
Karen Eliana Acevedo García	ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1925-2232
Yina Paola Arrieta Zúñiga	ORCID: https://orcid.org/0009-0008-9278-8419
Luis Ignacio López Michelena	ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4114-9605
Clara Margarita Giraldo Luna	ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8388-3528
Alexandra Yepes Boada	ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3288-5400

n.º 11

Exposición a formaldehído
en laboratorios de
anatomía patológica

Año 3, n.º 11, julio-septiembre 2024 | ISSN: 2954-6044

DOI: <https://doi.org/10.18270/wpst.n3.11>

© Universidad El Bosque

© Editorial Universidad El Bosque

Rectora: María Clara Rangel Galvis

Vicerrector de Investigaciones: Gustavo Silva Carrero

Editor académica:

© Alexandra Yepes Boada

© Karen Eliana Acevedo García

© Yina Paola Arrieta Zúñiga

© Luis Ignacio López Michelena

© Clara Margarita Giraldo Luna

Editor Universidad El Bosque:

Miller Alejandro Gallego Cataño

Coordinación editorial: Leidy De Ávila Castro

Corrección de estilo: Estefany Escallón Ibáñez

Dirección gráfica y diseño: María Camila Prieto Abello

Diagramación: Luisa Gil

Hecho en Bogotá D. C., Colombia

Vicerrectoría de Investigaciones

Editorial Universidad El Bosque

Av. Cra 9 n.º 131A-02, Bloque A, 6.º piso

(601) 648 9000, ext. 1100

editorial@unbosque.edu.co

<https://investigaciones.unbosque.edu.co/editorial>

Septiembre de 2024

Bogotá, Colombia



Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la Editorial Universidad El Bosque.

Universidad El Bosque | Vigilada Mineducación. Reconocimiento como universidad: Resolución n.º 327 del 5 de febrero de 1997, MEN. Reconocimiento de personería jurídica: Resolución 11153 del 4 de agosto de 1978, MEN. Reacreditación institucional de alta calidad: Resolución n.º 013172 del 17 de julio 2020, MEN.

363.11 A174

Acevedo García, Karen Eliana

Exposición a formaldehído en laboratorios de anatomía patológica / Karen Eliana Acevedo García, Yina Paola Arrieta Zúñiga, Luis Ignacio López Michelena, Clara Margarita Giraldo Luna, Alexandra Yepes Boada ; editor Miller Alejandro Gallego Cataño - Bogotá (Colombia): Editorial Universidad El Bosque, Vicerrectoría de Investigaciones, Facultad de Medicina, 2024.

52 páginas

Investigaciones en Salud y Trabajo

Grupo de Investigación Salud, Ser Humano y Trabajo

Año 3, No. 11 julio-septiembre 2024

ISSN: 2954-6044

1. Salud ocupacional - Químicos 2. Laboratorios - Medidas de seguridad 3. Laboratorios médicos 4. Calidad de vida en el trabajo 5. Enfermedades ocupacionales

I. Acevedo García, Karen Eliana II. Arrieta Zúñiga, Yina Paola III. López Michelena, Luis Ignacio IV. Giraldo Luna, Clara Margarita V. Yepes Boada, Alexandra VI. Gallego Cataño, Miller Alejandro VII. Universidad El Bosque VIII. Vicerrectoría de Investigaciones IX. Facultad de Medicina.

Fuente. SCDD 23ª ed. - Universidad El Bosque. Biblioteca Juan Roa Vásquez (abril de 2025) - LM

Investigaciones en salud y trabajo

Facultad de Medicina

Año 3, julio-septiembre 2024, ISSN: 2954-6044

Grupo de investigación Salud, Ser Humano y Trabajo

n.º 11

Exposición a formaldehído
en laboratorios de
anatomía patológica

Contenido

1. Introducción

Pág. 8

2. Formaldehído

Pág. 12

3. Efectos en salud
por la exposición
a formaldehído

Pág. 24

4. Uso de formaldehído
en los laboratorios de
patología a nivel mundial

Pág. 30

5. Conclusiones

Pág. 36

6. Recomendaciones

Pág. 40

7. Referencias

Pág. 42

1. Introducción

La exposición ocupacional a agentes químicos clasificados como cancerígenos es una preocupación mundial debido a las consecuencias negativas que representa para la salud y calidad de vida de los trabajadores. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha identificado varios agentes presentes en los lugares de trabajo del sector salud dentro del Grupo 1 (carcinógenos para los seres humanos), como el óxido de etileno, formaldehído, tricloroetileno, tetracloroetileno, benceno, asbesto, drogas, hormonas, antibióticos, plaguicidas y virus (1). En Colombia, el Instituto Nacional de Cancerología (INC) incluyó al formaldehído dentro del grupo de agentes cancerígenos de interés ocupacional en el país desde 2006 (2). Actualmente, el formaldehído ocupa el puesto 25 en la producción química general de los Estados Unidos, representando aproximadamente 5 millones de toneladas anuales, mientras que en China la producción alcanzaba los 7,5 millones de toneladas en 2007 (3).

En los laboratorios de patología de instituciones hospitalarias se emplean diversas sustancias químicas para realizar los procedimientos de anatomía patológica, como conservación, fijación, deshidratación, preparación de mezclas y procesamiento de tejidos, entre otros. Entre las sustancias presentes en estos ambientes de trabajo se encuentran el xileno, alcohol etílico, acetona, metanol y formaldehído (4). Para proteger la salud de los trabajadores expuestos a formaldehído, las organizaciones internacionales han establecido límites de exposición ocupacional. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) establece un límite de exposición permisible (PEL) de 0,75 ppm para 8 horas y 2 ppm para exposiciones de 15 minutos (3).

El uso del formaldehído representa un riesgo laboral importante en los laboratorios de patología debido a sus efectos agudos y crónicos en la salud. Puede actuar como alérgeno y sensibilizante, causando reacciones de

hipersensibilidad, dermatitis de contacto, irritación ocular, edema laríngeo y broncoespasmo, incluso con exposición a bajas concentraciones, ya que estos síntomas se perciben con exposiciones $>0,4$ ppm. La variabilidad de los efectos en la salud depende la persona y la exposición específica (5). Además, existe una asociación estadísticamente significativa entre el formaldehído y el cáncer nasofaríngeo (6).

Los laboratorios de patología emplean un amplio número de trabajadores, lo que implica un grupo de exposición ocupacional relevante en el sector salud. Para 2016, Colombia contaba con 454 médicos patólogos y un amplio número de trabajadores de apoyo en actividades de laboratorio (7). Adicionalmente, en Colombia, el trabajo con sustancias cancerígenas es considerado una actividad de alto riesgo de acuerdo según lo dispuesto en el artículo 2 del Decreto 2090 de 2003 (8), y la Ley 1562 de 2012 (9) establece en su artículo 9 que las empresas que manipulan estas sustancias deben implementar actividades preventivas debido a este riesgo.

En este contexto, y con el fin de proteger la salud y seguridad de los trabajadores expuestos y prevenir el cáncer ocupacional debido a este agente químico, se realizó una investigación para describir la situación actual de exposición ocupacional al formaldehído en laboratorios de patología a nivel nacional e internacional.

2. Formaldehído

El formaldehído es un gas incoloro con un olor fuerte y penetrante, altamente volátil e inflamable. Pertenecer al grupo de los aldehídos y gases orgánicos, y se encuentra en estado líquido y gaseoso (10). También es conocido como formol o formalina (11). El formaldehído fue descubierto en 1859 por Butlerov, y su fabricación y uso comercial comenzaron a principios del siglo xx. Desde entonces, debido a su bajo costo, pureza y variedad de reacciones químicas, es una sustancia de gran importancia en el mundo industrial (12).

El formaldehído tiene diversos usos en la industria: se utiliza en la producción de resinas y materiales para la construcción, y en el sector de la salud se emplea en los departamentos de patología e histología, así como en salas de autopsias como conservante o deshidratante (4). También se usa como agente antimicrobiano en muchos productos cosméticos (6).

Además, el formaldehído está presente en el medio ambiente. Es una sustancia endógena que se encuentra en la mayoría de las formas de vida, incluidos los seres humanos, y es uno de los compuestos volátiles que se forman en las primeras fases de descomposición de los residuos vegetales en el suelo. También se encuentra de forma natural en frutas y otros alimentos (6).

2.1 Características fisicoquímicas

Dentro de la familia de los aldehídos, el formaldehído es el más pequeño, con un peso molecular de 30,03 g/mol, y es el más venenoso de estos (13). Esta sustancia es altamente reactiva debido al doble enlace entre el carbono y el oxígeno (14), y se obtiene por la oxidación catalítica del alcohol metílico.

En condiciones normales de presión y temperatura, el formaldehído se presenta como un gas incoloro con un

olor intenso, altamente soluble en agua y ésteres. A temperaturas inferiores a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, es un líquido transparente e incoloro (15). Las disoluciones acuosas al 40 % se conocen como formol, un líquido incoloro de olor penetrante que contiene alcohol metílico como estabilizante (13).

Las características físicas más importantes del formaldehído se detallan a continuación (5,10,15):

- Estado físico: líquido
- Color: incoloro
- Olor: picante/penetrante
- Punto de ebullición: $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Punto de fusión: $-92\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Inflamabilidad: no combustible
- Densidad: $0,8153\text{ g/cm}^3$
- Presión de vapor: 2 hPa a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (10).
- Solubilidad: hidrosolubilidad, miscible en cualquier proporción.
- Límite de explosividad: 7 % a 73 % (concentración en aire).

2.2 Clasificación en el Sistema Globalmente Armonizado (SGA)

El Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA) está diseñado para proporcionar un enfoque común y coherente para definir, clasificar e identificar los peligros de las sustancias químicas, y comunicar esta información a través de etiquetas y fichas de datos de seguridad (FDS) (16). Dentro del SGA, el formaldehído se clasifica en las siguientes categorías (17):

- Toxicidad aguda, categoría 3, oral; H301
- Toxicidad aguda, categoría 3, inhalación; H331

- Toxicidad aguda, categoría 3, cutánea; H311
- Corrosión cutánea, categoría 1B; H314
- Sensibilización cutánea, categoría 1; H317
- Toxicidad específica en determinados órganos (exposición única), categoría 3; H335
- Mutagenicidad en células germinales, categoría 2; H341
- Carcinogenicidad, categoría 1B; H350
- Toxicidad específica en determinados órganos (exposición única), categoría 1; H370

En la figura 1 se evidencian los pictogramas de peligro para el formaldehído dentro del SGA. El primer pictograma corresponde a toxicidad aguda, el segundo indica que el producto químico es corrosivo y el tercer pictograma señala el peligro para la salud, describiendo que el producto químico puede ser carcinógeno, mutagénico, representar toxicidad reproductiva, sensibilizante respiratorio y toxicidad por aspiración.

Figura 1

Pictogramas de peligro (18)



Fuente: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (10).

2.3 Límites de exposición ocupacional

Los límites de exposición ocupacional representan la concentración media de una sustancia ponderada en el tiempo

para una jornada laboral de 8 horas diarias (40 horas semanales), a la cual los trabajadores pueden estar expuestos sin desarrollar efectos adversos (19). La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) establece niveles de exposición a sustancias químicas lo suficientemente bajos como para proteger a la población trabajadora. Además, considera si una sustancia química es carcinógena a través de un mecanismo apropiado, y toma en cuenta su potencia relativa y el modo de acción directo e indirecto de la sustancia (20).

Las entidades regulatorias internacionales de salud ocupacional han establecido los siguientes límites para la exposición de los trabajadores al formaldehído (21):

- El Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de Estados Unidos establece un límite de 0,016 ppm para 8 horas laborales y de 0,1 ppm durante períodos de 15 minutos.
- La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) establece un límite de 0,75 ppm en 8 horas laborales y hasta 2 ppm por 15 minutos de exposición.
- La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) propone un TLV-TWA de 0,1 ppm y un TLV-STEL de 0,3 ppm.

En Colombia, el artículo 154 de la Resolución 2400 de 1979 establece que:

[...] en todos los establecimientos de trabajo en donde se lleven a cabo operaciones y procesos con sustancias nocivas o peligrosas que desprendan gases, humos, neblinas, polvos, etc. y vapores fácilmente inflamables, con riesgo para la salud

de los trabajadores, se fijarán los niveles máximos permisibles de exposición a sustancias tóxicas, inflamables o contaminantes atmosféricos industriales (...) de acuerdo con la tabla establecida por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (22).

2.4 Toxicocinética, toxicodinamia e indicadores biológicos de exposición del formaldehído

El formaldehído tiene tres vías de acceso al organismo: 1. Dérmica (genera efectos locales de irritación e inflamación), 2. Inhalación (se une principalmente a proteínas y al ADN de células y mucosas), y 3. Ingestión. Con la ingestión y la inhalación se desencadenan procesos de inflamación e hiperplasia que pueden derivar en metaplasia escamosa (23).

Una vez en el organismo, una fracción de la sustancia es transformada en dióxido de carbono y expulsada por exhalación, mientras que otra parte pasa al torrente sanguíneo y se metaboliza rápidamente; su vida media en sangre es de aproximadamente 1,5 minutos (24). El formaldehído reacciona inicialmente con los grupos amino y sulfuro de las proteínas y ADN celular, generando puentes de metilo (enlaces covalentes). Posteriormente, se une al glutatión formando hidroximetil glutatión, que por acción de la enzima formaldehído deshidrogenasa se convierte en S-formil glutatión. A través de la enzima S-formil glutatión hidrolasa, se libera el glutatión y se forma ácido fórmico (23), que es excretado en orina como sal de sodio y se oxida en dióxido de carbono y agua. El ácido fórmico puede identificarse en sangre o en orina, sin embargo, su medición en poblaciones expuestas ocupacionalmente a concentraciones superiores a las recomendadas no muestra diferencias

significativas en comparación con la población no expuesta. Otra ruta del formaldehído es su unión a la albúmina sérica, formando aductos que se pueden identificar en sangre (23). El formaldehído no se acumula en el cuerpo debido a su alta solubilidad (24).

Actualmente, no existe un biomarcador específico para el monitoreo de la exposición ocupacional al formaldehído, ya que es una sustancia producida fisiológicamente en rutas metabólicas del organismo (mantiene una concentración de 2-3 mg/L en sangre). Esto dificulta distinguir entre el formaldehído endógeno y exógeno. Por esta razón, se han propuesto biomarcadores indirectos, conocidos como biomarcadores de efecto, para medir los cambios que genera la sustancia en el organismo (23).

Entre los biomarcadores de efecto utilizados en estudios con trabajadores se encuentran (23):

- *Biomarcadores de genotoxicidad*: alteración en el número de micronúcleos y brotes nucleares en linfocitos plasmáticos y células de la cavidad oral.
- *Biomarcadores de inflamación*: disminución significativa de proteína C reactiva (PCR), quimiocina L11, quimiocina regulada por activación y factor de necrosis tumoral.
- *Conteo de células sanguíneas*: reducción de las células T, CD8, células de la memoria y células mieloides, así como una disminución significativa en la población de linfocitos B.
- Desarrollo de anticuerpos contra el complejo FA-albúmina sérica humana.
- *Acetilcolinesterasa*: aumento significativo de su actividad.

2.5 Métodos de evaluación cualitativa

Los métodos cualitativos permiten aproximarse al nivel de exposición o realizar un diagnóstico inicial sobre los agentes químicos. A partir de estos resultados, se pueden recomendar evaluaciones cuantitativas del riesgo o implementar medidas preventivas y de control (25). Estos métodos se desarrollan a partir de una matriz que combina las variables de peligro (niveles, bandas o clases de peligro) y la exposición potencial, para determinar el nivel de riesgo potencial (25).

Entre los métodos de evaluación cualitativa, destacan:

- *Control banding - bandas de control*: esta metodología permite clasificar un compuesto en una categoría de peligrosidad que corresponde a un intervalo de concentración ambiental y los controles de ingeniería y administrativos (26).
- *Metodología cualitativa de la Organización Internacional del Trabajo (OIT)*: se desarrolla en 5 etapas (25):
 1. *Clasificar el peligro*: a partir de la información de las FDS de las sustancias químicas o etiquetas del producto.
 2. *Determinar la escala de uso*: identificar el uso por lotes o por días en procesos continuos.
 3. *Evaluar la capacidad de la sustancia para pasar al aire*: basándose en la volatilidad de los líquidos y la capacidad de generar polvo en los sólidos.
 4. *Seleccionar el abordaje de control adecuado*: según el grupo de peligro y la cantidad utilizada.

5. *Encontrar las hojas de orientación de control*: se priorizan los métodos de control en cada tarea.

- *Evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III)*: método basado en el INRS: la metodología fue desarrollada por el Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) y modificada por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), para incluir una serie de modificaciones con respecto al método original que pretenden que la evaluación sea más completa y se desarrolle un mayor número de variables (27). La evaluación simplificada del riesgo por inhalación de agentes químicos tiene las siguientes etapas:

Etapas 1: definen las variables de entrada para aplicar el método (28):

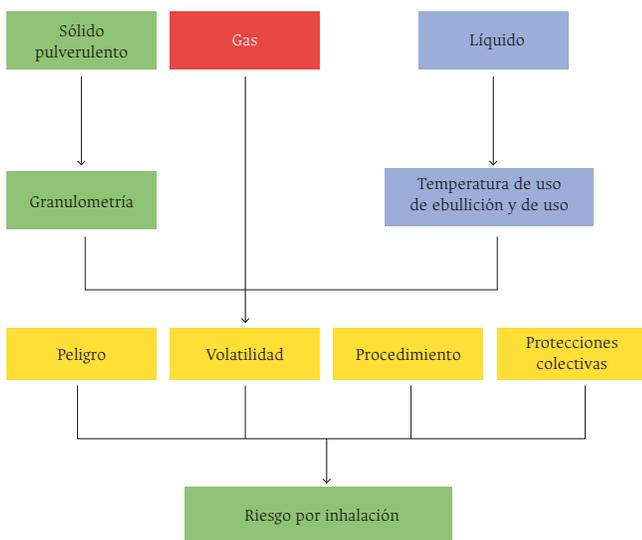
1. Referencia o nombre del producto.
2. Cantidad utilizada.
3. Frecuencia de uso.
4. Zona de trabajo donde se emplea.
5. Información del etiquetado (pictogramas, frases de riesgo).
9. Ficha de datos de seguridad.

Etapas 2: jerarquización de los peligros identificados (27) mediante frases R o H (equivalente del SGA) de la FDS o de la etiqueta, seleccionando la clase más alta si hay varias (17).

Etapas 3: evaluación de riesgos. Cada variable (peligro, volatilidad, procedimiento y protec-

ciones colectivas) recibe una puntuación (Figura 2) (28).

Figura 2
Evaluación de riesgo por inhalación



Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

En la etapa 3 se debe determinar la volatilidad del producto químico. Para las sustancias sólidas, se debe tener en cuenta la descripción del material, y para los líquidos, se consideran la temperatura y el punto de ebullición (29). Luego, se clasifica el procedimiento en: dispersivo, abierto, cerrado con aberturas regulares, y cerrado permanentemente (29). Una vez obtenida la información sobre las clases de peligro, volatilidad del procedimiento, y protección colectiva, se calcula la evaluación del riesgo por inhalación (Pinh) y se realiza la caracterización del riesgo (Tabla 1).

Tabla 1

Caracterización del riesgo en el método INRS

Puntuación del riesgo	Prioridad e acción	Caracterización del riesgo
> 1000	1	Riesgo probable muy elevado (implementar medidas correctoras inmediatas)
100 - 1000	2	Riesgo moderado (probable necesidad de medidas correctivas y evaluación detallada)
< 100	3	Riesgo a priori bajo (sin necesidad de modificaciones)

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

3. Efectos en salud por la exposición a formaldehído

El formaldehído se ha asociado con la aparición de enfermedades pulmonares y cáncer. Sin embargo, el mecanismo fisiopatológico aún está en estudio. Se han examinado las alteraciones que genera el formaldehído sobre el micro-ARN de las células pulmonares, lo que resulta en alteraciones de las vías de señalización asociadas con el cáncer, la respuesta inflamatoria (aumento de IL-8) y la regulación del sistema endocrino (30). También tiene efectos patológicos sobre el sistema nervioso central, especialmente sobre las neuronas, induciendo plegamiento incorrecto de la proteína transneuronal, apoptosis neuronal en el hipocampo, deterioro cognitivo y pérdida de memoria (30).

A continuación, se describen los efectos agudos y crónicos en la salud por exposición a formaldehído:

3.1 Efectos agudos

La toxicidad aguda se manifiesta en los tejidos y órganos que entran en contacto directo con la sustancia (10). A concentraciones bajas (2 ppm), provoca irritación sensorial y percepción olfativa, así como irritación ocular leve y reversible, hasta daños persistentes o permanentes en la córnea (31). En piel, puede ocasionar irritación, necrosis, coloración marrón, ampollas, endurecimiento o sensibilización, además de alteraciones en las uñas y el lecho ungüeal. En el tracto respiratorio, produce irritación en las mucosas de la nariz y garganta, ocasionando tos, disnea y sibilancias (10). Si se ingiere el formaldehído causa quemaduras en la boca y garganta, náuseas, dolor abdominal, shock y colapso (24).

Los efectos del formaldehído se pueden dividir según la concentración de exposición (32):

- Concentración 0,12 mg/m³: límite al que puede estar expuesto un trabajador durante 8 horas diarias, 40 horas semanales, sin afectación aparente en su salud.
- Concentración 0,06 – 1,23 mg/m³: no se ha superado el umbral de olor.
- Concentración 1,35 – 3,07 mg/m³:
 - » Sistema visual: irritación conjuntival, epífora, dolor ocular y diplopía.
 - » Sistema nervioso central: cefaleas.
 - » Sistema respiratorio: irritación nasal y orofaríngea, tos.
 - » Lesiones dermatológicas: prurito, fisuras, trastornos de las uñas y dermatitis de contacto.
 - » Sistema inmunológico: hipersensibilidad, asma y dermatitis alérgica.
- Concentración 3,19 – 24,55 mg/m³:
 - » Sistema visual: epífora, alteraciones del iris y la córnea con pérdida de visión, retinitis y lesión del nervio óptico.
 - » Sistema respiratorio: tos o disnea.
- Concentración 24,67 – 61,37 mg/m³: bronquitis y asma bronquial.
- Concentración 61,50 – 122,74 mg/m³:
 - » Sistema respiratorio: edema pulmonar.
 - » Sistema nervioso central: coma.
- Concentración > 122,74 mg/m³: muerte por asfixia.

3.2 Efectos crónicos

En cuanto a la toxicidad crónica, se describen alteraciones en la piel y vías respiratorias debido a la sensibilización,

que provoca eccema y asma, respectivamente (10). El formaldehído tiene un potencial carcinógeno, clasificado por la IARC como cancerígeno para los seres humanos (grupo 1), lo que indica que la exposición es carcinógena para los humanos. Esta clasificación se utiliza cuando existen pruebas de carcinogenicidad en animales de experimentación o humanos expuestos al agente, y se ha documentado un mecanismo relevante de carcinogenicidad (6).

El formaldehído se ha asociado con desarrollo de carcinoma nasal de células escamosas, cáncer de nasofaringe, leucemia y, de manera excepcional, tumores gastrointestinales. Estos efectos se deben a mutaciones genéticas resultantes del daño directo al ADN y ARN (10). El desarrollo de cáncer por exposición al formaldehído ocurre con concentraciones a partir de 5-6 ppm (33).

3.2.1 *Exposición al formaldehído y asma*

El asma es una patología pulmonar inflamatoria crónica caracterizada por hiperactividad de las vías respiratorias, aumento de las secreciones mucosas (hipersecreción) y obstrucción de las vías respiratorias (34). En el caso del formaldehído, el riesgo de presentar asma de origen laboral no es significativo, pero se ha relacionado con asma preexistente en trabajadores expuestos (35). Aunque no exista evidencia suficiente que vincule directamente al formaldehído con el asma bronquial, esta sustancia puede exacerbar los síntomas en personas con asma (35).

3.2.2 *Exposición al formaldehído y leucemia*

La leucemia es un tipo de neoplasia que afecta a las células hematopoyéticas, especialmente las células madre

mieloides (36). Estudios en profesionales ocupacionalmente expuestos al formaldehído, como embalsamadores, trabajadores de morgues, médicos forenses, patólogos y anatomistas, han demostrado un aumento en los casos de leucemia (37).

La NIOSH, en un estudio que incluyó 11 039 trabajadores de la industria de confección de telas, expuestos a concentraciones estables de formaldehído entre 0,09-0,20 ppm, reportó una mayor mortalidad en comparación a la población general tras 10 años de exposición, con una razón de mortalidad estandarizada (SMR) de 1,53 y de 1,31 tras 20 años desde la primera exposición. Se encontró una asociación más fuerte con la leucemia mieloide a los 10 años (SMR 2,19) y a los 20 años (SMR 1,91) (37).

Un estudio realizado en Estados Unidos con 25 619 participantes mostró un mayor riesgo de desarrollar leucemia mieloide al estar expuestos al formaldehído (Riesgo Relativo [RR] 2,49), y un seguimiento adicional de 10 años reflejó un aumento del riesgo para todas las neoplasias malignas linfohematopoyéticas (RR 1,37) (37).

Sin embargo, la IARC concluyó que, aunque existen pruebas sólidas, no son suficientes para establecer una asociación causal entre la exposición ocupacional al formaldehído y la leucemia (31). Esto se debe a que no se ha identificado el mecanismo fisiopatológico exacto que podría explicar esta relación. Los estudios sobre la hematotoxicidad del formaldehído son limitados, aunque se ha observado una disminución en el recuento de glóbulos blancos en trabajadores expuestos. Otros estudios han reportado un aumento de células B y una disminución de las células T (CD3 y CD8) (31). En experimentos con ratas expuestas a dosis altas de formaldehído, se observó una reducción de linfocitos y un aumento en otras líneas hematopoyéticas, como glóbulos rojos y monocitos (31).

3.2.3 Exposición al formaldehído y genotoxicidad

El formaldehído tiene capacidad genotóxica, induciendo daños directos en el ADN celular que se manifiestan en forma de aductos de adn, enlaces cruzados entre ADN y proteínas (DPC) y alteraciones cromosómicas, como el intercambio de cromátides hermanas. Estos efectos han sido demostrados mediante estudios in vivo en cultivos celulares, tanto en animales como en humanos (31). Los DPC actúan como aductos que distorsionan la hélice del ADN, bloquean físicamente la replicación y transcripción del ADN, e impiden la remodelación de la cromatina (31). Un estudio en humanos detectó niveles de DPC en células mononucleares periféricas de trabajadores ocupacionalmente expuestos al formaldehído. Sin embargo, este estudio es objeto de debate dado los niveles extremadamente altos de DPC encontrados (31).

4. Uso de formaldehído en los laboratorios de patología a nivel mundial

El formaldehído es una sustancia química de uso frecuente en la conservación y procesamiento de muestras de tejido en los laboratorios de patología. Por ello, las concentraciones del químico suelen ser elevadas en este ambiente de trabajo, específicamente en tareas de preparación de formalina y cambio de soluciones para el procesamiento de tejidos (6). Diversas investigaciones han reportado que la concentración media de formaldehído en estos laboratorios es de 0,5 ppm, superando los límites de exposición permisibles (6). Además, en este entorno laboral, los trabajadores también están expuestos a otros agentes químicos peligrosos como xileno, tolueno, cloroformo y metacrilato de metilo. En la figura 3, se muestran las concentraciones de formaldehído en laboratorios de patología, según estudios reportados por la IARC (6).

Figura 3

Concentraciones de formaldehído en el aire de laboratorios de histopatología

Industry and operation (location) Type of sample	No. of measurements	Mean ^a (ppm [mg/m ³])	Range (ppm [mg/m ³])	Year
Histopathology laboratories				
Pathology laboratory (Sweden)	13	0.5 [0.7]	NR	1980s
Histology laboratory, tissue specimen preparation and sampling (USA)	NR	NR	0.2-1.9 [0.25-2.3]	NR
Pathology laboratories (Germany)	21	0.5 ^b [0.6]	< 0.01-1.2 [< 0.01-1.6]	1980-8
Hospital laboratories (Finland)	80	0.5 [0.6]	0.01-7.3 [0.01-9.1]	1981-8
Histology laboratory (Israel)				
Area samples	NR	NR	1.4-1.6 [1.7-2.0]	NR
Personal samples	NR	NR	2.8-3.1 [3.4-3.8]	NR
Teaching laboratory (USA)	16	0.3 [0.4]		NR
Pathology laboratories (Turkey)	10	NR	max., < 2 [< 2.5]	NR
Histology laboratory (Israel)	NR			NR
Laboratory assistants/technicians (15 min)		0.4 [0.5]	0.04-0.7 [0.05-0.9]	
Physicians and orderlies (15 min)		2.2 [2.8]	0.7-5.6 [0.9-7.0]	

Fuente: IARC (6).

Se recuperó información de las siguientes bases de datos: UpToDate, PubMed y ScienceDirect, utilizando las palabras clave: “formaldehído”, “patología”, “exposición”, “efectos agudos” y “cáncer”. Se incluyeron publicaciones de acceso abierto en español e inglés. Entre las investigaciones seleccionadas, se destacaron aquellas con los hallazgos más importantes:

4.1 Panorama internacional

En Irán, un estudio en cinco hospitales encontró que la concentración de formaldehído osciló entre 0,0192 a 0,326 ppm, con un mayor riesgo de cáncer en los trabajadores expuestos (4). Otro estudio iraní sobre la exposición ocupacional al formaldehído titulado *Occupational exposure to formaldehyde, lifetime cancer probability, and hazard quotient in pathology lab employees in Iran: a quantitative risk assessment*, reportó que la concentración más alta fue de 0,78 mg/m³ en el personal del laboratorio de patología, seguido del personal de recepción (0,61 mg/ m³). El 31,6 % de los trabajadores estuvieron expuestos dentro de los límites permisibles, mientras que el 28,3 % superaron los niveles inaceptables. Los efectos agudos más prevalentes fueron sibilancias (24 %), irritación ocular (25 %) y tos (21,7 %) (38).

En Semnán, Irán, un estudio sobre los riesgos de exposición al formaldehído en laboratorios médicos de la universidad local incluyó a 30 trabajadores. La exposición personal media al formaldehído fue de 0,0156 a 0,5940 ppm en jornadas laborales de 8 horas. Los niveles más altos de exposición se encontraron en laboratorios de patología (39).

Otro estudio iraní en 2018 titulado *Exposición ocupacional y evaluación de riesgos del formaldehído en los Departamentos de Patología de los Hospitales*, evaluó la exposición en departamentos de patología, mostrando que

el nivel semanal de exposición más alto se observó en los técnicos de laboratorio (0,664 ppm), debido a la falta de ventilación adecuada y largas jornadas laborales. La concentración de formaldehído se situó entre 0,0192 y 0,326 ppm en los departamentos de patología de los cinco hospitales estudiados (4). Otro estudio con 60 trabajadores iraníes encontró que el 28,3 % trabajaba con concentraciones superiores al límite recomendado por la OSHA (4).

En Teherán, un estudio de casos y controles investigó el efecto del formaldehído en la frecuencia de micronúcleos (MN) en las células de la mucosa bucal, derivado de la exposición crónica al formaldehído. Se incluyeron 64 trabajadores, y se encontró una frecuencia significativamente mayor de MN en las células exfoliadas del grupo expuesto ($18,33 \pm 12,36$) en comparación al grupo de control ($10,55 \pm 6,22$) (40).

En Nigeria, un estudio evaluó la exposición al formaldehído en salas de cortes quirúrgicos de los laboratorios de anatomía en tres hospitales universitarios. Los niveles de exposición a corto plazo oscilaron entre 0,66 y 0,16 ppm durante periodos de 30 minutos a 1 hora y 45 minutos (41).

En Tailandia, un estudio realizado en 2015 titulado *Formaldehyde exposure in gross anatomy laboratory of Suranaree University of Technology: a comparison of area and personal sampling*, evaluó los niveles de exposición al formaldehído durante la disección de cadáveres. Las concentraciones individuales variaron entre 0,126 y 0,770 ppm para estudiantes de medicina, y entre 0,216 y 1,176 para instructores (42).

En Italia, un estudio realizado entre 2017 y 2020 monitoreó la exposición (ambiental, personal y biológica) al formaldehído y xileno en laboratorios de patología. Se encontraron niveles de exposición que superaron los límites permisibles en patólogos y residentes. Se implementaron medidas como la rotación de tareas, reducción del uso del formaldehído, ventilación de las áreas de trabajo, uso

de EPP y capacitaciones, lo que resultó en una disminución de las concentraciones de formaldehído en el aire (43).

En la tabla 2, se presentan los niveles de exposición al formaldehído en laboratorios de patología, según los estudios internacionales consultados.

Tabla 2
Exposición a formaldehído en laboratorios de patología a nivel mundial

Autor y año	País	Nivel de exposición a formaldehído	Trabajadores expuestos
Jalali et al. 2020	Irán	El nivel más alto fue de 0,78 mg/m ³	60 empleados (patólogos, técnicos de laboratorio, oficinista y personal de limpieza)
Yahyaei et al. 2019	Irán	El nivel más alto fue de 0,664 ppm	60 trabajadores
Kangarlou et al. 2023	Irán	Concentración en el aire: 0,462 ppm	30 trabajadores
Akhlaghi et al. 2023	Irán	Trabajadores expuestos: 18,33 ± 12,36 ppm	64 trabajadores (32 expuestos, 32 no expuestos)
Haruna et al. 2023	Nigeria	Concentración mínima: 0,002 ppm Concentración máxima: 1,6 ppm	No disponible
Saowakon et al. 2015	Tailandia	Concentraciones entre 0,216 y 1,176 ppm	Docentes y estudiantes No especifica número de expuestos
Kangarlou et al. 2022	Italia	Concentraciones entre 0,0156 y 0,5940 ppm	30 trabajadores

Fuente: datos de la investigación.

4.2 Panorama latinoamericano

Una investigación realizada por el Instituto Técnico de Costa Rica en 2019 evaluó la exposición ocupacional a formaldehído en un Servicio de Anatomía Patológica. Los resultados mostraron que la exposición varía según el área y la tarea realizada, siendo los histotecnólogos y técnicos disectores los más expuestos. Las condiciones de ventilación, el uso de cabinas de flujo laminar y las prácticas laborales como el control de derrames o la disposición de desechos, influyen significativamente en la exposición (44).

En Colombia, un estudio de la Universidad Nacional aplicó el método NIOSH en los laboratorios universitarios de patología y anatomía. Se evaluaron concentraciones de formaldehído en diferentes áreas, y de las diez muestras recolectadas, una superó los límites recomendados, alcanzando un promedio de 6,5 ppm en un estudiante de especialización (32).

Otra investigación colombiana, titulada Caracterización de la exposición ocupacional a formaldehído en trabajadores del sector salud y educación en Colombia 2004-2013, de la Universidad del Rosario, reportó una concentración promedio de formaldehído de 2,32 ppm, superando los límites internacionales. Las actividades con mayor exposición incluyeron la preparación de mezclas de formol, alistamiento de piezas anatómicas, almacenamiento de piezas anatómicas u órganos, preparación de láminas histológicas y labores de aseo y mantenimiento (2).

5. Conclusiones

El formaldehído es un gas ampliamente utilizado en diversos sectores económicos a nivel mundial. La exposición laboral no se limita a los laboratorios de patología, sino también a otros sectores industriales, exponiendo una gran población trabajadora. Debido a su versatilidad química, es poco probable su eliminación como riesgo químico laboral, por lo que es crucial realizar evaluaciones ambientales en los puestos de trabajo para minimizar la exposición de los trabajadores.

En el SGA, el formaldehído está clasificado como un producto corrosivo con toxicidad aguda, y representa un riesgo de cáncer y desórdenes mutagénicos. Esta sustancia ha sido clasificada como carcinógena, con una clasificación 1A (carcinógeno para humanos) por la IARC. No obstante, los estudios recientes no han demostrado mecanismos fisiopatológicos claros que relacionen la exposición al formaldehído con el desarrollo del cáncer.

El formaldehído causa efectos agudos en la salud, principalmente irritación en las vías respiratorias superiores. Sin embargo, estos síntomas no dependen exclusivamente de la concentración en el aire, sino también de la predisposición individual de cada trabajador. La vigilancia epidemiológica se complica, ya que no existe un biomarcador directo de exposición, debido a que el formaldehído se produce endógenamente y se metaboliza rápidamente.

En los estudios revisados, realizados en trabajadores expuestos ocupacionalmente a dosis considerables de formaldehído, no se lograron demostrar alteraciones celulares que contribuyan al desarrollo de cáncer, por lo que se sugiere repetir los estudios debido a resultados contradictorios. Los estudios más recientes provienen mayormente de países del Medio Oriente, con escasa bibliografía en América Latina. En Colombia, las investigaciones han sido lideradas por universidades.

La mayoría de los estudios revisados utilizaron el método NIOSH para evaluar la exposición al formaldehído, y concluyeron que la exposición es mayor a la recomendada por las entidades regulatorias, especialmente en exámenes macroscópicos de especímenes.

6. Recomendaciones

- El formaldehído es una sustancia química con alto riesgo, por lo que se recomienda monitorear periódicamente el ambiente laboral y la exposición ocupacional de manera individual, realizar trazabilidad de los resultados y comparar los niveles de exposición, verificando la aparición de síntomas.
- Aplicar metodologías cualitativas de evaluación de la exposición y establecer controles basados en los resultados para mejorar las condiciones laborales.
- En los laboratorios de patología, se debe implementar evaluaciones para caracterizar el nivel de exposición a formaldehído, identificar áreas afectadas, instalar sistemas de extracción o ventilación localizada, y reducir el tiempo de exposición mediante rotación de tareas y procedimientos estandarizados.
- Los trabajadores deben conocer el producto químico y aplicar los protocolos establecidos para minimizar la exposición, así como participar en actividades preventivas y reportar síntomas.
- Las autoridades nacionales y locales deben implementar sistemas de vigilancia rigurosos para empresas que manejan sustancias peligrosas como es el caso del formaldehído.
- Fomentar la investigación nacional e internacionalmente sobre la relación entre el formaldehído y el cáncer, aclarando los mecanismos fisiopatológicos por los cuales lo produce.
- Para especialistas en seguridad y salud en el trabajo, es fundamental actualizar el conocimiento sobre la legislación vigente y sustituir sustancias carcinógenas por otras más seguras, o disminuir la exposición a niveles seguros establecidos por los entes regulatorios.

7. Referencias

1. Partanen T, Monge P, Wesseling C. Revisión: Causas y prevención del cáncer ocupacional (Causes and Prevention of Occupational Cancer). 2009 [citado 2023 Oct 16]. pp. 2-11.
2. Casas J, Araque L, Herrera D. Caracterización de la exposición ocupacional a formaldehído en trabajadores del sector salud y educación en Colombia 2004-2013. 2015;1-6. <http://dx.doi.org/10.48713/1033610667>
3. Viegas S, Ladeira C, Nunes C, Malta-Vacas J, Gomes M, Brito M, et al. Genotoxic effects in occupational exposure to formaldehyde: A study in anatomy and pathology laboratories and formaldehyde-resins production. *J Occup Med Toxicol.* 2010;5(1):25. <http://dx.doi.org/10.1186/1745-6673-5-25>
4. Yahyaei E, Majlesi B, Joubani MN, Pourbakhshi Y, Ghiyasi S, Rastani MJ, et al. Occupational exposure and risk assessment of Formaldehyde in the pathology departments of hospitals. *Asian Pac J Cancer Prev. Asian Pac Organization for Cancer Prev;* 2020;21(5):1303-9. <http://dx.doi.org/10.31557/APJCP.2020.21.5.1303>
5. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Formaldehído: documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del formaldehído [Internet]. 2018 [citado 2023 Oct 16]. pp. 1-13. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+123++Formaldehy%C3%ADdo++A%C3%B1o+2018.pdf/322d8406-0dfd-4c21-9ee1-40c5c63a23f1?version=1.0&t=1551310413093>
6. International Agency for Research on Cancer. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol [Internet]. Vol. 88 International Agency for Research on Cancer; 2006 [citado 2023 Oct 16].

- Disponible en: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Formaldehyde-2-Butoxyethanol-And-1--Em-Tert-Em--Butoxypropan-2-ol-2006>
7. Restrepo D, Ortiz L. Aproximaciones a la estimación de la oferta y la demanda de médicos especialistas en Colombia, 2015-2030 [Internet]. 2017 [citado 2023 Oct 16]. pp. 1-23. Disponible en: <https://min-salud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/TH/Especialistas-md-oths.pdf>
 8. Ministerio de Salud y Protección Social. Decreto Ley 2090 de 2003 [Internet]. 2003 [citado 2023 Oct 2]. pp. 3-3. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=9193>
 9. Ministerio de Salud y Protección Social. Ley 1562 de 2012 [Internet]. 2012 [citado 2023 Oct 2]. pp. 1-18. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48365>
 10. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Formaldehyde [Internet]. [citado 2023 Sep 23]. Disponible en: <https://gestis-database.dguv.de/data>
 11. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Evaluación de Riesgos Laborales [Internet] [citado 2023 Nov 27]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/96076/Evaluacion_riesgos.pdf/1371c-8cb-7321-48c0-880b-611f6f380c1d
 12. Gerberich HR, Seaman GC. Formaldehyde. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology Wiley; 2013. pp. 1-22.
 13. Lipskerov FA, Sheshukova EV, Komarova TV. Approaches to Formaldehyde Measurement: From Liquid Biological Samples to Cells and Organisms.

- Int J Mol Sci. MDPI; 2022;23(12):6642. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms23126642>
14. Wang H, Feng D, He Y, Jin X, Fu S. Comprehensive interventions to reduce occupational hazards among medical staff in the pathology department of five primary hospitals. BMC Public Health. Bio-Med Central Ltd; 2023;23(1):2136. <http://dx.doi.org/10.1186/s12889-023-16948-2>
 15. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Ficha N.º 3 Formaldehído [Internet]. 2021 [citado 2023 Dic 18]. pp. 1-16. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/2730585/Ficha%20n%C2%BA%203%20Formaldehido%20-%20A%C3%B1o%202021.pdf/eed11fbb-77fb-ae9f-fc8c-8bdc-22dab0b3?t=1641254747630>
 16. Silk JC. Development of a globally harmonized system for hazard communication. Int J Hyg Environ Health. 2003;206(4-5):447-52.
 17. Instituto Nacional de Salud y Bienestar en el trabajo en el trabajo. Industria farmacéutica: clasificación de principios activos en categorías [Internet]. 2018 [citado 2023 Oct 16]. pp. 1-6. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/566858/ntp-1104w.pdf/9abdf27e-0488-4e2b-a040-9b96ccd5136?version=1.0&t=1614697792726>
 18. United Nations Economic Commission For Europe. Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). United Nations; 2016.
 19. Bartual J, Guardino X. NTP 244: Criterios de valoración en Higiene Industrial [Internet]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [citado 2023 Nov 18]. pp. 3-9. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_244.pdf/b853aaf2-955b-41d7-b021-7bd702ecdd9d

20. Spirtas R, Steinberg M, Wands RC, Weisburger EK. Identification and Classification of Carcinogens: Procedures of the Chemical Substances Threshold Limit Value Committee, ACGIH. 1986 [citado 2023 Nov 27];76:1232-4. Disponible en: <https://ajph.aphapublications.org/doi/epdf/10.2105/AJPH.76.10.1232>
21. Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. Límites de exposición permisibles - Tablas anotadas [Internet]. [citado 2023 Oct 3]. Disponible en: https://www.osha.gov/annotated-pels/table-z-1#call_footnote-a
22. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Resolución 2400 de 1979 [Internet]. Colombia; 1979 [citado 2023 Nov 27]. pp. 1-144. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2400%20-%201979.pdf>
23. Astros-Fonseca IR, Combariza-Bayona DA. Formaldehído: revisión bibliográfica sobre biomarcadores de efecto para la medición de la exposición ocupacional. Rev Fac Nac Salud Pública. Universidad de Antioquia; 2019;37(3):74-85. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v37n3a09>
24. Centro Nacional de Información Biotecnológica. [Internet]. 2023. Resumen del compuesto: Formaldehído [citado 2023 Sep 23]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/712>
25. Colmena seguros. Guía de orientación para evaluación cualitativa y cuantitativa de agentes químicos. Bogotá; 2018. pp. 1-29.
26. Instituto Bienestar en el Trabajo. NTP 1105: Industria farmacéutica: medidas para la prevención de la exposición a principios activos [Internet]. 2018 [citado 2023 Dic 18]. pp. 1-8. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/382595/ntp->

- 1105w.pdf/d4e16590-817e-42ba-b97a-4b1533e-c6eae.
27. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada de riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS [Internet]. 2012 [citado 2023 Oct 16]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>
 28. Ministerio de Empleo y Seguridad Social, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, editor. Herramientas para la gestión del riesgo químico. Barcelona; 2017.
 29. Sánchez Fernández C. Métodos simplificado de evaluación del riesgo de inhalación a agentes químicos en prácticas de laboratorio docente de bromatología descriptiva. Alicante: Universidad de Alicante; 2017 [citado 2023 Oct 16]. Disponible en: <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/1684>
 30. Jakab MG, Klupp T, Besenyei K, Biró A, Major J, Tompa A. Formaldehyde-induced chromosomal aberrations and apoptosis in peripheral blood lymphocytes of personnel working in pathology departments. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen*. 2010;698(1-2):11-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mrgentox.2010.02.015>
 31. La Torre G, Vitello T, Cocchiara RA, Della Rocca C. Relationship between formaldehyde exposure, respiratory irritant effects and cancers: a review of reviews. *Public Health*; 2023;218:186-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.puhe.2023.03.009>
 32. Ramírez J. Exposición a formaldehído mediante el método “NIOSH 2016” en el ambiente laboral de laboratorios de anatomía y patología de una IES en Bogotá 2019. Bogotá: Universidad Nacional

- de Colombia; 2021 [citado 2023 Nov 27]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81125#:~:text=El%20objetivo%20de%20la%20presente%20investigaci%C3%B3n%20es%20establecer,en%20el%20Laboratorio%20de%20an%C3%A1lisis%20instrumental%20del%20IBUN>
33. Ramirez M, Garicano L, Del Campo M. Efectos biológicos y seguimiento médico de los trabajadores expuestos al formaldehído. *Rev Asoc espa Med Trab* [Internet]. 2018 [citado 2023 Nov 19];27(2):64-124. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/medtra/v27n2/1132-6255-medtra-27-02-110.pdf>
 34. Lam J, Koustas E, Sutton P, Padula AM, Cabana MD, Vesterinen H, et al. Amegah AK, editor. Exposure to formaldehyde and asthma outcomes: A systematic review, meta-analysis, and economic assessment. *PLoS One*. Public Library of Science; 2021;16(3). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0248258>
 35. Molina Aragonés JM, Bausà Peris R, Carreras Valls R, Castillo AC, Fiblà Nicolau F, Gaynés Palou E, et al. Toxicidad del formaldehído en trabajadores profesionalmente expuestos. Revisión bibliográfica. *Arch Prev Riesgos Labor*. 2018;21(3):128-57. <http://dx.doi.org/10.12961/apr1.2018.21.03.3>
 36. Gentry R, Thompson CM, Franzen A, Salley J, Albertini R, Lu K, et al. Using mechanistic information to support evidence integration and synthesis: a case study with inhaled formaldehyde and leukemia. *Crit Rev Toxicol* [Internet]. 2020 [2023 citado Nov 25];50(10):885-918. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408444.2020.1854678>
 37. Zhang L, Freeman LEB, Nakamura J, Hecht SS, Vandenberg JJ, Smith MT, et al. Formaldehyde and leukemia: Epidemiology, potential mechanisms, and

- implications for risk assessment. *Environ Mol Mutagen*. 2010;51(3):181-91. <http://dx.doi.org/10.1002/em.20534>
38. Jalali M, Moghadam SR, Baziar M, Hesam G, Moradpour Z, Hamid &, et al. Occupational exposure to formaldehyde, lifetime cancer probability, and hazard quotient in pathology lab employees in Iran: a quantitative risk assessment. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-10627-0>
 39. Kangarlou MB, Fatemi F, Dehdashti A, Iravani H, Saleh E. Occupational health risk assessment of airborne formaldehyde in medical laboratories. *Environmental Science and Pollution Research*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2023;30(17):50392-401. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-023-25523-6>
 40. Akhlaghi G, Shahsavari F, Ghorbanpour M. Formalin Induced Micronucleus Formation in the Buccal Mucosa of Pathology Laboratory Workers. *Iran J Pathol*. Farnam, Inc.; 2023;18(4):425-32. <http://dx.doi.org/10.30699/ijp.2023.1989457.3062>
 41. Atanda AT, Haruna MS, Fateh AA, Gwaram ZA, Gana SL, Sofoluwe GA, et al. Formaldehyde fume exposure pattern in anatomic pathology laboratories in Nigeria. *Journal Gurus* [Internet]. 2023;1(14):1-4. Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/atp/article/view/273836/258526>
 42. Saowakon N, Ngernsoungnern P, Watcharavitoon P, Ngernsoungnern A, Kosanlavit R. Formaldehyde exposure in gross anatomy laboratory of Suranaree University of Technology: a comparison of area and personal sampling. *Environ Sci Pollut Res*. 2015;22(23):19002-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-5078-2>

43. Fustinoni S, Campo L, Spinazzè A, Cribiù FM, Chia-ppa L, Sapino A, et al. Exposure and management of the health risk for the use of formaldehyde and xylene in a large pathology laboratory. *Ann Work Expo Health*. 2021;65(7):805-18. <http://dx.doi.org/10.1093/annweh/wxaa141>
44. Mora C. Análisis de la exposición Ocupacional a formaldehído en el servicio de anatomía patológica del Hospital México. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica; 2019 [citado 2023 Nov 13]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10689#:~:text=Con%20la%20presente%20investigaci%C3%B3n%20se%20evalu%C3%B3%20la%20exposici%C3%B3n,aire%20personal%20a%20trabajadores%20de%20diferentes%20de%20departamentos>

Investigaciones en salud y trabajo

Facultad de Medicina | Año 3, julio-septiembre 2024, ISSN: 2954-6044

Grupo de investigación Salud, Ser Humano y Trabajo

n.º 11

Exposición a formaldehído en laboratorios de anatomía patológica

Fue editado y publicado por la Editorial Universidad El Bosque
Septiembre de 2024
Bogotá, Colombia

Para esta edición, se usaron las familias tipográficas:
Ancizar Serif de 10 a 50 puntos.
El formato de este ejemplar es de 14,5 x 21 cm.

