerados cancerígenos y posiblemente cancerígenos, predominan y/o se repiten en las mismas: **benceno** y **1,3-butadieno** (clase 1), naftaleno (!) y estireno (!) (clase 2B).

Algo no tan conocido, y sobre lo que se está estudiando en los últimos años, es que los equipos de protección podrían suponer una fuente de exposición tóxica. Los contaminantes pueden transferirse a la piel desde estos elementos y penetrar en el organismo. En varios de los estudios revisados se han determinado metabolitos en orina y tóxicos en aire espirado, indicando que esta exposición ha derivado en absorción sistémica; dado que la vía respiratoria estaba protegida durante el incendio, es factible que se haya producido a través de la piel^{11,13,17,18}. En el artículo de Fent del año 2015¹⁷ apuntan a una posible absorción cutánea de tóxicos, ya que considerando las concentraciones liberadas en forma de gas de los equipos (tomando como ejemplo el **benceno**), y calculando su cinética tras ser exclusivamente inhalado, lo que correspondería en aire espirado habría sido inferior a un 15% de lo obtenido (0,5 ppb vs. 4,2 ppb).

La falta de aislamiento completo de los equipos favorecería el acceso de los tóxicos a la piel de los bomberos: Laitinen¹¹, en el 2010, encontró contaminación por HAP en zonas cubiertas por ropa, como son el pecho y el dorso, y ésta, en el caso de las manos, se reducía con la colocación de unos protectores bajo los guantes; Alexander y Baxter¹⁵ observaron un gradiente de concentraciones, desde las capas externas del guante usado hasta las internas, en el caso de los diésteres de ftalato; Kirk y Logan⁵, midieron HAP en el aire exterior e interior a los trajes, concluyendo que éstos protegen mejor de los HAP de mayor peso molecular (principalmente partículas en fase sólida).

La liberación en forma de gas de sustancias tóxicas de los equipos de trabajo y su inhalación, supone otra potencial fuente de exposición. Kirk y Logan⁴ encontraron elevados post-exposición **benceno** (clase 1), etilbenceno (!), estireno (!), metilisobutilcetona (!) (clase 2B); como dato curioso, vieron que el **formaldehído** se desprendía más de trajes nuevos (pudiendo ser el empleado en la fabricación de las fibras resistentes al calor). Este hecho es importante y debería ser tenido en cuenta por los fabricantes; los bomberos no sólo van a exponerse a lo que se genera en un incendio, sino que la pre-existencia de tóxicos en los trajes favorecido por, probablemente, las condiciones del incendio, liberan estas sustancias, convirtiéndose en tóxicos adicionales. Fent¹⁷ encontró correlación positiva entre BTEXS¹⁹ espirados y liberados de equipos.

Según lo expuesto, los bomberos, pese a tener protegida la vía respiratoria con equipos de respiración autónoma de alta eficacia, se exponen a ciertos tóxicos, algunos de los cuales están recogidos como cancerígenos, probables y posibles². De manera general, las sustancias con baja volatilidad que contaminan superficies tienen riesgo de absorción, fundamentalmente, vía cutánea o por ingestión. Estos compuestos podrían pasar a la piel de los bomberos cuando se quitan los equipos o los manipulan. Los compuestos volátiles y semi-volátiles también pueden contaminar los equipos y desprenderse en forma de gas tras la intervención en el incendio, pudiendo ser inhalados.

Algunos datos de exposición, en varios artículos, están por debajo de los límites establecidos. Esto, sin embargo, no nos parece un hecho tranquilizador. Las mediciones se realizan en situaciones concretas, muchas de ellas experimentales, que no tienen por qué corresponderse con la realidad o la generalidad. El incendio podría producirse en un edificio de varios pisos y no en un simulador con dos habitaciones¹³; la exposición podría durar no 15-30 min, sino horas, incluso tener que realizarse varias extinciones el mismo día, debiendo permanecer el bombero con el traje puesto durante más tiempo; o los

movimientos y acciones durante la intervención podrían obligarles a permanecer en mayor contacto con humo y no agachados. Todo ello provocaría exposiciones mayores, que elevarían los marcadores por encima de los límites de acción biológica y/o ambiental. Hay que tener en cuenta, del mismo modo, que muchas de estas sustancias poseen efectos aditivos y sinérgicos como carcinógenos¹².

El otro tema que revisamos fue el riesgo de cáncer de próstata y testículo en los bomberos. Esto supone un asunto de preocupación en este gremio, dado que el mayor porcentaje de bomberos, hasta el día de hoy, son hombres. Evidencia de este planteamiento lo tenemos en el hecho de que la mayoría de artículos sobre cáncer consultados excluyen, de la población estudiada, a las mujeres por suponer un porcentaje muy bajo^{19,20,22,23}.

Partiendo de la evidencia científica recogida por la IARC que encontró, en más de un estudio, sustancias carcinógenas en la exposición ocupacional en bomberos, revisamos nueve artículos que asociaban cáncer de próstata y testículo con bomberos. Sobre el cáncer de testículo hablaban 8 artículos y 8 sobre el de próstata. El cáncer de testículo tuvo asociación estadísticamente significativa en cuatro artículos que valoraban incidencia^{18-20,26} y mortalidad¹⁸. El cáncer de próstata tenía asociación estadística en cinco que consideraban, asimismo, incidencia^{18,20,24-26} y mortalidad^{18,25}. El metaanálisis¹⁸ encontró significación estadística para ambos tumores (grado de recomendación A de SIGN).

El estudio de C. W. Ide²³, pese a no encontrar asociación estadísticamente significativa entre cáncer de testículo y bomberos, halló una incidencia superior a la esperada. Pukkala²⁴ objetivó aumento de incidencia de cáncer de próstata en la muestra de 30-64 años, y lo destacable es que el grupo de edad comprendido ente 30-49 años presentó una razón de incidencia estandarizada (SIR) estadísticamente significativa. Este resultado es llamativo porque, en la población general, el cáncer de próstata aparece en edades más tardías²⁴. Daniels²⁵ encontró aumento de incidencia de cáncer de próstata, estadísticamente significativo, en bomberos no caucásicos, en bomberos de San Francisco y aumento de mortalidad estadísticamente significativo por esta enfermedad en bomberos de Chicago. Tsai²⁶ halló, estadísticamente significativos, el aumento de la incidencia de cáncer de próstata en toda la población, en «otras razas»(fundamentalmente negros e hispanos) aumento de incidencia de cáncer de testículo y próstata, y en la raza blanca, aumento de cáncer de próstata. Pese a que menciona la diferencia de oportunidades y mayor exposición a tóxicos, como posible motivo de esta diferencia interracial, no encuentra una razón clara para ello.

El cáncer de próstata, en EEUU, es el tumor maligno más común que afecta a los hombres y la segunda causa de muerte por cáncer²⁸. El riesgo de desarrollar cáncer de próstata se ha asociado con la edad avanzada, raza negra, historia familiar positiva y pudiera estar influido por la dieta. Aunque estos factores puedan estar asociados con esta enfermedad, es poco probable que ellos solos lo expliquen por completo.

Diversas profesiones se han relacionado con cáncer de próstata (vinculadas a exposición a tóxicos, como el cadmio). En nuestra búsqueda bibliográfica, no hemos encontrado artículos de exposición a cadmio (clasificado como carcinógeno de clase 1, por la IARC) en bomberos, aunque está descrito dicho elemento dentro de la escena del incendio². En otro artículo de revisión se afirmó que existía evidencia epidemiológica sugestiva de cáncer de próstata, asociado con exposición a pesticidas y herbicidas, polvos metálicos, fluidos de trabajos con metales, hidrocarburos aromáticos policíclicos y emisiones de motores diésel²⁹. Los bomberos están expuestos a estos dos últimos agentes.

Recientemente, el trabajo por turnos que supone alteración del ritmo circadiano ha sido designado como exposición carcinogénica del grupo 2A por la IARC². Algunos estudios apuntan a esta posibilidad, como motivo para el aumento de cáncer de próstata en bomberos^{22,24}.

Un hecho que se ha sugerido como razón del mayor diagnóstico de cáncer de próstata en bomberos es que, probablemente, éstos se realicen *screening* con más frecuencia y más pronto que la población general²⁴.

El cáncer de testículo es más frecuente entre los 30 y 40 años, población en edad laboral. Salvo la criptorquidia, se desconocen otras causas para esta patología. Se está apuntando la posibilidad de que los ftalatos pudieran estar implicados en ella, según diversos estudios. En esta revisión hemos visto cómo estas sustancias, derivadas de la combustión de plásticos, se encuentran en la escena del fuego y contaminan los equipos de protección. Los diésteres de ftalato han sido descritos, desde recientemente, como contaminantes frecuentes de los equipos de los bomberos y algunas veces los más abundantes¹⁵. En este sentido la IARC, en relación con DEHP, lo clasifica como carcinógeno del grupo 2B, y sugiere más investigación sobre su posible relación con el cáncer testicular de células germinales, porque causa efectos reproductivos (disgenesia testicular, disfunción de las células de Leydig, criptorquidia e hipospadias) en roedores, que son similares a los factores de riesgo para el cáncer testicular de células germinales en humanos³⁰.

Dado que el cáncer de escroto ha sido asociado a exposición a HAP en deshollinadores, cabe la posibilidad de que la exposición a dichas sustancias pudiera desarrollar cáncer de testículo en bomberos³¹. Estas posibilidades, como para el cáncer de próstata, precisan más investigaciones futuras.

Dentro de las limitaciones de los artículos revisados, destacada por los autores, se encuentra el no haber podido correlacionar el cáncer con la exposición a tóxicos. En los artículos de Ahn²² y C. W. IDE²³ relacionan el riesgo de cáncer con el tiempo de exposición, planteando, como duración media de años de trabajo, más de 10 años para mayor riesgo de cáncer. Daniels²⁵ plantea que la duración del último empleo debe tenerse muy en cuenta porque puede representar, potencialmente, una exposición tóxica o no en función del puesto de trabajo, dentro del oficio de bombero (tareas de oficina, intervención en extinciones...).

Tras la revisión bibliográfica realizada podríamos concluir con que:

- Las atmósferas de los incendios presentan múltiples y variadas sustancias tóxicas, aunque los perfiles toxicológicos son parecidos entre unas y otras.
- Dichos tóxicos contaminan los equipos de trabajo y pueden ser inhalados tras el incendio o pasar a la piel. La impermeabilidad de los trajes no es completa y se ha demostrado un «microambiente tóxico» entre el traje y la piel, que también favorece la penetración cutánea.
- Midiendo tóxicos y metabolitos en aliento y orina comprobamos que existe absorción sistémica de dichos tóxicos, pese a tener garantizado el aislamiento respiratorio.
- Parece que puede haber aumento de riesgo de cáncer de próstata y testículo en bomberos, por los estudios revisados. Un metaanálisis apoya esta posibilidad. La asociación con cáncer de próstata parece más consistente.
- No tenemos ningún estudio que establezca relación causal entre tóxicos del incendio y estos cánceres, aunque se sugieren varias posibilidades. Con lo revisado, no podemos conocer qué tóxico/s pudieran ser responsables de dichas patologías, ni siquiera podemos descartar que exista otra causa diferente de la toxicológica. Es probable que múltiples factores intervengan en su origen. Más investigaciones son necesarias para dilucidarlo.

Se podrían establecer las siguientes recomendaciones: los equipos de protección deben ser empleados convenientemente, no prescindiendo de los dispositivos de respiración autónoma en ninguna de las fases de las tareas de extinción; las ropas limpiarlas como indica el fabricante, con la frecuencia adecuada, no hacinarlas en espacios reducidos, poco ventilados ni en zonas de uso común; extremar la higiene personal tras las intervenciones en incendios. En el caso de los simuladores de prácticas, emplear combustibles que resulten menos tóxicos, según lo revisado por nosotras, sería propano^(11,12). Realizar revisiones periódicas de la salud a fin de detectar precozmente patologías relacionadas con tóxicos expuestos. Con respecto a los fabricantes de equipos,

buscar materiales y métodos de elaboración que no generen (o en la menor medida de lo posible) tóxicos perjudiciales que puedan ser absorbidos por los bomberos, sin que ello suponga perjuicio en su manejo o empleo.

AGRADECIMIENTOS

Servicio de Obtención de Documentos de la Biblioteca Nacional de Ciencias de la Salud (Instituto de Salud Carlos III), por su colaboración rápida y eficaz, así como a Marifé Gamó, de la Escuela Nacional de Medicina del Trabajo, por su paciencia y apoyo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Feunekes FD, Jongeneelen FJ, vd Laan H, Schoonhof FH. Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons among trainers in a fire-fighting training facility. *Am Ind Hyg Assoc J.* enero de 1997;58(1):23-8.
2. IARC. 2010. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans volume 98 painting, firefighting, and shiftwork. Lyon, France: WHO.
3. Austin CC, Wang D, Ecobichon DJ, Dussault G. Characterization of volatile organic compounds in smoke at municipal structural fires. *J Toxicol Environ Health A.* 20 de julio de 2001;63(6):437-58.
4. Kirk KM, Logan MB. Structural Fire Fighting Ensembles: Accumulation and Off-gassing of Combustion Products. *J Occup Environ Hyg.* 2015;12(6):376-83.
5. Kirk KM, Logan MB. Firefighting instructors' exposures to polycyclic aromatic hydrocarbons during live fire training scenarios. *J Occup Environ Hyg.* 2015;12(4):227-34.
6. Equipos de protección personal.pdf (www.sobreincendios.com).
7. Golden AL, Markowitz SB, Landrigan PJ. The risk of cancer in firefighters. *Occup Med Phila Pa.* diciembre de 1995;10(4):803-20.
8. Guidotti TL. Occupational mortality among firefighters: assessing the association. *J Occup Environ Med Am Coll Occup Environ Med.* diciembre de 1995;37(12):1348-56.
9. Stang A, Jöckel K-H, Baumgardt-Elms C, Ahrens W. Firefighting and risk of testicular cancer: results from a German population-based case-control study. *Am J Ind Med.* marzo de 2003;43(3):291-4.
10. Austin CC, Wang D, Ecobichon DJ, Dussault G. Characterization of volatile organic compounds in smoke at experimental fires. *J Toxicol Environ Health A.* 8 de junio de 2001;63(3):191-206.
11. Laitinen J, Mäkelä M, Mikkola J, Huttu I. Fire fighting trainers' exposure to carcinogenic agents in smoke diving simulators. *Toxicol Lett.* 15 de enero de 2010;192(1):61-5.
12. Laitinen J, Mäkelä M, Mikkola J, Huttu I. Firefighters' multiple exposure assessments in practice. *Toxicol Lett.* 13 de agosto de 2012;213(1):129-33.
13. Fent KW, Eisenberg J, Snawder J, Sammons D, Pleil JD, Stiegel MA, et al. Systemic exposure to PAHs and benzene in firefighters suppressing controlled structure fires. *Ann Occup Hyg.* agosto de 2014;58(7):830-45.
14. Pleil JD, Stiegel MA, Fent KW. Exploratory breath analyses for assessing toxic dermal exposures of firefighters during suppression of structural burns. *J Breath Res.* septiembre de 2014;8(3):037107.
15. Alexander BM, Baxter CS. Plasticizer Contamination of Firefighter Personal Protective Clothing – A Potential Factor in Increased Health Risks in Firefighters. *J Occup Environ Hyg.* 4 de mayo de 2014;11(5): D43-8.
16. Baxter CS, Hoffman JD, Knipp MJ, Reponen T, Haynes EN. Exposure of firefighters to particulates and polycyclic aromatic hydrocarbons. *J Occup Environ Hyg.* 2014;11(7): D85-91.
17. Fent KW, Evans DE, Booher D, Pleil JD, Stiegel MA, Horn GP, et al. Volatile Organic Compounds Off-gassing from Firefighters' Personal Protective Equipment Ensembles after Use. *J Occup Environ Hyg.* 2015;12(6):404-14.
18. LeMasters GK, Genaidy AM, Succop P, Deddens J, Sobeih T, Barriera-Viruet H, et al. Cancer risk among firefighters: a review and meta-analysis of 32 studies. *J Occup Environ Med Am Coll Occup Environ Med.* noviembre de 2006;48(11):1189-202.
19. Ma F, Fleming LE, Lee DJ, Trapido E, Gerace TA. Cancer incidence in Florida professional firefighters, 1981 to 1999. *J Occup Environ Med Am Coll Occup Environ Med.* septiembre de 2006;48(9):883-8.

20. Bates MN. Registry-based case-control study of cancer in California firefighters. *Am J Ind Med.* mayo de 2007;50(5):339-44.
 21. Kang D, Davis LK, Hunt P, Kriebel D. Cancer incidence among male Massachusetts firefighters, 1987-2003. *Am J Ind Med.* mayo de 2008;51(5):329-35.
 22. Ahn Y-S, Jeong K-S, Kim K-S. Cancer morbidity of professional emergency responders in Korea. *Am J Ind Med.* septiembre de 2012;55(9):768-78.
 23. Ide CW. Cancer incidence and mortality in serving whole-time Scottish firefighters 1984-2005. *Occup Med Oxf Engl.* septiembre de 2014;64(6):421-7.
 24. Pukkala E, Martinsen JI, Weiderpass E, Kjaerheim K, Lynge E, Tryggvadottir L, et al. Cancer incidence among firefighters: 45 years of follow-up in five Nordic countries. *Occup Environ Med.* junio de 2014;71(6):398-404.
 25. Daniels RD, Kubale TL, Yiin JH, Dahm MM, Hales TR, Baris D, et al. Mortality and cancer incidence in a pooled cohort of US firefighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia (1950-2009). *Occup Environ Med.* junio de 2014;71(6):388-97.
 26. Tsai RJ, Luckhaupt SE, Schumacher P, Cress RD, Deapen DM, Calvert GM. Risk of cancer among firefighters in California, 1988-2007. *Am J Ind Med.* julio de 2015;58(7):715-29.
 27. ACGIH. (2013) Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
 28. Crawford ED. Epidemiology of prostate cancer. *Urology.* 22 de diciembre de 2003;62(6 Suppl 1):3-12.
 29. Parent ME, Siemiatycki J. Occupation and prostate cancer. *Epidemiol Rev.* 2001;23(1):138-43.
 30. International Agency for Research on Cancer (IARC): IARC Technical Publication No. 42: «Identification of Research Needs to Resolve the Carcinogenicity of High-Priority IARC Carcinogens. 2010.»
 31. Hall EJ. From chimney sweeps to astronauts: cancer risks in the work place: the 1998 Lauriston Taylor lecture. *Health Phys.* octubre de 1998;75(4):357-66.
-