

MANEJO SEGURO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

Toxicología e higiene laboral

Facultad de Química

Adriana Cousillas

UNIDAD CENTRAL DE EDUCACIÓN PERMANENTE



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

ÁREA DE LAS TECNOLOGÍAS Y
CIENCIAS DE LA
NATURALEZA Y EL HÁBITAT

TN

MANEJO SEGURO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

Toxicología e higiene laboral

Adriana Cousillas



Rector de la Universidad de la República: licenciado Rodrigo Arim

Prorectora de Enseñanza: doctora Estela Castillo

Comisión Sectorial de Enseñanza y Educación Permanente (CSEEP)

doctora Beatriz Brena (Presidente) / magíster ingeniero agrónomo Mario Jaso (director de la Unidad Central de Educación Permanente, UCEP) / doctora María Cristina Cabrera (Área Tecnologías y Ciencias de la Naturaleza y el Hábitat) / magíster licenciada Gabby Recto (Área Salud) / licenciado (PhD) Javier Taks (Área Social y Artística) / magíster Mario Piaggio (Orden Egresados) / magíster en ciencias Sylvia Corte (Orden Docente) / arquitecta Helena Heinzen (Centros Universitarios del Interior) / arquitecto Roberto Langwagen (Secretaría)

Director del servicio al que pertenece la publicación: doctora química farmacéutica Nelly Mañay

Encargada de Educación Permanente del servicio: Ruben Cano

Responsable académico de la publicación: doctora Nelly Mañay

Autora de la publicación: Adriana Cousillas

Evaluadores externos de la publicación: Diego Hernán Fridman / Marcelo Scavone

Diseño gráfico original:

Claudia Espinosa / arquitecto Alejandro Folga / arquitecta Rosario Rodríguez Prati

Apoyo en producción editorial del equipo de Ediciones Universitarias:

licenciada Andrea Duré (diagramación de interior)

Ángela Díaz y Nairí Aharonián Paraskevaidis (revisión de textos)

Fecha de publicación: Setiembre de 2025

ISBN: 978-9974-0-2292-8

ESTA PUBLICACIÓN FUE FINANCIADA POR LA
COMISIÓN SECTORIAL DE ENSEÑANZA Y EDUCACIÓN PERMANENTE

Este libro va dedicado a todos, fundamentalmente a aquellas personas que piensan que no se puede avanzar siendo mujer, profesional y madre. Todo se puede, quizá es más lento, pero si realmente se quiere hacer algo, se puede llegar a la meta.

Tengo que agradecerle el apoyo incondicional de mi marido, Omar Bellenda, así como a mis hijos Rodrigo (que ha colaborado en forma directa con esta publicación), Sebastián, Gabriela y Silvina, a quienes muchas veces no pude acompañar, y a Carola, siempre dispuesta.

Quiero agradecerles a mis amigas colegas de Toxicología, ya que cada una, de alguna forma, me ha acompañado en este recorrido: Nelly Mañay (jefa y amiga), Laura Pereira, Teresa Heller, Cristina Álvarez, Gabriela Martínez, Paulina Pizzorno, Ángela Torres.

Espero que este libro sea un apoyo para todos los que trabajan con productos químicos.

INTRODUCCIÓN	9
Técnicas de prevención en el trabajo	10
Seguridad	10
Higiene	11
Medicina laboral	11
Psicosociología	12
Ergonomía	12
Política social	12
Referencias	14
MANEJO SEGURO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS	15
Algunas definiciones clave	15
Etapas para el manejo y control de sustancias químicas	18
Referencias	27
GENERALIDADES DE LA TOXICOLOGÍA	31
Concepto y clasificación de las sustancias tóxicas	33
Generalidades de la toxicocinética y toxicodinamia de sustancias químicas	37
Referencias	41
TOXICOLOGÍA OCUPACIONAL	43
Programa de evaluación biológica a contaminantes químicos	47
Clasificación y efectos de algunas sustancias químicas	53
Referencias	77
CONTAMINANTES QUÍMICOS EN HIGIENE INDUSTRIAL	81
Generalidades y definiciones	81
Evaluación higiénica	83
Contaminantes laborales en el aire	84
Actuación en higiene industrial	85

La evaluación higiénica y la biológica son complementarias	90
Referencias	101
AGENTES FÍSICOS Y BIOLÓGICOS EN HIGIENE INDUSTRIAL	103
Ruido	103
Iluminación	108
Contaminantes biológicos	110
Referencias	112
CASOS PRÁCTICOS	113
Caso práctico 1	113
Caso práctico 2	119
SIGLAS	127
SÍMBOLOS	129
SOBRE EL PROGRAMA DE EDUCACIÓN PERMANENTE	131

INTRODUCCIÓN

El trabajo no solo debería ser un medio de vida con el cual obtener los recursos necesarios para vivir, sino que además debería garantizar la integridad física de quienes lo hacen, salvaguardar la salud y ser un medio que dignifique el desarrollo y la autorrealización personal (1). La medicina del trabajo y la seguridad laboral han sido ciencias pioneras para el control de los riesgos que se presentan en los diferentes puestos de trabajo. Dirigen sus esfuerzos a la reducción de los accidentes y enfermedades profesionales, para lo cual se adecuan a diferentes técnicas de prevención.

Las personas tendemos a buscar un equilibrio somático, psíquico y social que nos proporcione una sensación de bienestar. Sin embargo, este equilibrio se ve afectado por el ambiente en el que estamos inmersos, que nos influye de muchas formas. A lo largo de la historia, el hombre ha ido modificando el ambiente en que vive y trabaja, y, al mismo tiempo, ha ido desarrollando mecanismos de adaptación que en la actualidad son insuficientes por la rapidez de los avances tecnológicos. En consecuencia, el ambiente se vuelve agresivo y puede originar diferentes enfermedades y patologías.

La salud del hombre compete de forma directa a la medicina, con una característica de individualidad, por lo que queda limitada cuando se trata de modificar el ambiente. Esto implica que los procedimientos no médicos son esenciales. Si se hace una actuación *no* médica sobre el ambiente, esta repercute en la salud de la colectividad y no solo en un individuo, por lo que se obtiene una mayor rentabilidad del esfuerzo preventivo en el ámbito laboral. Este mejoramiento de las condiciones de trabajo es uno de los principales objetivos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2).

En resumen, debemos tener un equilibrio entre trabajo, salud y ambiente, con actuaciones médicas y no médicas. El ambiente de trabajo (orgánico, psíquico y social) es todo lo que lo rodea y puede ofrecer agresiones a la salud. Los daños profesionales son la materialización de los riesgos que

pueden adoptar diferentes formas y se clasifican como accidente de trabajo, enfermedad profesional, fatiga, insatisfacción y envejecimiento prematuro.

Técnicas de prevención en el trabajo

La prevención de accidentes y enfermedades profesionales se basa en la información y formación de los trabajadores. Para ello existen diferentes técnicas de lucha preventiva, encaminadas a mejorar las condiciones en que se desenvuelven las actividades laborales. Se pueden aplicar, entender y desarrollar en forma amplia en el mundo del trabajo, pero también se pueden extender las acciones preventivas en los ámbitos educativos y familiares a fin de crear una conciencia de seguridad o cultura preventiva (1).

Las técnicas preventivas que podemos aplicar son la seguridad, la higiene, la medicina, la ergonomía, la psicosociología y la política social. En este manual solo desarrollaremos los temas de toxicología laboral e higiene industrial, enfocados, en particular, a los productos químicos (PQ). Se brindarán también nociones básicas de seguridad industrial.

Seguridad

La *seguridad* se define como la disciplina o técnica que tiene como objetivo evitar o reducir los accidentes laborales. Debemos distinguir la *seguridad* propiamente dicha y la *protección*, dado que son dos conceptos que a veces se pueden confundir. La seguridad evita el accidente, mientras que la protección evita o disminuye las lesiones en caso de que el accidente ocurra.

La protección puede ser de dos tipos:

- Sobre las máquinas y herramientas que se utilicen en el trabajo (protecciones mecánicas, protección de transmisiones, barandas, rodapiés, sistemas de enclavamiento, entre otros).
- Sobre los trabajadores, de forma directa, a través de protecciones personales (lentes, guantes, cascos, zapatos de seguridad, equipos de protección respiratoria, entre otros).

Higiene

Son aquellas técnicas **no médicas** que están encaminadas a modificar el **ambiente** de trabajo y logran una disminución de la peligrosidad del medio en que se desenvuelve el hombre. Al hablar de *ambiente* nos referimos que esté libre de humos, polvos y gases, y que tenga buenas condiciones de iluminación y un nivel de ruido aceptable. Incluso se consideran las condiciones del microclima de trabajo al tener en cuenta el confort: ventilación, humedad y temperatura.

En higiene se precisa medir los parámetros mencionados y ponderar los resultados con estándares para evaluar la peligrosidad del medio y su riesgo. La higiene ocupacional o industrial se define como la disciplina que tiene el objetivo de disminuir o evitar el desarrollo de enfermedades profesionales.

Medicina laboral

Esta disciplina estudia las relaciones entre la salud y el trabajo. Busca el cumplimiento de las tareas de forma que no aparezcan patologías asociadas a las actividades del oficio.

En la antigüedad, la medicina era específicamente curativa (ofrecía el diagnóstico y su posible tratamiento) o reparadora (buscaba iniciar el tratamiento lo antes posible para evitar las secuelas). Otra forma de actuación es la medicina rehabilitadora, que busca reincorporar al trabajador afectado a su puesto de trabajo anterior o a uno nuevo, según sus condiciones psicofísicas.

En 1950, para el comité mixto de la oit y la Organización Mundial de la Salud (oms), la medicina del trabajo era la actividad médica que debía promocionar y mantener el mayor grado de bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las profesiones. Su fin era prevenir todo el daño causado a su salud por las condiciones de trabajo, protegerlos en sus empleos contra los riesgos resultantes de la presencia de agentes nocivos para su salud, y colocarlo y mantenerlo en un empleo que convenga a sus aptitudes fisiológicas y psicológicas. En suma, debía adaptar el trabajo al hombre y nunca el hombre a su trabajo.

Psicosociología

La contaminación ambiental no queda reducida a los agentes químicos, físicos o biológicos. El trabajo puede contaminar el ambiente humano (psicosocial) y se puede manifestar a través de fenómenos difusos, como la insatisfacción, el ausentismo, la falta de integración de los trabajadores de la empresa, el deterioro de la calidad humana del trabajo y la erosión de relaciones intralaborales, entre otros.

La psicosociología es una disciplina que permite profundizar en el comportamiento humano y establecer pautas para lograr cambios de actitudes en los diferentes ámbitos de la empresa. Se ha observado que las deficiencias comienzan con la propia organización del trabajo y las relaciones personales. Los accidentes se deben, en gran medida, a factores ligados al comportamiento humano, que está condicionado por los propios valores culturales frente al trabajo.

Ergonomía

Esta disciplina surge como una combinación de ciencias (psicología, sociología, matemática, biología) y técnicas (estudio de métodos y tiempos, análisis del trabajo, técnicas de diseño). La conjugación de ambas da lugar a una tecnología que busca alcanzar el acoplamiento máquina-hombre de forma que la combinación resultante sea confortable, segura y eficiente. Por tanto, es la disciplina que se encarga del diseño del lugar de trabajo, tareas y herramientas, teniendo en cuenta las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades de los trabajadores.

Política social

La administración pública está encargada del dictado de normas para lograr un ordenamiento de todas las medidas sobre la seguridad e higiene que se deben adoptar, encaminadas a lograr la prevención de los accidentes y del desarrollo de enfermedades profesionales.

Sin un marco legal sería difícil llevar a cabo medidas de prevención. Uruguay fue uno de los primeros países latinoamericanos en adoptar legislación de seguridad social. La ley sobre accidentes en el trabajo, promulgada en 1914, marcó un hito al establecer la responsabilidad

del empleador en los accidentes laborales y crear mecanismos de indemnización para los trabajadores (3). La OIT ha contribuido de forma permanente a los avances legislativos que ha tenido nuestro país a través de conferencias internacionales y recomendaciones.

La Ley n.º 5.032 (4) dice:

Establécese para los patronos, directores de construcciones, de establecimientos industriales o cualquier otro trabajo en donde exista peligro para los operarios, la obligación de tomar las medidas de seguridad para el personal, a fin de evitar accidentes del trabajo (§ 1).

En Uruguay, el principal organismo nacional encargado de la seguridad e higiene es el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS). La Inspección General del Trabajo y de la Seguridad Social (IGTSS) es responsable del control de las condiciones ambientales de trabajo y los aspectos legales.

El Decreto n.º 406/988 (5) de la Ley n.º 5.032 sobre prevención de accidentes del trabajo (4) establece las disposiciones sobre seguridad, higiene y salud ocupacional. El Decreto n.º 307/009 (6) establece los valores de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) como referencia en los ambientes laborales.

El Ministerio de Salud Pública (MSP) (7) vela por la salud de la población y, a través el Departamento de Salud Ocupacional, está a cargo de la vigilancia médica de los trabajadores. El MSP adopta los valores de la ACGIH a través de la Ordenanza n.º 145/009, donde se establecen los valores biológicos referenciales de exposición frente a contaminantes químicos.

En 1911, se creó por la Ley n.º 3.935 —y al amparo de la Constitución de la República, sección IX, capítulo I (9)— el Banco de Seguros del Estado (BSE) (8) con el objetivo de establecer la seguridad colectiva de toda la sociedad y ofrecer un respaldo sólido a las actividades productivas y comerciales del Uruguay de aquella época. La Ley n.º 16.426 de 1993 (10) dispuso la desmonopolización de los seguros, con la excepción de los seguros de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, así como las contrataciones en el Estado. Sumó una estructura operacional a la gestión técnica comercial mediante actividades de prevención, educación y formación, y así desarrolló su función de responsabilidad social hacia la comunidad.

En mayo de 2019, se inauguró el nuevo Hospital BSE (centro de asistencia y rehabilitación) con equipamiento de última generación. Es un

área de 16.500 m² y está ubicado en la avenida José Pedro Varela. Este centro de atención será de referencia nacional y cuenta con gimnasio, salas de terapia y piscinas especiales para la rehabilitación de los pacientes.

Referencias

1. Bestratén M. *Manual básico en seguridad en el trabajo*. Montevideo: MTSS; 1988.
2. Organización Internacional del Trabajo (OIT). *Condiciones de trabajo*. Disponible en: <https://www.ilo.org/es/oficina-de-actividades-para-los-empleadores/areas-de-trabajo/condiciones-de-trabajo>
3. Filgueira C, Papadópolos J. *El desarrollo de la seguridad social en Uruguay*. Montevideo: OIT-MTSS; 1997.
4. Accidentes de trabajo. Medidas de prevención. Ley n.º 5.032 de fecha 21/7/1914. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/5032-1914>
5. Reglamento de seguridad e higiene ocupacional. Decreto n.º 406/988 de fecha 3/6/1988. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-reglamento/406-1988>
6. Reglamentación para la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Decreto n.º 307/009 de fecha 3/7/2009. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/307-2009>
7. Ministerio de Salud Pública (MSP). Ordenanza n.º 145/009 de fecha 13/3/2009. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-salud-publica/institucional/normativa/ordenanza-n-145009-ordenanza-14509>
8. Banco de Seguros del Estado (BSE). Central de Servicios Médicos. Disponible en: <https://institucional.bse.com.uy/portal-institucional/institucional/#:~:text=El%2027%20de%20diciembre%20de,utilidades%20quedaran%20en%20el%20pa%C3%ADs>
9. Constitución de la República Oriental del Uruguay. 1967. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/constitucion/1967-1967>
10. Seguros. Ley n.º 16.426 de fecha 14/10/1993. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/16426-1993>

MANEJO SEGURO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

Las sustancias químicas o PQ son peligrosos para la salud de quienes lo utilizan en función de las **OPERACIONES** que se hacen con ellos, la **FORMA** en que se manipulan, las **CANTIDADES** que se manejan y las **PRECAUCIONES** que se toman. Miles de personas están expuestas a sustancias o PQ en su trabajo. Si la exposición no se evita ni se controla de forma adecuada, puede provocar graves enfermedades; a veces, incluso la muerte. También puede resultar en pérdida de ganancias, reducción de la productividad, juicios costosos, empresas demandadas y pago de bajas por enfermedad por parte del Estado (1).

La seguridad de los trabajadores, la mejora de las condiciones de trabajo y la salud están presentes en todas las acciones políticas como fundamental componente social y económico (2). En América Latina, el mercado de trabajo actual genera una dificultad extra para incorporar los conceptos de salud y seguridad por el desempleo, el empleo precario y la exclusión social en muchos casos.

Las alteraciones del ambiente generadas por el trabajo crean una serie de elementos que pueden dañar la salud, tales como factores mecánicos, agentes físicos, contaminantes químicos, factores biológicos y tensiones psicológicas o sociales. Todos ellos llevan a los siguientes riesgos profesionales: accidentes de trabajo, enfermedades profesionales, fatiga, insatisfacción, envejecimiento y desgaste prematuro (3).

Algunas definiciones clave

Se deben tener en cuenta dos conceptos: **PELIGRO Y RIESGO**. Ambos son muy utilizados, a veces en forma indistinta, pero son diferentes. El *Diccionario de la lengua española* define *peligro* como una situación en la que existe la posibilidad, amenaza u ocasión de que ocurra una desgracia o un contratiempo (16). Cuando se trabaja con PQ el peligro

está relacionado de forma directa con su toxicidad. El *riesgo* se define como la probabilidad de que ocurra un suceso en un determinado período. En prevención, las acciones y condiciones peligrosas se asocian a una situación de elevado riesgo y se toman como antecedentes inmediatos a un accidente (2).

Dicho de otro modo, la *peligrosidad* (sinónimo de *toxicidad* cuando se trata de una sustancia o producto químico) es el **POTENCIAL** de causar un efecto adverso. Hay que tener en cuenta que es una propiedad intrínseca de un agente y no se puede controlar. Por otra parte, el *riesgo* se define como la **PROBABILIDAD** de que el efecto adverso suceda y está determinada por las condiciones de trabajo (dosis, protección y susceptibilidad, entre otros). En estos casos sí es posible el control (prevención).

Otro concepto a tener en cuenta es la *exposición*, para la que se considera la cantidad, intensidad y frecuencia con que el PQ entra en contacto con los organismos vivos, órganos, tejidos o células. En definitiva, estos tres conceptos se relacionan del siguiente modo: $\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Exposición}$, donde el peligro estará determinado por las características del PQ (su toxicidad, órgano blanco, efecto, concentraciones) y la exposición —además de la experiencia— se puede determinar a través de la observación, cuestionarios y evaluaciones ambientales y biológicas.

En todas las áreas de trabajo o de la vida hay condiciones inseguras en que existe la posibilidad de un accidente con o sin lesión (caída, golpe, quemadura o similares) y actos seguros en que se toman medidas preventivas para no materializar el accidente o, en caso de que ocurran, que las consecuencias sean las mínimas posibles (4). Para determinar los riesgos asociados al uso de PQ se han de conocer las circunstancias y condiciones de uso que hacen posible el riesgo, es decir, los *factores de riesgo* (1, 2). Un ejemplo de estos puede ser que se produzcan reacciones químicas en que se deben tener en cuenta las posibles incompatibilidades, la presencia no controlada de subproductos y la falta de procedimientos de trabajo adecuados en operaciones peligrosas (toma de muestras, carga de aditivos), entre otros.

Muchas veces las condiciones de trabajo no pueden cambiarse, por ejemplo, el peligro a una condición intrínseca de estar expuesto a una sustancia inflamable o muy tóxica. Sin embargo, es posible trabajar en condiciones muy peligrosas si el riesgo es lo suficientemente bajo. Los factores fundamentales para evitar las *acciones inseguras* son

la capacitación de los trabajadores, los buenos procedimientos de trabajo y la colaboración de equipos multidisciplinarios en que los operarios participen de las decisiones, como se plantea en el Decreto n.º 291/007 sobre la obligatoriedad de comisiones bipartitas (17).

La oms ha definido a la salud ocupacional o salud en el trabajo como una actividad multidisciplinaria dirigida a promover y proteger la salud de los trabajadores mediante la prevención y el control de enfermedades y accidentes (18). La oit la define como una disciplina preventiva de las enfermedades profesionales mediante el control de la presencia de agentes nocivos en el ambiente laboral (5). Considera que la prevención es clave para mejorar la salud y seguridad en el trabajo y se ha planteado la importancia de lograr que las estrategias para evitar accidentes y enfermedades laborales sean reforzadas con un diálogo social que involucre a gobiernos y a organizaciones de empleadores y empleados.

Es **recomendable** hacer programas de prevención de accidentes y desarrollo de enfermedades profesionales que tengan como fin el control de PQ peligrosos para la salud (6) por los siguientes motivos:

- Proporciona un marco para proteger a las personas frente a riesgos para su salud que proceden de sustancias peligrosas usadas en el trabajo.
- Establece un enfoque paso a paso que identifica peligros, valora los riesgos derivados de ellos y decide qué medidas necesitamos tomar si estos son importantes.
- Fomenta una buena gestión.
- Puede producir muchos beneficios, tales como la mejora en la productividad y el ahorro económico.
- Ayuda a que los operarios alcancen un mejor entendimiento sobre la salud y seguridad.
- Mejora las relaciones laborales entre trabajadores y empresarios.

Un contaminante químico en el ambiente es una sustancia o PQ que se encuentra en una determinada concentración y cuya biodisponibilidad es capaz de producir efectos adversos a corto y largo plazo para los seres vivos expuestos a él.

Etapas para el manejo y control de sustancias químicas

Las etapas que se deben llevar a cabo para trabajar en forma segura con sustancias químicas son las siguientes (7, 8):

- Hacer la evaluación de riesgos para decidir qué precauciones son necesarias.
- Evitar o controlar la exposición.
- Asegurar que las medidas establecidas se usen y mantengan de manera apropiada.
- Monitorear la exposición y la salud.
- Garantizar que los empleados estén adecuadamente informados, formados y supervisados.

Evaluación de riesgos

IDENTIFICACIÓN

El primer paso para reducir el riesgo químico es la identificación de peligros, que a veces es muy sencilla. Podemos identificar olores, por ejemplo, pero muchas veces los contaminantes no se ven ni se perciben con facilidad, por lo que debemos indagar (4, 6, 8). Para que una persona decida asumir o no un riesgo, es importante que tenga un conocimiento sobre él lo más completo posible: cómo evitarlo, cómo reducirlo, cómo controlarlo y cuáles son sus efectos negativos. En el ambiente laboral existen mezclas de contaminantes químicos cuyos efectos pueden ser simples, aditivos o sinérgicos (tener efecto potenciador).

Los criterios de **PELIGROSIDAD** están directamente relacionados a la clasificación de los PQ (su **TOXICIDAD**).

- Riesgos fisicoquímicos: inflamabilidad, explosión, oxidación o combustión.
- Riesgos sobre la salud: tóxicos, cancerígenos, teratogénicos, mutagénicos, nocivos, irritantes, corrosivos, radiactivos o infecciosos.

- Riesgos para el medio ambiente: tóxico para organismos vivos, persistente en el ambiente o bioacumulable.

ETIQUETAS

La etiqueta es la herramienta elemental para mantener informado al usuario sobre la clasificación de la sustancia y las precauciones y medidas de seguridad más importantes (9, 10). Las etiquetas deben siempre aparecer pegadas al recipiente y las sustancias químicas escritas en ellas tienen que corresponder realmente con el contenido su envase. Por ello se recomienda que las sustancias químicas se mantengan en sus recipientes originales. No obstante, cuando un PQ ha sido trasvasado desde su envase original a otros, se debe asegurar que todos ellos lleven la etiqueta e información correspondiente. Existen clasificaciones en el ámbito internacional, regional y estatal, así como sistemas de etiquetado puestos en práctica y comprobados, entre ellos:

- Las *Recomendaciones sobre el transporte de mercancías peligrosas* de la Organización de las Naciones Unidas (12), ampliamente reconocidas e utilizadas por sus Estados miembros.
- El sistema de clasificación y etiquetado de la Unión Europea (UE), que se emplea más allá de sus países miembros.
- Distintos sistemas estatales en funcionamiento, como el de Canadá o Estados Unidos, han servido de modelos para otros países.
- Nuestro país, Uruguay, adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (GHS) (10) por el Decreto n.º 307/009 del MTSS (19).

El GHS es un acuerdo internacional establecido para llevar los diferentes sistemas de clasificación y etiquetado del mundo a uno solo. Cubre todas las sustancias peligrosas e incluye también preparados. Es un sistema de adopción voluntario para cada país. Ahora bien, aquellas compañías que se encuentran en países que no cumplen con este sistema podrían encontrarse en una situación más difícil y, por lo tanto, en desventaja en el mercado internacional.

La información requerida en las etiquetas según el GHS (13) incluye:

- Símbolos o pictogramas con información sobre el peligro para la salud física y medioambiental, asignados por el GHS a una clasificación y categoría. Los pictogramas incluyen los símbolos del peligro armonizados y otros elementos gráficos, tales como

patrones de fondo o colores, con el objetivo de proporcionar información adicional.

Figura 1. Pictogramas de peligro



Fuente: GHS (10).

- Palabras de advertencia como *peligro* o *atención* serán utilizadas para enfatizar los peligros e indicar el nivel relativo de peligrosidad asignado a una categoría y clase dentro del GHS. Algunas clasificaciones de peligro menores no utilizan estas palabras clave. Solo una palabra clave, que corresponda con el nivel más severo de peligrosidad, debe ser usada en la etiqueta.
- Frases de peligro estándar que se asignan a una clasificación y categoría que describe la naturaleza del peligro. Una frase apropiada del GHS debería ser incluida en la etiqueta para cada peligro.
- Frases de precaución con medidas para minimizar o prevenir los efectos adversos.
- Identificación del producto en la etiqueta. Debe incluir su nombre y número utilizado para una sustancia peligrosa (o fichas de datos de seguridad [FDS]) y la identificación del proveedor (nombre, dirección, teléfono).
- Información complementaria.

FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

El GHS de clasificación y etiquetado de sustancias químicas establece la necesidad de disponer de FDS para los materiales y productos presentes en los lugares de trabajo. Las FDS deben estar disponibles dentro de la empresa para cada una de las sustancias que hayan sido clasificadas como peligrosas o para preparados (productos) que contengan cualquier sustancia peligrosa como componente (10, 11, 12). Las FDS se publican bajo distintos nombres:

- Fichas internacionales de datos de seguridad (FIDS).
- Fichas toxicológicas de sustancias químicas.
- Fichas de datos de seguridad de materiales y productos químicos.
- Hoja de datos de seguridad del material (MSDS, por sus siglas en inglés *material safety data sheets*).

Las fichas de datos validadas sobre sustancias puras están, por ejemplo, disponibles en el Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS) (20) o en instituciones estatales, como el Centro Canadiense para la Salud y Seguridad en el Trabajo (21). Estas pueden ser fuentes básicas de información para el trabajador.

Contenidos de las fichas

Según el GHS (13), la información de la FDS deberá presentarse siguiendo los dieciséis puntos siguientes en orden:

1. **IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO.** Determina la sustancia o mezcla, indicando el nombre del proveedor, los usos recomendados y la información de contacto, incluido un número de teléfono localizable en caso de emergencia.
2. **IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO O PELIGROS.** Describe los peligros de la sustancia o mezcla y la información cautelar apropiada (palabras de advertencia, indicaciones de peligro, consejos de prudencia) asociada a ellos.
3. **COMPOSICIÓN O INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES.** Identifica el o los componentes del producto. Debe señalar las impurezas y los aditivos estabilizadores que estén, a su vez, clasificados y que contribuyan a la clasificación general de la sustancia. También puede usarse para facilitar información sobre sustancias complejas.

4. **PRIMEROS AUXILIOS.** Describe los primeros auxilios que una persona no formada puede dispensar sin utilizar equipo perfeccionado y sin disponer de una amplia selección de medicamentos. Si se necesita atención médica, debe indicarse en las instrucciones y precisar en qué medida es urgente. Puede ser útil dar información sobre los efectos inmediatos por vía de exposición e indicar el tratamiento inmediato, así como los posibles efectos retardados y la vigilancia médica específica que se requiere.
5. **MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS.** Refiere a las medidas que se han de tomar para luchar contra un incendio causado por la sustancia o mezcla o que se produce en su entorno.
6. **MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL.** Recomendación de las medidas que se deben tomar en caso de vertidos, fugas o pérdidas, con el fin de prevenir o reducir al máximo los efectos adversos sobre las personas, los bienes y el medio ambiente. Se considerarán por separado las medidas de intervención en función del volumen del vertido (grande o pequeño) cuando este influya de manera apreciable en la magnitud del peligro que se presente. Los procedimientos de aislamiento y recuperación pueden tener prácticas diferentes.
7. **MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO.** Ofrece indicaciones sobre prácticas seguras de manipulación que reduzcan al mínimo los peligros potenciales que presenta la sustancia o mezcla para las personas, los bienes y el medio ambiente. Debe hacer hincapié en las precauciones que se han de tomar en función del uso previsto y de las propiedades específicas de la sustancia o mezcla.
8. **CONTROLES DE EXPOSICIÓN O PROTECCIÓN PERSONAL.** Además, a los efectos de este anexo, por *control de la exposición* se entiende toda la gama de medidas específicas de protección y prevención que deben tomarse durante la utilización, con el fin de reducir al mínimo la exposición a la que están sometidos los trabajadores y el medio ambiente.
9. **PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.** Indica, si es posible, los datos obtenidos de forma empírica correspondientes a la sustancia o mezcla.
10. **ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD.** Describe los peligros de reactividad de la sustancia o mezcla. Habrá que facilitar los datos de los ensayos específicos de la sustancia o de la mezcla en su conjunto.

cuando existan. No obstante, la información también puede basarse en datos genéricos sobre la clase o familia a la que pertenece la sustancia o mezcla, si esos datos representan de manera adecuada su peligro previsto.

11. **INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA.** Esta sección es utilizada sobre todo por profesionales de la medicina, especialistas en higiene y seguridad, y toxicólogos. En ella debería figurar una descripción concisa —pero completa y comprensible— de los diversos efectos toxicológicos (relacionados con la salud) y los datos disponibles para identificar sus efectos.
12. **INFORMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA.** Brinda información para evaluar el impacto medioambiental de la sustancia o mezcla si se libera en el medio ambiente. Esa información puede ayudar a enfrentarse con los vertidos y a evaluar el tratamiento de desechos. Debería indicar de manera clara las especies, medios, unidades, duración y condiciones de los ensayos.
13. **INFORMACIÓN RELATIVA A LA ELIMINACIÓN DE LOS PRODUCTOS.** Brinda información sobre la eliminación, el reciclado o la recuperación adecuados de la sustancia, mezcla o su recipiente para determinar las mejores opciones de gestión de los residuos en lo que atañe a la seguridad y al medio ambiente (de conformidad con lo dispuesto por la autoridad nacional competente).
14. **INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE.** Proporciona información básica sobre la clasificación para el transporte o la expedición de una sustancia o mezcla peligrosa por carretera, ferrocarril, mar o aire. Cuando no se disponga de información que sea pertinente, habrá que indicarlo.
15. **INFORMACIÓN SOBRE LA REGLAMENTACIÓN.** Facilita cualquier otra información reglamentaria sobre la sustancia o mezcla que no figure en ninguna otra parte de la FDS (por ejemplo, si la sustancia o mezcla está sometida al Protocolo de Montreal, el Convenio de Estocolmo o el Convenio de Róterdam).
16. **OTRAS INFORMACIONES.** Proporciona cualquier información pertinente para la preparación de las FDS. Trata de incorporar otra información que no figure en las secciones 1 a 15, incluidos los datos sobre la preparación y la revisión de las fichas.

ALMACENAMIENTO

Los PQ no se pueden almacenar de cualquier manera; hay que tener en cuenta la forma de presentación, cantidades e incompatibilidades, entre otros. Tampoco está permitido el almacenamiento conjunto de productos que requieran agentes de extinción incompatibles con alguno de ellos.

Cuadro 1. Incompatibilidades de almacenamiento de agentes químicos

	Inflamable	Explosivo	Tóxico	Radiactivo	Comburente	Nocivo	Corrosivo
Inflamable	+	–	–	–	–	+	0
Explosivo	–	+	–	–	–	–	–
Tóxico	–	–	+	–	–	+	+
Radiactivo	–	–	–	+	–	–	–
Comburente	–	–	–	–	+	0	–
Nocivo	+	–	+	–	0	+	+
Corrosivo	0	–	+	–	–	+	+

Referencias:

+ Se pueden almacenar conjuntamente.

0 Solamente podrán almacenarse juntas si se adoptan ciertas medidas específicas de prevención.

– No deben almacenarse juntas.

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), pp. 3-4 (14).

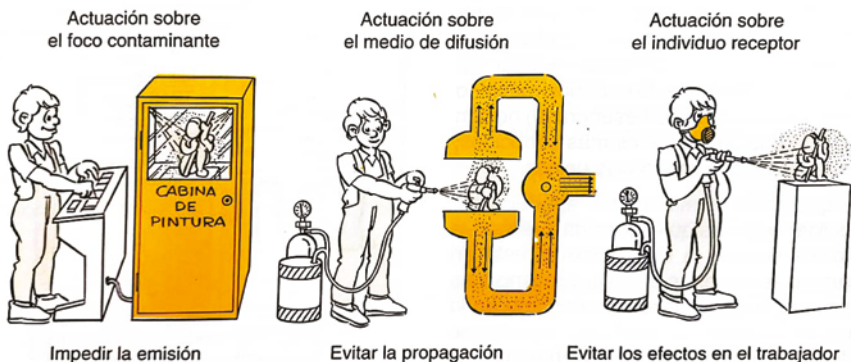
Evitar o controlar la exposición

Una vez que se conocen los peligros y se hace la evaluación de los riesgos, la segunda etapa es la búsqueda de evitar o controlar la exposición en los puestos de trabajo. Para ello debemos tener en cuenta temas como la organización y el ritmo de avance, los accidentes en el transporte, la manipulación, las precauciones para el trasvase, el almacenamiento de PQ y el transporte interno.

Se precisan procedimientos escritos, mucha capacitación de los operarios y sistemas de control de contaminantes ambientales en que se aplique la tecnología con el fin de reducirlos tanto en el ambiente como en la exposición a los trabajadores (15).

- Ventilación general.
- Extracción localizada.
- Renovación del aire.
- Campanas.

Figura 2. Métodos de control de exposición



Fuente: INSHT (15).

- Elementos de actuación y protección. Son dos conceptos parecidos, pero muy diferentes. En caso de accidente, si el operario está debidamente protegido, **no** evita el accidente, pero sí disminuye las posibles consecuencias. Los elementos de actuación se utilizan en caso de que el accidente se produzca.
 - **ELEMENTOS DE ACTUACIÓN:** ducha de seguridad, fuente lavajos, extintores, mantas ignífugas.
 - **ELEMENTOS DE PROTECCIÓN:** para ojos, cara, cabeza, manos, sistema respiratorio, pies y oídos.
- Señalización (9). Hay cuatro colores básicos que se utilizan.
 - **Rojo:** para las señales de parada, prohibición, dispositivos de desconexión de emergencia, equipo y lucha contra incendios.
 - **AMARILLO:** como advertencia y señalización de riesgos, obstáculos y zonas de paso con peligro.
 - **VERDE:** información de condición segura, situación de seguridad o primeros auxilios (pasillo y salidas de emergencia, duchas de seguridad, puestos de primeros auxilios). Para los botiquines de estos últimos es común verlos de rojo y blanco, como se utilizaron durante la guerra con la Cruz Roja. Por lo general, se aceptan, aunque el color de la norma indica verde y blanco.
 - **AZUL:** se utiliza para las señales de obligación, por ejemplo, con la utilización de los equipos de protección auditivos en ambientes laborales donde hay ruido por encima del valor permitido.

Asegurar que se usen y mantengan de forma apropiada las medidas de control

Se debe garantizar el uso apropiado de las medidas de control y que los operarios informen de defectos que puedan encontrar en estas medidas. Es de vital importancia la **capacitación**; informar, instruir y formar a todo el personal. La información es fundamental para reducir el riesgo químico.

Figura 3. Informar para reducir el riesgo químico



Fuente: elaboración propia.

Los operarios deben tener clara la naturaleza de las sustancias con las que trabajan y sus riesgos. Asimismo, han de considerar las precauciones que se deben tomar durante la jornada. La empresa tiene que proporcionar información e instrucciones sobre las medidas de control (su propósito y cómo ponerlas en práctica), cómo usar los equipos de protección personal y su apropiado mantenimiento. Debe brindar información acerca de los resultados de controles de exposición y de la vigilancia de la salud, así como capacitar y explicar en forma clara los procedimientos de emergencia.

Evaluación de la exposición

Este cuarto paso es tan importante como cada uno de los anteriores. La forma de evaluar la exposición a PQ es **midiendo** los contaminantes en el aire y, en el caso de algunos contaminantes químicos, sus metabolitos en fluidos biológicos.

La higiene y toxicología industrial (concepto que se desarrollará más adelante) involucra la medición y evaluación de agentes contaminantes en los ambientes de trabajo. Determina la exposición comparándola con estándares apropiados.

Se debe **garantizar** que los empleados estén informados, formados y supervisados de manera adecuada. Para ello, se recomienda desarrollar un *programa* completo sobre prevención de riesgos que incluya aquellos pertenecientes a la química. También se puede desarrollar un *programa* de comunicación de riesgos. La información, los documentos y los registros forman parte del *Sistema de Protección de la Salud - Registro de Medidas*.

Referencias

1. FREMAP. *Manual de higiene industrial*. 2.^a edición. Madrid: Fundación Mapfre; 2015. Disponible en: <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/151999.do>
2. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Manual de seguridad en el trabajo*. Madrid: INSHT; 2011. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/599872/Seguridad+en+el+trabajo/e34d1558-fed9-4830-a8e3-b0678c433bb1>
3. Rial N. Mujer, salud y seguridad en el trabajo. En Superintendencia de Riesgos de Trabajo (SRT). *Semana Argentina de la Salud y Seguridad en el Trabajo*. Buenos Aires: SRT; 2004. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/i_semana_argentina_2004.pdf
4. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Evaluación y prevención de riesgos asociados a productos químicos*. Disponible en: <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-studocu-uruguay/spyh/insht-evaluacion-de-riesgos-laborales/102205738>
5. Organización Internacional del Trabajo (OIT). *Condiciones de trabajo*. Disponible en: <https://www.ilo.org/es/oficina-de-actividades-para-los-empleadores/areas-de-trabajo/condiciones-de-trabajo>

6. Fundación Laboral Internacional para el Desarrollo Sostenible (Sustainlabour). *Manual de manejo de productos químicos*. Montevideo: PIT-CNT; 2012. Disponible en: https://viejo.unter.org.ar/imagenes/SL-PIT-CNT_manual_quimicos.pdf
7. Health and Safety Executive (HSE). *Managing risks and risk assessment at work*. Disponible en: <https://www.hse.gov.uk/simple-health-safety/risk/steps-needed-to-manage-risk.htm>
8. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo*. Madrid: INSST; 2001. Disponible en: <https://www.insst.es/noticias-insst/guia-tecnica-para-la-evaluacion-y-prevencion-de-los-riesgos-relacionados-con-agentes-quimicos-ano-2022>
9. Banco de Seguros del Estado (BSE). *Color y señalización en la industria*. Montevideo: BSE; 1980. Disponible en: <https://archive.org/details/sen-alizacion-y-colores-en-la-industria-bse-1980>
10. Sistema Globalmente Armonizado (GHS). Disponible en: <http://ghs-sga.com/>
11. International Programme on Chemical Safety (IPCS). *Users' manual for the IPCS health and safety guides*. Ginebra: OMS; 1996. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/hsg/hsg/hsgguide.htm>
12. Organización de las Naciones Unidas (ONU). *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. Model Regulations*. 12.ª edición. Ginebra: ONU; 2001. Disponible en: http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/12_e.html
13. Sistema Globalmente Armonizado (GHS). *Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos*. 7.ª edición. Nueva York: ONU; 2017. Disponible en: <https://unece.org/ghs-1st-edition-2003>
14. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). *NTP 725. Seguridad en el laboratorio: almacenamiento de productos químicos*. Madrid: INSST; 2006. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/21-serie-ntp-numeros-716-a-750-ano-2006/ntp-725-seguridad-en-el-laboratorio-almacenamiento-de-productos-quimicos>
15. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Higiene industrial*. Barcelona: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; 1998.
16. Real Academia Española (RAE), Asociación de Academias de la Lengua Española (Asale). Peligro. En *Diccionario de la lengua española*. 23.ª edición [en línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/peligro>
17. Reglamentación del convenio internacional del trabajo n.º 155 sobre prevención y protección contra riesgos derivados de cualquier actividad. Decreto n.º 291/007 de fecha 13/8/2007. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/291-2007>

18. Federación de Empleadas y Empleados de los Servicios Públicos de la Unión General de Trabajadores (FESP-UGT). ¿Qué es la salud laboral? Disponible en: <https://saludlaboralydiscapacidad.org/salud-laboral/que-es/>
19. Reglamentación para la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Decreto n.º 307/009 de fecha 3/7/2009. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/307-2009>
20. Organización Mundial de la Salud (OMS). *Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPCS)*. Disponible en: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/192135/EB95_29_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
21. Centro Canadiense para la Salud y Seguridad en el Trabajo (CCOSH). Disponible en: www.ccohs.ca

GENERALIDADES DE LA TOXICOLOGÍA

Etimológicamente, la toxicología es la ciencia que estudia los venenos. Procede del griego *toxikón*, que significa 'veneno'. La toxicología se define como la ciencia que estudia las sustancias químicas, los fenómenos físicos y, considerando que pueden ser capaces de producir alteraciones patológicas en los seres vivos, los mecanismos de producción de estas alteraciones y los medios para contrarrestarlas, así como la metodología para detectar, identificar, cuantificar y valorar el grado de toxicidad de tales agentes. En forma resumida, se puede definir como la ciencia que estudia los efectos adversos que pueden producir los PQ, agentes físicos y biológicos que entran en contacto con los seres humanos (1, 2). Dicho de otro modo, la toxicología es prevención.

A continuación, se exponen sus ramas o subdisciplinas (3):

- **TOXICOLOGÍA AMBIENTAL.** Estudia las sustancias químicas que contaminan los alimentos, el agua, el suelo o la atmósfera. También aborda las sustancias tóxicas que ingresan a masas de agua como lagos, arroyos, ríos y océanos. Esta subdisciplina estudia la forma en que las plantas, animales y seres humanos son afectados por la exposición a las sustancias tóxicas.
- **TOXICOLOGÍA OCUPACIONAL O INDUSTRIAL.** Analiza los efectos en la salud que tiene la exposición a las sustancias químicas en el lugar de trabajo. Este campo surgió de la necesidad de proteger a los trabajadores de las sustancias tóxicas y eliminar los riesgos en sus espacios de trabajo. Las enfermedades ocupacionales producidas por sustancias químicas industriales causan aproximadamente entre 50.000 y 70.000 muertes y hay 350.000 casos nuevos de enfermedades en Estados Unidos cada año.
- **TOXICOLOGÍA REGLAMENTARIA.** Reúne y evalúa la información toxicológica existente para establecer normas de exposición *sin*

riesgos sobre la base de las concentraciones de elementos que contienen, se descomponen o se agregan a los alimentos.

- **TOXICOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS.** Aborda el abastecimiento al consumidor de alimentos seguros y comestibles. Durante el procesamiento se agregan diferentes sustancias a los alimentos para mejorar su apariencia, sabor o aroma mediante la incorporación de grasas, aceites, azúcares, almidones y otras sustancias. Todos estos aditivos se estudian con el objetivo de determinar si producen efectos perjudiciales y qué cantidad se necesita para que ello suceda. Un segundo ámbito de interés es el de las alergias a los alimentos. Casi el 30 % de los estadounidenses padece algún tipo de estas alergias (por ejemplo, problemas para digerir la leche). Además, se aplican sustancias tóxicas (pesticidas) a cultivos de alimentos en el campo, mientras que el plomo, el arsénico y el cadmio (que están naturalmente presentes en los suelos y el agua) son absorbidos por las plantas. Los toxicólogos deben determinar el nivel de ingesta diaria admisible para estas sustancias.
- **TOXICOLOGÍA CLÍNICA.** Analiza enfermedades y afecciones relacionadas con la exposición a sustancias químicas tóxicas a corto y largo plazo. Los toxicólogos clínicos incluyen médicos de la sala de emergencias que, con el fin de administrar el tratamiento apropiado, deben conocer a fondo los síntomas producidos por la exposición a una gama amplia de sustancias tóxicas.
- **TOXICOLOGÍA DESCRIPTIVA.** Recolecta información toxicológica a partir de la experimentación en animales. Estos tipos de experimentos se usan para establecer la cantidad de una sustancia química que puede producir una enfermedad o la muerte. En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) utilizan la información proveniente de estos estudios para establecer los límites que regulan las exposiciones.
- **TOXICOLOGÍA FORENSE.** Emplea métodos para ayudar a establecer relaciones entre la exposición a un medicamento o a una sustancia química y los efectos tóxicos o mortales que causa esa exposición.

- **TOXICOLOGÍA ANALÍTICA.** Identifica la sustancia tóxica a través del análisis de los líquidos corporales, el contenido estomacal, los excrementos o la piel.
- **TOXICOLOGÍA MECANICISTA.** Elabora observaciones sobre la manera en que actúan las sustancias tóxicas. Los efectos de la exposición dependen de diferentes factores, como el tamaño de la molécula, el tipo de tejido específico, los componentes celulares afectados o si la sustancia se disuelve con facilidad en agua o en los tejidos grasos. Estos aspectos son importantes cuando se trata de determinar la manera en que una sustancia tóxica es nociva y sirven para determinar si la manifestación de los efectos observados en los animales se puede presentar en los seres humanos.

Concepto y clasificación de las sustancias tóxicas

Todas las sustancias son tóxicas;
es la dosis correcta la que diferencia
un remedio de un veneno.

Paracelso (1493-1541)

La mayor parte de las sustancias químicas o agentes tóxicos o nocivos para la salud son sustancias exógenas conocidas como *xenobióticos*. Este término es definido como toda sustancia química que, introducida en el organismo y absorbida por este, provoca efectos considerados adversos para el sistema biológico (1, 4).

Una sustancia tóxica es aquella que al ponerse en contacto con el organismo humano puede provocar, de acuerdo con la dosis absorbida, un efecto adverso o una enfermedad o alteración del estado normal de salud durante la vida laboral o en un plazo lejano de la presente y futura generación. Para su diagnóstico se emplean métodos actualizados de investigación.

En términos generales, prácticamente todas las sustancias químicas pueden ser consideradas como tóxicas, ya que la toxicidad no viene dada solo por la naturaleza fisicoquímica intrínseca de la sustancia, sino también por la posibilidad de que esta se ponga en contacto con el organismo humano y por la dosis mínima que provoca un efecto adverso específico al ser absorbida por él.

Se utilizan diversos criterios para clasificar las sustancias (5, 6, 7).

A. Dosis letal y concentración letal

La oms adopta una clasificación que se basa en la dosis letal media (DL_{50}) aguda por vía oral o dérmica de las ratas, según sea la forma de comercialización el producto formulado (sólida o líquida).

Cuadro 2. Clasificación de la dosis letal media de la Organización Mundial de la Salud

Dosis letal media oral (ratas)		
Clasificación	Descripción	Dosis (mg/kg)
IA	Muy tóxico	< 5
IB	Altamente tóxico	5-50
II	Moderadamente tóxico	50-500
III	Poco tóxico	> 500

Fuente: oms (5).

La DL_{50} (50 %) oral aguda es la «cantidad de una sustancia que es necesario ingerir de una sola vez para producir la muerte del 50 % de los animales en ensayo» (5). Por lo general, esta dosis se expresa en peso de sustancia sobre peso del animal vivo ensayado (mg/kg).

También se utiliza la concentración letal media (CL_{50}) como la concentración de una sustancia de la que puede esperarse que produzca la muerte durante la exposición del 50 % de los animales expuestos a ella en un período determinado. Su valor se expresa en peso de sustancia sobre unidad de volumen de aire normal (mg/L).

B. Acción tóxica principal

Las sustancias químicas también pueden clasificarse según la forma de acción biológica más importante en el organismo humano. Puede hacerse tomando como elementos centrales la concentración del agente químico en el aire, el tiempo de exposición a la sustancia, el estado físico del contaminante, su solubilidad (hidro- y liposolubilidad), la afinidad del agente químico con moléculas orgánicas y la susceptibilidad individual.

- Irritantes: Los que ejercen acción inflamatoria en las mucosas de las vías respiratorias por contacto directo.
 - Primarios: Los de acción local inmediata después de la inhalación (amoníaco, cloruro de hidrógeno, halógenos).

- Secundarios: Los que, además de ejercer acción local, producen acción sistémica (sulfuro de hidrógeno, fosfina).
- Asfixiantes: Los que impiden el aporte de oxígeno a los tejidos sin interferir con el mecanismo de la ventilación pulmonar.
 - Simples o mecánicos: Los que, siendo fisiológicamente inertes, impiden el aporte de oxígeno mediante su desplazamiento o la reducción de su concentración en el aire (acetileno, nitrógeno, metano).
 - Bioquímicos: Los que provocan la asfixia al evitar el transporte eficiente de oxígeno en el torrente sanguíneo o al impedir su utilización normal por los tejidos (monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno, anilina).
- Anestésicos y narcóticos: Los que actúan como depresores del sistema nervioso central (SNC) (hidrocarburos alifáticos, alcoholes, éteres).
- Tóxicos sistémicos: Los que se distribuyen por el organismo y actúan en más de un órgano o tejido específico.
 - Agentes hepatotóxicos (cloroformo, tetracloruro de carbono, cloro acetaldehído).
 - Agentes nefrotóxicos (hidrocarburos policíclicos, cadmio, cloroformo).
 - Agentes neurotóxicos (disulfuro de carbono, manganeso, mercurio).
 - Agentes con acción a nivel sanguíneo o sistema hematopoyético (benceno, nitritos, anilina).
 - Neumoconióticos: Los que penetran, se depositan en los pulmones y provocan neumopatías fibróticas o simple acumulación.
 - Carcinógenos: Los que son capaces de inducir proliferación celular desordenada (asbesto, compuestos de cromo [vi], bencidina).
 - Teratógenos: Los que provocan malformaciones en la descendencia (dioxinas, plomo, iperita [gas mostaza]).
 - Mutágenos: Los que actúan sobre el material genético y provocan alteraciones hereditarias (etilenimina, 3,4-benzopireno).
 - Alergenos: Los que desencadenan reacciones descontroladas de tipo antígeno-anticuerpo (isocianatos, fibras de algodón, polvos de ciertas maderas).

Esta forma de clasificación tiene el problema de que resulta poco definida, ya que una misma sustancia puede presentar una combinación más o menos compleja de tipos importantes de acción biológica. Por tanto, estaría situada en más de un grupo o clase a la vez.

C. Sustancias orgánicas e inorgánicas

Otra forma de clasificación sería según la naturaleza química de la sustancia y las determinaciones analíticas correspondientes: inorgánicas (ácidos, bases, sales, etcétera) u orgánicas (hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, etcétera).

Esta es una forma bastante general de clasificación y tiene utilidad práctica para el químico solo cuando se pretende la identificación de un método de ensayo genérico adecuado para la determinación analítica de la sustancia en cuestión.

D. Estado de agregación

En higiene industrial se utiliza otra clasificación, según como se presente la sustancia en el aire; es decir, de acuerdo con el estado de agregación de la sustancia presente en el aire del medio laboral y en función del tipo específico de muestras ambientales a tomar (8). Las sustancias tóxicas se subdividen en las clases siguientes:

- **Sustancias gaseosas:** Las que se encuentran dispersas en el aire en estado gaseoso.
 - **GASES:** Aquellos cuyo estado de agregación fundamental es el gaseoso en las condiciones ambientales de temperatura y presión (dióxido de azufre, cloruro de hidrógeno, amoníaco).
 - **VAPORES:** Aquellos cuyo estado principal de agregación no es el gaseoso, sino el líquido o el sólido (benceno, alcohol metílico, yodo).
- **Aerosoles:** Se definen como sistemas dispersos de partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Estos se clasifican, a su vez, según la naturaleza física de las partículas, de su grado de dispersión por tamaños y formas y del procedimiento de generación del aerosol, de la forma siguiente:

- **POLVOS:** Los que se producen de manera mecánica por choque, trituración, desintegración o detonación de diversos materiales y productos durante su producción, empleo, manipulación, transportación o almacenamiento. Estas partículas se mantienen suspendidas por períodos más o menos prolongados en el aire (polvos minerales que contienen dióxido de silicio libre, asbesto).
- **HUMOS:** Los que se generan por procesos tales como la combustión incompleta, destilación, calcinación, sublimación, reacciones químicas y condensación al estado sólido del gaseoso. Los llamados *smokes*, en particular, son aerosoles sólidos de este tipo, pero su fuente de generación es la combustión incompleta de materiales como el carbón, aceite, tabaco y madera, y sus diámetros de partículas son en general del orden de 0,3 mm a 0,5 mm. Los humos metálicos son también aerosoles sólidos formados específicamente por partículas procedentes de la condensación del estado gaseoso a partir de la volatilización o sublimación de metales y se presentan, en su mayoría, en forma de óxidos.
- **NIEBLAS:** Las que se generan por condensación directa del estado gaseoso o de forma mecánica en procesos de rociado, salpicaduras, atomización o formación de espuma, entre otros. Conforman un grupo importante de aerosoles líquidos (nieblas de ácido sulfúrico, de aceites minerales).

Generalidades de la toxicocinética y toxicodinamia de sustancias químicas

La toxicocinética es el término más general aplicado al estudio de la trayectoria de las sustancias xenobióticas desde su primer contacto con el organismo hasta su eliminación, que incluye las fases de absorción, distribución, metabolismo y excreción. Determina la relación entre la dosis que ingresa y la concentración en la sangre y en otros medios biológicos (1, 9). La toxicodinámica, por su parte, es la rama de la toxicología que estudia la relación entre la dosis que penetra en el organismo y la respuesta medida.

Existen muchas sustancias utilizadas hoy en día en las actividades laborales que no han sido suficientemente estudiadas y de las que se

desconocen sus mecanismos fundamentales de acción. Este punto se trata de justificar planteando la acelerada incorporación de nuevos productos a la industria, los pocos especialistas e instituciones dedicados a estos fines, el costo y el tiempo de duración de las investigaciones, entre otros, cuando la realidad es que se prioriza la producción ante la salud del trabajador.

Ingreso al organismo

Las vías de ingreso al organismo de las sustancias químicas son diversas, pero las más importantes son la respiratoria, la cutánea y la digestiva.

La **vía inhalatoria** o **respiratoria** es la vía fundamental desde el punto de vista higiénico ambiental por varias razones. Es muy peligrosa cuando existe exposición por su permeabilidad y riqueza en vascularización, lo que por lo general permite una rápida y eficiente absorción. Además, hay que tener en cuenta que el contaminante puede alcanzar centros vitales del organismo sin la obligación de pasar por el sistema hepático.

El estado físico de los agentes químicos más comunes dispersos en el aire del ambiente laboral favorecen el ingreso por esta vía, que es de fácil acceso y rápida. Los pulmones tienen una extensa área de contacto, representada por el aparato respiratorio en su conjunto (alrededor de 90 m²) y, en específico, donde se produce el proceso de respiración, es decir, el intercambio de gases entre el torrente sanguíneo y el medio externo. Esta última zona es la de mayor efectividad de absorción de las sustancias químicas, pues la superficie total de la membrana interfásica pulmonar es de 70 m² (superficie total de la membrana que cubre los alvéolos pulmonares). En el organismo en reposo, el flujo ventilatorio pulmonar es de entre 5 L/min y 6 L/min, y puede alcanzar hasta 30 L/min en dependencia de la actividad y el esfuerzo físico.

La **vía dérmica** incluye, además de la piel, el conjunto de membranas mucosas y semimucosas tales como los labios, conjuntiva, canal auditivo externo, mucosa gingival y bucal, entre otros. La piel, en particular, es una superficie de contacto permeable a un gran número de sustancias químicas, en especial a aquellas que tienen un acentuado carácter liposoluble y que logran difundirse en el interior del organismo a través de los folículos pilosebáceos.

También es importante cuando las sustancias pueden penetrar a través de la piel dañada o de manera accidental. Por ejemplo, en áreas de producción de descarga de PQ, si el operario está lastimado con una herida abierta y tiene contacto con el polvo activo, se puede considerar una entrada directa al torrente sanguíneo y producir efectos no deseados en el organismo. Esta vía de ingreso se llama parenteral.

La **vía digestiva**, en la generalidad de los casos, tiene porcentajes de absorción mucho menores que en los pulmones o la piel. Además, esta vía de entrada es poco frecuente en el medio laboral y solo merece importancia cuando no se observan de manera adecuada los hábitos higiénicos elementales en el trabajo diario, como, por ejemplo, al ingerir alimentos o infusiones en las áreas contaminadas.

Trayectoria dentro del organismo

Cuando las sustancias penetran en el organismo, atraviesan las membranas biológicas, alcanzan el torrente sanguíneo (proceso de absorción) y se distribuyen a través de él (proceso de distribución) a los sitios donde van a depositarse (proceso de acumulación) o ejercer sus acciones específicas. Los sitios de acción pueden ser muy variados, así como las transformaciones que pueden ocurrir en ellos (procesos metabólicos) y las alteraciones producidas en los órganos o sistemas (efectos).

La **absorción** de las sustancias en el organismo depende fundamentalmente de algunos factores como la solubilidad (lipo- o hidrosolubilidad) en los fluidos biológicos. Los compuestos liposolubles atraviesan con rapidez las membranas celulares, mientras que los de baja liposolubilidad lo hacen con bastante dificultad. El grado de ionización también influye en la absorción. Las membranas biológicas son permeables a las formas no ionizadas de las moléculas y relativamente impermeables a las ionizadas.

Otro factor es el tamaño y forma de la molécula. Las grandes encuentran mayores dificultades para atravesar las membranas, por lo que estas se convierten en verdaderos tamices moleculares. En cuanto a la forma, las esféricas son las que presentan mayor facilidad para atravesar las membranas.

La **distribución** por el organismo de los contaminantes ambientales (una vez absorbidos) es a través de la sangre. El transporte mediante las membranas celulares en los diferentes órganos y tejidos se produce, para la mayor parte de las sustancias, por simple difusión o

mediante filtración a través de poros existentes en las membranas. La distribución de los agentes tóxicos en el organismo está condicionada por múltiples factores. Los más importantes son los siguientes:

- Solubilidad de la sustancia (hidrosolubilidad y liposolubilidad).
- Grado de ionización.
- Afinidad química de la sustancia con las moléculas orgánicas.
- Grado de vascularización de las diferentes áreas del organismo.
- Composición acuosa y lipídica de los órganos y tejidos.
- Capacidad de biotransformación del organismo.
- Estado orgánico (existencia o ausencia de lesiones).

La **acumulación** se produce en el propio sitio de acción o en otros sitios específicos (huesos o tejido graso, por ejemplo). También puede suceder que los agentes sean transportados directamente a órganos capaces de biotransformarlos y eliminarlos.

Algunas sustancias se acumulan en los huesos, como es el caso del plomo, el estroncio, los fluoruros y el uranio; en la grasa, como el DDT y los PCB (bifenilos policlorados), mientras que otros lo hacen en el hígado o los riñones. La repetición de la exposición a sustancias no acumulativas igualmente causa efectos crónicos.

La **biotransformación** de estas sustancias tóxicas puede dar lugar a dos tipos de procesos:

1. Reacciones de degradación (hidrólisis, oxidación y reducción).
2. Reacciones de conjugación (acética, con aminoácidos, con compuestos sulfurados, glucorónica, de alquilación).

Todas ellas tienen como finalidad la formación de metabolitos más hidrófilos (es decir, más solubles en los medios acuosos de excreción). Los procesos de biotransformación de los PQ (conocidos habitualmente como *metabolismo* o *procesos metabólicos*) pueden ser muy variados y, por lo general, conducen a la inactivación de dichos compuestos. No obstante, en algunos casos ocurre todo lo contrario: como resultado de la biotransformación se producen productos aun más tóxicos, como es el caso de la intoxicación con metanol o hexano.

El hígado es el órgano principal implicado en la biotransformación, pues en él ocurren la mayoría de los procesos de oxidación de los agentes tóxicos. Los efectos principales producidos por las sustancias tóxicas en los procesos de biotransformación se clasifican, de manera general, en:

- Efectos locales, que ocurren en el lugar del cuerpo expuesto al agente tóxico y producen efectos irritantes de piel y mucosas (cloro, amoníaco y formaldehído).
- Efectos sistémicos, en que las sustancias pueden interferir en diferentes procesos biológicos o en un órgano. Son sustancias no altamente reactivas que se absorben, distribuyen y causan daño en uno o varios órganos o tejidos diferentes al sitio de absorción.

De manera general, las intoxicaciones pueden ser de dos tipos: agudo y crónico. Las intoxicaciones agudas se presentan como producto de altas exposiciones durante períodos relativamente cortos (cefaleas y mareos por vapores de solventes, inflamación de la piel por contacto con irritante). Por el contrario, las crónicas ocurren por exposiciones moderadas, pero por períodos prolongados.

La **eliminación** del organismo de las sustancias tóxicas o sus metabolitos se produce por diferentes vías, entre ellas: la renal, la pulmonar, la biliar, el sudor, la saliva, la gastrointestinal, la leche materna, las lágrimas, el pelo y las uñas. En general, son relativamente pocas las sustancias que se eliminan como tales por una o varias de estas vías, ya que con más frecuencia se observan biotransformaciones previas a la eliminación.

Referencias

1. Klaassen CD, Watkins JB. *Manual de toxicología (Casarett & Doull)*. 5.ª edición. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana; 2001.
2. Rojas M. *Toxicología ambiental y ocupacional*. Bogotá: Universidad del Rosario; 2013.
3. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/1/es_lecturenotes_1.html
4. Díaz Padrón H. *Toxicología ocupacional*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2019.
5. Organización Mundial de la Salud (OMS). *Kit de herramientas de la OMS para la evaluación de riesgos que afectan la salud humana: peligros químicos*. 2.ª edición. Ginebra: OMS; 2022. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240035720>
6. Organización Mundial de la Salud (OMS). Disponible en: <https://www.who.int/es>
7. Ibarra Fernández de la Vega EJ. *Toxicología en salud ocupacional*. La Habana: Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores; 2020.

8. Quer-Brossa S. *Toxicología industrial*. Madrid: Salvat Editores; 1983.
9. Lauwerys RR. *Toxicología industrial e intoxicaciones profesionales*. Barcelona: Masson; 1994.

TOXICOLOGÍA OCUPACIONAL

Se define la toxicología ocupacional como la ciencia que estudia los efectos adversos a la salud producidos por agentes químicos empleados en la industria, a los que los trabajadores están expuestos como consecuencia de su manipulación y uso. También estudia los mecanismos de acción de dichos tóxicos y la forma de prevenirlos y controlarlos (1, 2, 3, 4).

Siguiendo la definición de la Organización Panamericana de la Salud (1), la toxicología ocupacional se diferencia de las demás ramas de esta ciencia en que su perspectiva predominante es la prevención. Involucra la vigilancia epidemiológica de los trabajadores que se exponen de manera constante a sustancias tóxicas (en la pesquisa precoz de las poblaciones sobreexpuestas o con daño inicial) para ejercer acciones preventivas en el ámbito de la higiene industrial y médica, que tienden a prevenir el potencial daño a la salud de los trabajadores.

La toxicología en salud ocupacional tiene como objetivo central el estudio de los agentes químicos que pueden causar alteraciones biológicas al trabajador por su exposición durante la actividad laboral. Aunque pudiera considerarse parte de la toxicología ambiental, la toxicología en salud ocupacional ha logrado ser una rama particular por las características de las tecnologías y las exigencias de los involucrados en la protección de su salud. Es indudable que los trabajadores se encuentran expuestos con mayor frecuencia que la población general a factores de riesgo que pueden afectar su salud. Al tomar conciencia de esos fenómenos, han exigido respuestas que requieren investigaciones. El contenido de la toxicología ocupacional es de gran interés para el quehacer higiénico sanitario diario, pues se vincula mucho con los aspectos generales de la higiene industrial y de la medicina del trabajo.

Algunos riesgos industriales se conocen desde épocas remotas. En el siglo I a. C. se identificó la sintomatología del plomo por actividades que involucraban este metal. Los romanos usaron esclavos en las minas de mercurio españolas, donde la muerte era casi segura. También se identificó la intoxicación con mercurio en la industria de sombreros en Francia, donde se empleaba como antibacteriano de los fieltros. A pesar de lo mencionado, recién en el año 1773 el médico Bernardino Ramazzini, a quien se describe como el padre de la toxicología ocupacional, comenzó a estudiar en Italia la relación de patologías con la exposición a algunas sustancias. Más adelante, en la Inglaterra de 1775, Percivall Pott demostró la relación entre los casos de cáncer de escroto y la exposición a los alquitranes del hollín en los deshollinadores de las chimeneas.

Es a partir de la Revolución Industrial que las acciones tóxicas comienzan a tener relevancia. La adquieren, justamente, en los ambientes de trabajo; de allí surgen los primeros conocimientos acerca de las intoxicaciones por plomo, por ejemplo. A partir de la Primera Guerra Mundial, la búsqueda de mayores conocimientos cae dentro de la industria bélica y entonces aparece la utilización del gas mostaza, que mata, primero, a los enemigos y, una veintena de años después, a quienes tuvieron contacto con él (una distinción entre los efectos agudos y crónicos de un tóxico).

El impulso de la industria química durante el siglo XX —y ahora, en el XXI— tiene un formidable desarrollo que hace que hoy la OIT manifieste que existen alrededor de seis millones de sustancias químicas con fórmula conocida, de las cuales cien mil serían de uso corriente. Las sustancias químicas en la práctica son utilizadas en casi todas las actividades y en un enorme número de puestos de trabajo. Además, muchas sustancias químicas (entre tres mil y cuatro mil) son introducidas en el mercado cada año. Lamentablemente, no todos los productos en utilización han sido investigados lo suficiente en cuanto a sus riesgos antes de su introducción en el mercado y la epidemiología demuestra cuán útil hubiera sido hacerlo.

Las enfermedades y demás eventos de salud producidos en concreto por las sustancias químicas en el trabajador determinaron históricamente la necesidad de estudiar de forma sistemática los agentes etiológicos correspondientes, sus propiedades y mecanismos de acción en el organismo, y el control y la prevención imprescindibles de su presencia en el ambiente laboral. La diversidad de sustancias químicas tóxicas y los diferentes estados de agregación en que se

manifiestan en el aire —así como los varios efectos que producen en el hombre que trabaja y se expone a los factores de riesgo— han propiciado la aparición y desarrollo de una serie de disciplinas que hoy confluyen, se complementan e integran en una especialidad mucho más amplia y abarcadora, que se ocupa de la atención no solo a la salud y seguridad de los trabajadores, sino también del propio ambiente en que se desenvuelven.

Ante esto, es necesario establecer formas sistemáticas de aproximarse a una prevención efectiva. Los principales objetivos de la toxicología laboral son identificar y cuantificar los riesgos asociados a la exposición de contaminantes químicos para poder precisar las concentraciones admisibles de exposición y conocer las medidas adecuadas para prevenir los efectos sobre la salud. Una parte destacada de esa tarea es la identificación del órgano que se ve afectado en primer lugar o en mayor medida por un agente tóxico. Este órgano, en toxicología, recibe el nombre de **órgano diana** u **órgano blanco**. Una vez identificado, es necesario determinar el o los hechos importantes que indican la intoxicación o daño para comprobar si dicho órgano se ha visto afectado más allá de su variabilidad normal; lo que se denomina *efecto crítico*.

Ambos conceptos son fundamentales para la salud laboral porque definen los tipos de toxicidad y la enfermedad clínica asociados con determinadas exposiciones. En la mayoría de los casos, la reducción de la exposición está orientada no solo a prevenir cualquier tipo de efecto en cualquier órgano, sino los efectos críticos en los órganos diana.

En las actividades laborales es muy frecuente que el trabajador se encuentre expuesto a más de una sustancia tóxica; de aquí la importancia del conocimiento de su acción cuando actúan de forma combinada sobre el organismo. Está demostrado que la exposición a más de una sustancia puede potenciar o inhibir los efectos que producirían si actuaran en forma independiente. Por lo tanto, si el higienista se encuentra con situaciones de este tipo, debe considerar esta característica al momento de evaluarlas.

Cuando en el ambiente de trabajo se presentan contaminantes cuyos efectos no se interrelacionan (es decir, el efecto de cada una de las sustancias es el mismo en presencia o no de la otra), estamos en un caso de acciones independientes. Dicho de otro modo, cada uno de los tóxicos concurrentes produce un efecto distinto a través de un modo de acción diferente. Sin embargo, existen casos

en que una sustancia incrementa su acción por la presencia de otra (aditividad o sinergismo), disminuye su acción o inhibe sus efectos (antagonismo). Estas situaciones se pueden predecir cuando la sustancia actúa sobre un mismo órgano o mecanismo biológico. En los casos en que se desconozcan los posibles efectos combinados de las sustancias, se considerarán en el orden práctico como aditivos para brindar una mayor seguridad al trabajador.

La evaluación biológica por exposición laboral a contaminantes químicos consiste en la evaluación de la exposición total a agentes químicos presentes en ambientes laborales a través de la medida de determinantes apropiados en especímenes biológicos, recolectados de un trabajador en un momento específico (4, 5, 6). Sus determinantes son los indicadores directos de exposición y los indicadores indirectos (o de efecto).

Programa de evaluación biológica a contaminantes químicos

1. Parámetro biológico a controlar

Existen tres posibilidades para controlar un grupo de trabajadores:

- a. Medir la concentración del contaminante o un metabolito en un fluido biológico o aire exhalado: **indicador biológico de exposición**. Por ejemplo: exposición al plomo, cadmio, benceno o mercurio; en que se mide, respectivamente, plomo en sangre (Pb-S), cadmio en orina (Cd-O), benceno (en aire exhalado) y mercurio en orina (Hg-O).
- b. Medir la variación de un parámetro bioquímico cuyo valor normal está alterado por acción del tóxico: **indicador biológico de efecto bioquímico**. Por ejemplo: en el caso de exposición al plomo, se pueden medir indicadores que se alteran al estar expuesto al metal. Tal es el caso del aumento de la Zinc protoporfirina en sangre por exposición al plomo (ZPP en sangre), así como del ácido delta-aminolevulínico en orina (δ -ALA en orina). En el caso de exposición a organofosforados, se mide la actividad enzimática de la acetilcolinesterasa en suero, que se ve disminuida por su presencia.
- c. Medir una variación fisiológica por acción del tóxico: **indicador biológico de efecto fisiológico**. Por ejemplo: se puede medir la capacidad respiratoria o la conductividad nerviosa con los PQ volátiles o la exposición a sustancias que produzcan problemas neurológicos. Este indicador tiene escaso carácter preventivo, porque ya se detecta un daño. Un ejemplo es el hexano, que produce polineuritis a largo plazo. Este parámetro no es preventivo, pero puede anticipar posibles daños mayores.

2. Espécimen biológico a controlar

Las muestras que se utilizan son orina, sangre y aire exhalado. La Ordenanza n.º 145/009 del MSP (7) establece los metabolitos a estudiar según la sustancia química e indica en qué muestra se debe tomar para poder comparar los resultados con los límites permitidos. Los cuadros 3 y 4 exponen la vigilancia sanitaria de exposición a factores de riesgo físico en 2009.

Cuadro 3. Monitoreos biológicos

Exposición	Monitoreo biológico	Periodicidad	Valor de referencia (BEI)	Observaciones
Antineoplásicos o citostáticos	Hemograma	Anual		
Arsénico	Arsénico urinario	Semestral	35 µg/L	Final de la semana laboral
Benceno	Ácido S-fenilmercaptúrico en orina (SPMA)	Trimestral	25 µg/g de creatinina	Final de la jornada
	Ácido trans,trans-mucónico (TTM)	Semestral	500 µg/g de creatinina	Final de la jornada
Cadmio total	Cadmio urinario	Semestral	5 µg/g de creatinina	En cualquier momento
	Cadmio en sangre		5 µg/L	En cualquier momento
Cianuro	Tiocianato urinario	Trimestral	2,5 mg/g de creatinina	
Cobalto total	Cobalto urinario	Anual	15 µg/L	Final de la jornada,
	Cobalto en sangre		1 µg/L	finalizando la semana de trabajo
Cromo total	Cromo urinario	Semestral	25 µg/L	Final de la jornada, finalizando la semana de trabajo
	Cromo urinario		10 µg/L	Incremento durante la jornada
Estireno	Ácido mandélico + ácido fenilglicoxílico urinario	Semestral	400 mg/g de creatinina	Final de la jornada
	Estireno en sangre		0,2 mg/L	
Estrógenos	Dietilestil-bestrol	Anual	Orina de 24 horas	En cualquier momento
Fenol	Fenol total urinario		250 mg/g de creatinina	Final de la jornada
Formaldehído	Espirometría	Bianual		

Exposición	Monitoreo biológico	Periodicidad	Valor de referencia (BEI)	Observaciones
Hexano (n-hexano)	2,5-hexanodiona urinaria	Semestral	0,4 mg/L	Final de la jornada, finalizando la semana de trabajo
Isocianatos	Espirometría	Bianual		
Mercurio total	Mercurio urinario	Anual	35 µg/g de creatinina	Previo a la jornada
	Mercurio en sangre		15 µg/L	Final de la jornada, finalizando la semana de trabajo
Monóxido de carbono	Carboxihemoglobina	Semestral	Menos de 3,5 % (no fumadores)	Final de la jornada
Óxido de etileno	Hemograma	Anual		
Plaguicidas inhibidores de la enzima colinesterasa (organofosforados y carbamatos)	Actividad de la acetilcolinesterasa	Al menos dos controles anuales	30 % de variación sobre actividad basal	• Durante la exposición o dentro de los 3 días posteriores a ella. • Durante el período de descanso anual, sin exposición.
Plomo	Plombemia	Semestral	30 µg en 100 ml	En cualquier momento
Resinas epoxi	Espirometría	Bianual		
Tetracloroetileno o percloroetileno	Ácido tricloro acético urinario	Semestral	3,5 mg/L	Final de la jornada, finalizando la semana de trabajo
Tolueno	Ácido hipúrico urinario	Semestral	1,6 g/g de creatinina	Final de la jornada
	O-cresol urinario		0,5 mg/L	
Tricloroetileno	Ácido tricloroacético urinario		100 mg/g de creatinina	Final de la jornada, finalizando la semana de trabajo
			15 mg/L	
Xileno	Ácido metilhipúrico urinario	Semestral	1,5 g/g de creatinina	Final de la jornada

Fuente: transcripción fiel del documento original, MSP (7).

Cuadro 4. Exámenes paraclínicos

Exposición	Examen para-clínico	Periodicidad	Criterios	Observaciones
Polvo neumoconiótico fibrogénico (asbesto, polvo mineral de sílice, más de 1 % de SiO ₂)	Radiografía de tórax anteroposterior	• Al ingreso. • Cada 3 años los primeros 6 años. • Cada 2 años los siguientes 6 años. • Cada año a partir de 12 años de antigüedad.	Técnica normatizada por la OIT. Clasificación Internacional de Neumoconiosis de la OIT.	Informe elaborado por radiólogo según la clasificación de la OIT
	Espirometría	Bianual		
Polvo no fibrogénico	Radiografía de tórax anteroposterior	• Al ingreso. • Cada 3 años los primeros 10 años. • Cada 2 años los siguientes 10 años. • Cada año a partir de 20 años de antigüedad.	Técnica normatizada por la OIT. Clasificación Internacional de Neumoconiosis de la OIT.	Informe elaborado por radiólogo según la clasificación de la OIT
	Espirometría	Bianual		
Sensibilizantes e irritantes respiratorios (polvos orgánicos, polvo de madera, gases y vapores)	Espirometría	Bianual		
Ruido	Audiometría tonal	Anual	Exposición mayor a 85 dB	
Radiaciones ionizantes	Hemograma completo con lámina	Anual	Según valor de la dosimetría personal	Uso de dosímetro. Informes bimensuales.

Fuente: MSP (7).

3. Metodología de toma de muestras

La metodología de toma de muestras es fundamental para la interpretación de los resultados, ya que la vida media biológica de los agentes químicos puede ser muy corta. Según el límite de referencia con los que se comparan los valores obtenidos, se establecerá el momento exacto en que efectuará la toma de muestra. Por ejemplo: final de jornada laboral, primera de la mañana, final de jornada laboral y final de semana, entre otros.

4. Metodología analítica

Las técnicas deben poseer un alto grado de exactitud, precisión y fiabilidad. Los análisis biológicos deben ser sometidos a programas de control de calidad, así como a programas de reproductibilidad interlaboratorios que permitan el control de resultados y una estimación de su fiabilidad. Los resultados se expresan en forma de concentraciones. En la orina, algunos resultados se expresan en función de la creatinina.

5. Valores de referencia

En la evaluación de la contaminación se obtienen valores numéricos. A partir de ellos, junto con el tiempo de exposición y otros datos complementarios (hábitos o tipo de trabajo, por ejemplo), se puede establecer el riesgo para la salud. Los criterios de valoración se deben tomar como referencia orientativa de la medida efectuada. **No es una frontera entre la salud y la enfermedad.**

Los valores de referencia se denominan como indicadores biológicos de exposición (BEI) (7, 8). Se definen como concentraciones bajo las cuales se supone que la mayoría de los trabajadores puede estar expuesta de forma repetida, día tras día, sin sufrir efectos adversos para su salud. Se publican los valores expresados en concentraciones del contaminante o un metabolito en un medio biológico (aire exhalado, sangre, orina).

La ACGIH (8), a partir de 1984, incluye a los BEI en su lista de valores de referencia ambientales. Nuestro país, Uruguay, adopta a través del MSP algunos de los valores recomendados a través de la Ordenanza n.º 145/009.

Nota: Los valores de ACGIH se han modificado con los años, pero el MSP no los ha actualizado. Se recomienda, por la salud de los trabajadores, utilizar los valores actualizados de la ACGIH para las muestras biológicas, aunque no tengan valor legal.

Limitaciones de la evaluación biológica

1. Utiliza como elemento de muestreo al ser humano. Se deben considerar todas las pautas de ética al iniciar un programa de monitoreo biológico.
2. Genera ansiedad en los trabajadores sometidos a control biológico ante el resultado del análisis y recelo de sentirse utilizados por la empresa.
3. Funciona para contaminantes sistémicos que aparecen en los fluidos corporales, pero no para aquellos de primer contacto (irritante, sofocante, cáustico) ni para sustancias cancerígenas.
4. Ofrece una limitada estabilidad para las muestras y es posible la contaminación en las diferentes manipulaciones antes del análisis.
5. Carece de una normalización de técnicas analíticas y metodologías.
6. No puede registrar la variación en los niveles ambientales.

Ventajas de evaluación biológica

1. Informa de la exposición global a la que está expuesto un trabajador en forma laboral o no. Mide la *exposición interna* resultante de fuentes externas (aire, agua, alimentos, suelo, etcétera).
2. Refleja la absorción del xenobiótico a través de las distintas vías de entrada al organismo.
3. Considera la actividad física y las características antropométricas de los individuos.
4. Pone de manifiesto las diferencias de susceptibilidad individual, así como los hábitos de trabajo.
5. Requiere menos tiempo y menos equipos de muestreo.

Clasificación y efectos de algunas sustancias químicas

Gases

El estudio de los hidrocarburos y sus derivados permite abordar aspectos toxicológicos relacionados con los compuestos que forman parte de la química orgánica. La gran mayoría de las sustancias químicas que se utilizan a nivel industrial son compuestos orgánicos de origen sintético, entre los que se encuentran los combustibles, solventes, plásticos, plaguicidas y fármacos, entre otros. La gran mayoría de los hidrocarburos se obtienen por la destilación fraccionada del petróleo o por la destilación del carbón (1, 2, 4, 9). En este capítulo se ofrecerá un desarrollo de los gases y vapores más comunes que se utilizan en la industria que tienen interés toxicológico.

Los tóxicos gaseosos se pueden clasificar por su acción. Los **asfixiantes** son compuestos que impiden el suministro de oxígeno a los tejidos (CO , CO_2 , N_2 , H_2 , HCN , AsH_3 , H_2S).

- **ASFIXIANTES SIMPLES.** Son sustancias químicas inertes (gases) que disminuyen la concentración del oxígeno en el aire. Como ejemplos se pueden citar los hidrocarburos de bajo peso molecular (metano, propano), el hidrógeno, el nitrógeno y el dióxido de carbono. Si su concentración es muy elevada, puede impedir la presencia de suficiente oxígeno para respirar; es decir, producen la asfixia por el desplazamiento del oxígeno.
- **ASFIXIANTES QUÍMICOS.** Ejercen su acción de diversas formas (reaccionan). En este caso, interactúan con el organismo para producir la hipoxia. La hipoxia o anoxia puede ser anémica o histotóxica. Algunos ejemplos son el monóxido de carbono, el ácido cianhídrico y derivados.

También se presentan como gases los vapores de sustancias volátiles. Los tóxicos volátiles se pueden clasificar por su acción: **anestésicos** y **narcóticos**. Son depresores del SNC. La intensidad depende del agente tóxico y de su acción específica. Algunos ejemplos son los alcoholes (metanol, etanol), los hidrocarburos alifáticos (hexano o clorados como el cloroformo y el tetracloruro de carbono) y los hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno).

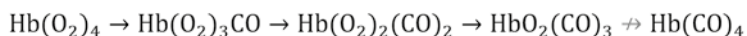
MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro e insípido (9, 3), menos denso que el aire, por lo que se difunde de forma rápida en el ambiente. Es un gas combustible; un reductor que se produce por la combustión incompleta de materia orgánica. Se puede afirmar que toda instalación que funcione con combustibles sólidos, líquidos o gaseosos produce monóxido de carbono (estufas, calefones, incineradores, hornos y caños de escape de automotores). Se puede hallar también en fundiciones, tratamientos térmicos, garajes, salas de caldera, hornos y fabricación de motores de combustión interna, entre otros.

El gas entra por vía inhalatoria y pasa de forma directa a la sangre. Los efectos tóxicos se deben a que su gran afinidad por la hemoglobina es unas doscientas veces más fuerte que la del oxígeno del aire. Esto no permite el transporte por la sangre del oxígeno de los pulmones a las células y produce una asfixia química. Esta unión es reversible; con un exceso de oxígeno y volviendo a tener la hemoglobina disponible para captarlo, podrá cumplir con su función.

A medida que se aspira aire contaminado con monóxido de carbono (CO) —que, como se mencionó antes, es imperceptible al olfato— se produce la fijación en la hemoglobina (Hb) de la sangre. Esta irriga el endotelio pulmonar y se origina la carboxihemoglobina (HbCO), que es de mayor estabilidad que la oxihemoglobina (HbO₂).

Cada molécula de Hb tiene cuatro grupos hemo (Fe⁺²) y se va sustituyendo el oxígeno por monóxido de carbono, pero el último oxígeno no se sustituye, ya que la fuerza de unión es más fuerte. Se sabe mediante la experimentación que el porcentaje de saturación nunca es mayor que 66 %.



Se establece la constante de afinidad de la presión parcial de la Hb con el O₂ y el CO como:

$$\frac{(\text{HbCO})_4}{(\text{HbO}_2)_4} = M \times \frac{P(\text{CO})}{P(\text{O}_2)}, \text{ donde } M \text{ tiene un valor de } 245 \text{ a pH de } 7,4$$

En los músculos la relación es menor, ya que el valor de M es 14.

EFFECTO TÓXICO: el aumento de carboxihemoglobina en sangre impide la hematosis y sobreviene una hipoxia comparable con falta de Hb

para transportar el oxígeno. Entonces se produce hipoxia o anoxia anémica. Los tejidos más afectados son el cerebro y el corazón. Se sabe que el volumen sanguíneo varía en relación directa con el peso corporal (y no con su superficie). Un sujeto de talla pequeña se intoxicará con más rapidez que un sujeto de mayor talla; es por eso que los ratones o canarios se usaban como detectores biológicos de exposición en las minas de carbón.

El tipo de intoxicación más frecuente es la **aguda**, que se da en varias etapas a medida que aumenta la carboxihemoglobina en sangre.

1. Trastornos nerviosos, cefaleas, vértigo, zumbidos, impotencia muscular.
2. Parálisis de miembros inferiores, se impide movimiento. Llega incluso a los músculos de la laringe, lo que imposibilita el pedido de auxilio; al intentar moverse, aumenta la actividad muscular, incrementa el ritmo respiratorio y se puede provocar un coma o la muerte.
3. Coma, taquicardia, hipotensión, respiración superficial, fibrilaciones y, a veces, vómitos. Posibilidad de aspiración de vómito: cuadro neumónico. Muerte por paro respiratorio o edema pulmonar.
4. Período de recuperación: pérdida de la memoria, cefalea, fatiga.

SECUELAS: polineuritis, hemiplejias, parálisis medular, Parkinson.

LESIONES: lesiones similares a quemaduras por congelamiento en la piel de la cara y extremidades. En las autopsias es visible un edema pulmonar (rojo vivo), mucosas y vísceras (color carmín, como si estuviera vivo).

PREVENCIÓN DE LA INTOXICACIÓN: detectores de monóxido de carbono, ventilación adecuada de los hornos y otras fuentes de combustión en el interior, no permitir que un coche circule en un lugar hermético (por ejemplo, en un garaje cerrado).

La carboxihemoglobina es por completo dissociable y, una vez que ha terminado la exposición, el pigmento se revierte hacia oxihemoglobina. El monóxido de carbono liberado se elimina por los pulmones.

TRATAMIENTO: retirar el intoxicado de la fuente contaminación; oxigenoterapia (95 % de O_2 + 5 % de CO_2 , que estimula el centro respiratorio); tratamiento sintomático que controle la respiración y el desarrollo de infecciones con antibióticos.

La inhalación de CO a bajas concentraciones y durante períodos prolongados produce cansancio, cefaleas, vértigo, alteraciones visuales,

auditivas, olfatorias, en la marcha y psíquicas. La sangre con carboxihemoglobina es de color rojo oscuro y su presencia solo puede detectarse con pruebas químicas apropiadas. Su presencia en la circulación venosa logra impartir una coloración roja anormal a la piel y a las mucosas.

Desde el punto de vista analítico, se puede hacer el ensayo de monóxido en sangre con un resultado de CO (mg) por 100 mL de sangre. Cuando se estudia el CO, se habla de porcentaje de saturación definido como el porcentaje carboxihemoglobina que se formaría en caso de saturación. Por lo general, en casos fatales por inhalación de CO, el porcentaje es mayor que el 50 %, pero la toxicidad está condicionada por: a) susceptibilidad individual, b) porcentaje de Hb, c) profundidad y ritmo respiratorio, d) condiciones de exposición.

Porcentaje de saturación del CO en sangre:

$$\% \text{ saturación} = \frac{\text{cantidad de CO en sangre}}{\text{cantidad de CO que se fijaría en saturación}} \times 100$$

Para calcularlo se mide la concentración de CO en sangre por microdifusión o por cromatografía gaseosa (GC), que da como resultado a mg en 100 mL.

1 mmol de CO corresponde a 28 mg de CO y ocupa 22,4 mL (PTN)

$$\begin{aligned} 28 \text{ mg de CO} &\rightarrow 22,4 \text{ mL} \\ a \text{ mg de CO} &\rightarrow x = \frac{b \text{ mL de CO}}{100 \text{ mL de sangre}} \end{aligned}$$

La concentración normal de Hb es entre 12,0 y 15,5 g/dL (se promedia en 13,0 g cada 100 mL).

Se sabe en forma experimental que 1 g de Hb fija 1,34 mL de CO.

Entonces, la saturación completa sería:

$$13,0 \text{ g de Hb} \rightarrow x = 13,0 \times 1,34 = 17,42 \text{ mL de CO}$$

$$\begin{aligned} 17,42 \text{ mL de CO} &\rightarrow 100 \% \text{ de saturación} \\ b \text{ mL de CO} &\rightarrow x \% \text{ de saturación} \end{aligned}$$

DIÓXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono (CO_2) se produce en forma natural, sobre todo por fermentación alcohólica. Es más denso que el aire, por lo que tiende a acumularse a ras del suelo (10). Su accionar es el de un asfixiante simple; no es tóxico, solo desplaza el aire e impide la respiración normal.

Si una persona entra en un ambiente muy rico en CO_2 puede sufrir una parálisis del centro respiratorio y del corazón, lo que se denomina *muerte fulminante*. Esto puede suceder en ambientes con más de 40 % de anhídrido carbónico (o dióxido de carbono).

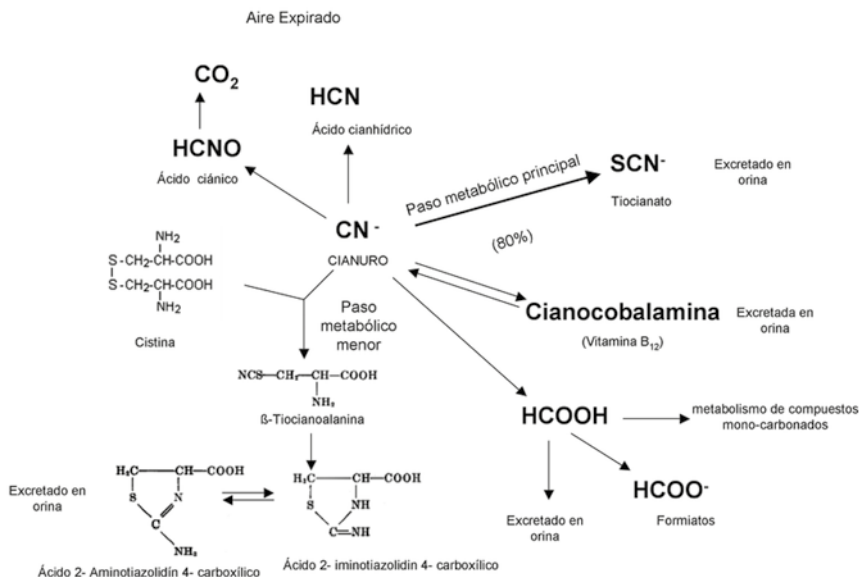
CIANUROS

El HCN (ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno) es un líquido o gas incoloro con el olor característico de las almendras amargas. En estos dos estados es miscible con agua y soluble en etanol y éter. El umbral de olor es de 1 ppm (parte por millón) a 5 ppm, o de 1 mg/m^3 a 6 mg/m^3 en personas sensibles al olor. Muchas personas no pueden percibir el olor en absoluto. El cianuro de potasio (KCN) y el cianuro de sodio (NaCN) en condiciones ambientales son sólidos cristalinos blancos, con un ligero olor a HCN (11).

Los principales usos del cianuro de hidrógeno son la fumigación de buques, edificios, huertos y diversos alimentos; en galvanoplastia; para la producción de agentes quelantes (como EDTA), y en procesos de tratamiento de metales. También tiene muchos usos como intermediario químico.

El HCN y sus sales se absorben con facilidad y en gran medida después de la exposición inhalatoria, dérmica y oral. Se metaboliza por una ruta principal y varias rutas minoritarias. La vía principal para el HCN y los cianuros es la detoxificación en el hígado por la enzima mitocondrial rodanasa, que cataliza la transferencia del azufre del tiosulfato al ion cianuro para formar tiocianato. Alrededor del 80 % del cianuro es detoxificado por esta vía, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Metabolización del cianuro



Fuente: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (11).

La excreción urinaria de tiocianato (90 %) es la vía de eliminación más importante en seres humanos y en animales de experimentación, pero se tarda varios días en eliminar una sola dosis relativamente alta de cianuro del cuerpo. Después de la exposición por inhalación, un pequeño porcentaje (1 %) de cianuro se excreta por exhalación dentro de las primeras horas posteriores a la exposición. El material exhalado (9 %) consta en gran parte (entre el 85 % y el 90 %) de dióxido de carbono.

El ion cianuro reacciona con el hierro trivalente en la enzima citocromo c oxidasa para dar un complejo relativamente estable. Esto inhibe la enzima y bloquea el último paso en la fosforilación oxidativa. El resultado es una deficiencia mitocondrial de ATP y muerte de células. Los tejidos especialmente sensibles son el SNC y el corazón. Es un asfixiante químico; produce una asfixia histotóxica o hipoxia histotóxica.

La exposición a niveles altos de cianuro puede producir un coma y la muerte. La exposición a niveles más bajos puede provocar dificultades para respirar, dolor de pecho, vómitos, alteraciones en la sangre, dolor de cabeza y dilatación de la glándula tiroides.

El tratamiento, en caso de intoxicación, consiste en administrar nitrato de amilo (por vía inhalatoria) o nitrito de sodio (vía intravenosa), y se proporciona tiosulfato para aumentar la actividad de la enzima rodanasa.

Vapores de hidrocarburos utilizados como disolventes

Dentro de los disolventes, vamos a distinguir dos grandes grupos: los disolventes acuosos y los disolventes orgánicos (que son muy utilizados en la industria y los de mayor riesgo higiénico) (12, 13, 14, 15).

Desde el punto de vista higiénico, los disolventes acuosos son menos peligrosos, ya que están formados por agua como vehículo de otros componentes que posibilitan la transferencia de solutos al disolvente mediante reacciones químicas. Así, tenemos la siguiente clasificación de disolventes acuosos: salinos, ácidos, básicos, oxidantes, reductores, tensoactivos, desinfectantes y enzimáticos. Son muy utilizados en la limpieza de instalaciones industriales, en el lavado doméstico y en la industria minera, entre otros. Los principales riesgos higiénicos son el contacto directo de los productos sobre el cuerpo, la toxicidad de las nieblas que se formen y la toxicidad de los vapores de los compuestos volátiles que contengan.

Se entiende por disolventes orgánicos a una amplia variedad de compuestos químicos orgánicos (y de mezclas de estos) que son capaces de disolver sustancias no hidrosolubles o poco polares. Por lo general, son líquidos de baja reactividad, cuyo punto de ebullición está entre 0 °C y 200 °C con alta presión de vapor.

La principal fuente de obtención de los disolventes orgánicos es el petróleo, que mediante la destilación fraccionada produce parafinas, hidrocarburos cíclicos y aromáticos en diferentes proporciones. Asimismo, de la destilación de la hulla se obtienen compuestos como benceno, tolueno y xileno, entre otros.

Las series homólogas principales son las siguientes:

- Hidrocarburos alifáticos (pentano, hexano, heptano).
- Hidrocarburos alicíclicos (ciclohexano, metilciclohexano, pineno).
- Hidrocarburos aromáticos (benceno, estireno, tolueno, xileno).
- Hidrocarburos halogenados (tetraclorometano, tricloroetileno, clorobenceno).

- Alcoholes (alcohol etílico, metílico, propílico).
- Glicoles (etilenglicol, propilenglicol).
- Éteres (éter etílico, éter isopropílico, dioxano).
- Ésteres (acetato de etilo, de propilo, de Cellosolve).
- Cetonas (metiletilcetona, metilisobutilcetona).

La combinación de estos productos es infinita, lo que da una idea de la diversidad de sus usos. Entre los riesgos del empleo de los disolventes se destaca que son sustancias combustibles, por lo que el peligro de inflamación es uno de los más estudiados. La vía de entrada de estos disolventes o sus mezclas puede ser respiratoria, dérmica o digestiva.

Cuando nos referimos a la exposición ocupacional a disolventes orgánicos debemos tener en cuenta que se utilizan y producen grandes volúmenes en las industrias químicas y que el control de la volatilidad es difícil. Su capacidad de evaporación hace que estas sustancias se encuentren siempre en los ambientes donde se utilizan. Asimismo, en el mercado se introducen nuevos disolventes con pocos datos toxicológicos de manera constante.

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS

Aunque existe una gran cantidad de líquidos inflamables, el número de propiedades o características de interés, desde el punto de vista de la seguridad, es reducido. Conociendo las siguientes propiedades, se puede saber cómo se comportará en caso de emergencia.

- Densidad del líquido (peso específico). Este valor nos indica si el líquido es más pesado o más ligero que el agua, considerando que no es soluble en ella. Si el líquido es más ligero (es decir, si queda en la superficie), no se recomienda utilizar agua para su extinción.
 - Densidad < 1: el solvente queda por encima del agua.
 - Densidad > 1: el solvente queda por debajo del agua.
- Densidad de vapor (peso por unidad de volumen). La mezcla de vapor aire cuya densidad sea superior a la del aire a temperatura ambiente tenderá a descender (es decir, el vapor permanece en zonas bajas). Esta característica determina el lugar donde se debe efectuar la extracción y ventilación de los locales donde se emplean o se almacenan estos productos.

- Presión de vapor (volatilidad del solvente). Es la presión que ejerce la fase gaseosa o vapor sobre la fase líquida en un sistema cerrado a una temperatura determinada cuando ambos se encuentran en equilibrio dinámico. Su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes (mientras existan ambas). El índice de evaporación aumenta al disminuir el punto de ebullición.

CARACTERÍSTICAS TOXICOLÓGICAS

La mayoría de los disolventes en casos de exposición aguda a altas concentraciones de sus vapores pueden causar narcosis y muerte. Los trabajadores expuestos a vapores orgánicos con poco control presentan, en general, alteraciones del SNC. Aun cuando los signos y síntomas presentan algunas variaciones, según la estructura química del disolvente, son bastante similares para exposiciones agudas a altas concentraciones. Se observa que concentraciones idénticas de diferentes disolventes producen efectos narcóticos de la misma intensidad.

Se describe la toxicidad en casos agudos según el tipo de exposición:

- Exposiciones leves: alteraciones cognitivas o psicomotrices (sensación de ebriedad). **Reversible**.
- Exposiciones altas: cefalea, confusión, náuseas, euforia, desorientación. **Reversible**.
- Exposición a muy altas concentraciones: estupor, pérdida de la conciencia, depresión respiratoria, alteraciones cardíacas. **Muerte**.

En caso de exposición prolongada a bajas concentraciones, los efectos crónicos son irreversibles y estarán determinados por el producto o la sustancia química y por las condiciones de trabajo.

Entre los solventes más usados están la acetona, el benceno, el tolueno, el estireno, el cloroformo, el éter, el tetracloruro de carbono, el tricloroetileno y el cloruro de metileno, entre otros. Sus efectos agudos se observan como una sensación de intoxicación, aturdimientos, mareos y, por último, pérdida de conciencia. Una exposición aguda es casi siempre accidental, de corta duración y los efectos terminan por desaparecer pronto. Por el contrario, una exposición no controlada y a pequeñas concentraciones es mucho más nociva. Los primeros síntomas de una lesión nerviosa son de carácter subjetivo (el individuo percibe que no se siente bien).

ALCOHOLES

Etanol

Los alcoholes tienen una gran variedad de usos industriales, dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas. El **etanol** ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) o alcohol etílico es la sustancia psicoactiva de mayor consumo en el mundo. Es volátil e inflamable. Cuando se consume en forma continuada y frecuente produce efectos adversos agudos y crónicos en la salud. En consumidores crónicos de alcohol se han comprobado efectos adversos nutricionales, neurológicos, hepáticos y teratogénicos. Estos últimos se dan en cualquier cantidad de consumo de alcohol y en cualquier etapa del embarazo. Su peligrosidad estaría enfocada en los problemas de toxicomanía o alcoholismo crónico (16, 17). Se considera un tóxico industrial, ya que la posibilidad de accidentes en el trabajo o de incendio adquiere especial importancia cuando se trabaja con valores de alcohol detectables en sangre o elevados en aire.

En casos de intoxicación aguda se pueden presentar alteraciones en el SNC, gastrointestinal, endócrino y en el equilibrio ácido básico. El consumo de etanol también se ha asociado con la presentación de varias alteraciones sociales, como el incremento en los índices de violencia intrafamiliar, violencia general, actos delictivos y accidentes de tránsito. Sus altos índices de consumo, su comprobado efecto tóxico sobre la salud y sus repercusiones negativas sobre los papeles sociales del individuo, unidos al hecho de ser una sustancia legal y socialmente aceptada, señalan el consumo incontrolado de bebidas alcohólicas como un verdadero problema de salud pública sobre el cual es necesario llamar la atención.

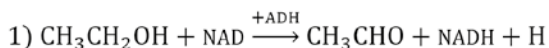
El etanol es una sustancia que se puede administrar de diversas formas y absorber por múltiples vías. Como sustancia psicoactiva, la principal y casi exclusiva vía de administración es la oral, aunque en el ámbito profesional se puede absorber también por vía inhalatoria. El proceso de absorción gastrointestinal se inicia de forma inmediata después de su ingestión. Por vía dérmica también se puede absorber, aunque su absorción es limitada, dependiendo del estado de la piel.

La superficie de mayor absorción es la primera porción del intestino delgado, con alrededor del 70 %. En el estómago se absorbe un 20 % y en el colon se absorbe un 10 %. Su absorción por tracto digestivo ocurre en un período de dos a seis horas y puede ser modificada por varios factores, como, por ejemplo, la presencia o ausencia de alimentos en el estómago. Una vez absorbido, los tejidos donde se

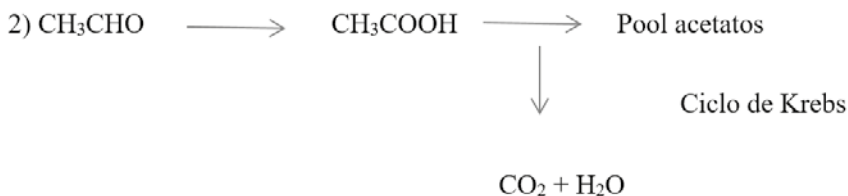
concentra en mayor proporción son (en orden): cerebro, sangre, ojo y líquido cefalorraquídeo. También atraviesa las barreras fetoplacentaria y hematoencefálica.

El 98 % del etanol absorbido hace su proceso de biotransformación en el hígado y para ello utiliza tres vías metabólicas: vía de la enzima alcohol deshidrogenasa (utilizada por la mayoría de los individuos), vía del sistema microsomal de oxidación (MEOS) (que posee una mayor actividad en el alcohólico crónico) y vía de las catalasas. La mayor parte del etanol absorbido se oxida. Su eliminación es pulmonar (entre el 50 % y el 60 %), enterohepática (entre el 25 % y el 30 %), renal (entre el 5 % y el 7 %) y el resto se elimina en pequeñas cantidades por el sudor, lágrimas, jugo gástrico, saliva y leche materna.

En cuanto a su **metabolismo**, el etanol se oxida en el hígado con las enzimas alcohol deshidrogenasa (ADH) y aldehído deshidrogenasa (ALDH). La velocidad de la segunda oxidación es rápida, por lo que casi no hay acumulación del aldehído.



La segunda etapa de oxidación es rápida y evita la acumulación de acetaldehído en sangre. El ácido acético entra en el ciclo de Krebs y se elimina como anhídrido carbónico y agua.



En intoxicaciones agudas, el etanol afecta al individuo en múltiples órganos y sistemas orgánicos. Los efectos clínicos agudos que se encuentran con mayor frecuencia son las alteraciones en el SNC porque el etanol es un depresor generalizado no selectivo del SNC y su sintomatología está marcada por una evolución paradójica. La fase inicial se caracteriza por signos de excitación mental, pues primero se reprimen los centros inhibitorios del cerebro. A medida que aumentan los niveles de alcohol en sangre, la intoxicación se agrava y la depresión del SNC se torna predominante.

Hace su primera acción depresiva en las partes del encéfalo que participan en funciones integradas. Deprime tanto centros inhibitorios como excitatorios. Los primeros procesos mentales afectados son los que dependen del aprendizaje y la experiencia previa, luego se alteran la atención, la concentración, el juicio y la capacidad de raciocinio. A medida que la intoxicación se hace más avanzada, esta primera fase continúa con un deterioro general y cambios cognitivos mayores. Por lo general, los efectos sobre el SNC son proporcionales a la concentración en la sangre. Los efectos son más marcados cuando la concentración está en ascenso que al descender.

Cuando la intoxicación es crónica, los efectos del alcohol etílico son muchos. Se pueden incluir el dolor abdominal, confusión, dificultad para hablar, sangrado interno (estomacal e intestinal), respiración lenta (35), estupor (nivel reducido de lucidez) (36), incluso coma, marcha inestable (37) y vómitos (en ocasiones, con sangre) (38). El abuso crónico del alcohol puede llevar a muchos síntomas adicionales e insuficiencia de múltiples órganos. Uno de los efectos más conocidos es el incremento de la síntesis de ácidos grasos y triglicéridos, con disminución de la oxidación de los primeros, lo que genera una hiperlipidemia que conlleva al desarrollo de hígado graso y, más adelante, a la hepatitis alcohólica (precursora de la cirrosis).

El **tratamiento** depende del tipo de intoxicación. Si es una intoxicación aguda y el individuo está consiente, se puede provocar el vómito, hacer un lavado gástrico o suministrar diuréticos. Si está en coma, se le coloca un respirador con oxígeno y un pequeño porcentaje de dióxido de carbono que estimula el centro respiratorio (carbógenoterapia). Si la intoxicación es crónica, se hace un tratamiento sintomático. Antes se utilizaba el disulfirán (que produce acumulación de aldehído con cefalea, insuficiencia respiratoria, vómitos, sed), pero ya no se emplea por sus efectos tóxicos secundarios.

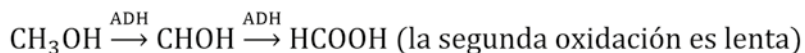
Metanol

El metanol (CH_3OH) —también conocido como alcohol metílico, alcohol de madera, alcohol de quemar o carbinol— es una sustancia altamente tóxica y el más simple de los alcoholes (18, 19, 20). Su uso es muy amplio: pinturas, barnices, disolventes, fabricación de plásticos, material fotográfico, anticongelante, aditivo de la gasolina, productos de limpieza del hogar y desnaturalizador del alcohol etílico. La absorción puede ser por vía cutánea o inhalatoria, pero la mayoría de los casos son por ingestión. En la actualidad, la intoxicación individual o colectiva suele ser de carácter voluntario, por ingestión accidental en

el caso de bebidas alcohólicas adulteradas, como sustituto del etanol en alcohólicos crónicos o con fines suicidas.

El metanol no es un tóxico *per se*, pues es menos embriagante que el alcohol etílico. La mayor parte del metanol se metaboliza de forma lenta en el hígado y se oxida por acción del ADH. Sus productos de degradación (como el formaldehído y el ácido fórmico) son los responsables de la toxicidad; de ahí que las manifestaciones clínicas aparezcan entre doce y veinticuatro horas después de su ingestión. La susceptibilidad es individual y variable.

La eliminación del metanol en el organismo puede llevar hasta cinco días. Se metaboliza en el hígado y utiliza las mismas enzimas que el etanol. Se oxida a formaldehído y luego a ácido fórmico. En este caso, la segunda reacción de oxidación es lenta y permite la acumulación de formaldehído.



La intoxicación por metanol se caracteriza por el desarrollo de tres estadios progresivos.

1. El primer estadio se presenta con una mínima disminución de la actividad del SNC, debilidad, sensación vertiginosa y náuseas.
2. Tras un período de latencia que es asintomático, aparece una segunda fase que coincide con el desarrollo de una acidosis metabólica que se caracteriza por vómitos, dolor abdominal, desorientación y alteraciones visuales con fotofobia, visión borrosa, midriasis bilateral no reactiva a la luz y ceguera ocasional. Los metabolitos de la oxidación son los responsables de estos síntomas: formaldehído (problemas visuales) y ácido fórmico (acidosis).
3. En la tercera fase, en relación directa con el grado de acidosis metabólica alcanzada, se produce lesión neuronal, con necrosis retiniana y de los ganglios basales del encéfalo. En esta fase hay hipotensión, coma profundo. El desarrollo de apnea y convulsiones aparece en la etapa final.

La dosis tóxica del metanol es de entre 10 ml y 30 ml (100 mg/kg), aunque ingestas menores han causado ceguera. Es letal por encima de valores de 60 ml y 240 ml (340 mg/kg). La mortalidad de la intoxicación grave oscila entre el 20 % y el 50 % de las series. Más del 50 % de los supervivientes sufren secuelas neurológicas, entre las

que destacan la ceguera, el síndrome parkinsoniano y la polineuropatía sensitiva axonal.

El tratamiento puede ser mediante el suministro de:

1. Etanol.
2. Soluciones alcalinas por vía iv (bicarbonato, lactato de sodio) para combatir la acidosis.
3. Respiración artificial con hiperventilación, que ayuda a la eliminación del tóxico.

El tratamiento habitual consiste en la administración de etanol, bicarbonato sódico y ácido fólico intravenoso. El etanol es el principal tratamiento específico tanto para el metanol como para el etilenglicol. Compite por el lugar activo del ADH y así reduce el acceso del resto de los alcoholes. El nivel de etanol en sangre que ha demostrado bloquear por completo el metabolismo de metanol en humanos es de 100 mg/dL. Su administración debe continuarse hasta que no se detecte metanol en sangre y la acidosis metabólica se haya corregido.

Un nuevo antídoto aprobado recientemente para el tratamiento de las intoxicaciones por metanol y etilenglicol es el fomepizol (4-MP). Es un potente inhibidor del ADH, por lo que es eficaz en impedir la formación de metabolitos tóxicos y, además, tendría algunas ventajas respecto al etanol, tales como carecer de efecto depresor del SNC, una mayor duración de la acción y una menor cantidad de efectos adversos potenciales.

HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS

- Gaseosos:
 - Peso molecular: bajo (cuatro carbonos o menos).
 - Usos: combustibles.
 - Toxicidad: poca.
 - Riesgo: limitado a sus propiedades inflamables y explosivas.
- Líquidos:
 - Usos: solventes y desengrasantes del ámbito industrial y doméstico.
 - Toxicidad aguda: depresor del SNC (todos).
 - Toxicidad crónica: depende de cada solvente.

Los hidrocarburos líquidos más livianos y volátiles —como el pentano, hexano, heptano, octano y nonano— poseen ciertas propiedades depresoras del SNC e irritantes que son capaces de producir dermatitis por contacto repetido o prolongado. Los síntomas que se presentan en intoxicaciones agudas son los mismos que para los solventes orgánicos en general.

Se pueden absorber por vía digestiva, pero la vía inhalatoria es la de mayor importancia toxicológica porque la baja tensión superficial de esos compuestos les permite cubrir grandes áreas y produce un daño significativo en los pulmones, aun en pequeñas cantidades.

El tratamiento general en caso de intoxicaciones con hidrocarburos implica:

- **Nunca** provocar el vómito. Se administran polisilanos o geles de aluminio (protectores gástricos) para que se eliminen por heces.
- Si hay depresión respiratoria, se recomienda la oxigenoterapia, carbogenoterapia (para estimular el centro respiratorio) o broncodilatadores.

Es de importancia toxicológica en el ámbito laboral el *n*-hexano —muy utilizado en la industria— puro o mezclado con otros disolventes.

N-hexano

El *n*-hexano (21) es una sustancia química elaborada a partir del petróleo crudo. En su estado puro es un líquido incoloro con un olor ligeramente desagradable. Se evapora con facilidad en el aire y se disuelve muy poco en el agua. Es altamente inflamable y sus vapores pueden ser explosivos.

La mayor parte del *n*-hexano que se utiliza en la industria se mezcla con sustancias químicas similares en productos conocidos como *disolventes*. Los nombres comunes de algunos de estos disolventes son *hexano comercial*, *mezcla de hexanos*, éter de petróleo y *nafta de petróleo*.

Algunos grupos ocupacionales que pueden estar expuestos al *n*-hexano son:

- Trabajadores de las refinerías.
- Trabajadores de la industria del calzado.
- Técnicos de laboratorios.
- Operadores de maquinaria de tipografía e imprenta.
- Trabajadores de la construcción.

- Personas que instalan alfombras.
- Carpinteros.
- Mecánicos de automóviles.
- Empleados de las gasolineras.
- Trabajadores de las plantas de fabricación de llantas o cámaras de aire para neumáticos.
- Trabajadores del transporte aéreo y de las operaciones de carga aérea.

La exposición también puede ocurrir en el hogar si se utilizan productos que contienen *n*-hexano y no se mantiene una ventilación adecuada.

Una característica importante esta sustancia es que se evapora con mucha facilidad. En mezclas en que su concentración es baja, al ser tan volátil, aparece en el ambiente laboral en concentraciones importantes.

El *n*-hexano puede ingresar al organismo tanto por vía inhalatoria como dérmica. También puede ingresar por vía digestiva, si está presente en la bebida o en los alimentos. Una vez dentro del cuerpo, el vapor pasa al torrente sanguíneo y de ahí se transporta a todos los órganos. Se metaboliza con las enzimas del hígado. Su principal metabolito es la 2,5-hexanodiona, responsable de los efectos tóxicos, que se elimina por la orina y que se utiliza como indicador biológico de exposición al *n*-hexano.

El primer síntoma que afecta a los trabajadores es una sensación de entumecimiento en pies y manos. Después puede aparecer debilidad muscular en la parte inferior de las piernas y los pies. En caso de intoxicación crónica, los síntomas se agravan. Se describe parálisis en brazos y piernas. El término médico de esta enfermedad es neuropatía periférica o polineuritis periférica (*periférica* significa que está fuera del cerebro y la médula espinal; *neuropatía* significa que hay daño en los nervios).

HIDROCARBUROS HALOGENADOS

Cloroformo

El cloroformo (CHCl_3) (22) es un compuesto químico también conocido como triclorometano o tricloruro de metilo. Es un líquido incoloro con un olor agradable, no irritante, y un sabor dulzón. Esta sustancia solo arde cuando alcanza temperaturas muy altas. Fue uno de los

primeros anestésicos inhalados que se utilizaron durante las cirugías, así como para la limpieza en seco, pero en la actualidad ya no tiene ninguna aplicación.

La mayor parte del cloroformo que se encuentra en el ambiente proviene de la industria. En el ámbito laboral, la exposición se debe a la extracción de ceras y resinas como reactivo químico. Puede entrar en el cuerpo al inhalar aire, ingerir alimentos o beber agua que contenga esta sustancia química. Además, se introduce con facilidad a través de la piel. En exposiciones agudas a concentraciones elevadas produce una depresión del SNC con anestesia o narcosis. En exposiciones crónicas afecta el hígado y los riñones, pues es hepatotóxico y nefrotóxico (degeneración grasa, necrosis, tumores).

Una vez en el cuerpo, el cloroformo es transportado por la sangre a todas las partes del organismo. Por lo general, se acumula en la grasa corporal, sin embargo, por su condición volátil, saldrá del cuerpo cuando haya cesado la exposición. Una parte del cloroformo que ingresa sale intacta a través de la exhalación y otra parte se descompone para formar otros químicos. Estos productos de degradación (o metabolitos) pueden adherirse a otros elementos químicos de las células del organismo, por lo que existe la posibilidad de causar efectos dañinos si se aglomeran en cantidades suficientemente altas. Algunos de los metabolitos también salen del cuerpo mediante la exhalación. Solo una pequeña cantidad se expulsa en la orina y las heces.

Tetracloruro de carbono

El tetracloruro de carbono (CCl_4) (23, 24) es una sustancia manufacturada que no se encuentra en la naturaleza. Es un líquido incoloro de olor dulce que puede ser detectado a bajos niveles. Se lo conoce también como cloruro de carbono, tetracloruro de metano, perclorometano, tetracloroetano o benciformo.

El tetracloruro de carbono se encuentra con frecuencia en el aire en forma de gas incoloro. No es inflamable ni se disuelve en agua con facilidad. En el pasado se usó en la producción de líquido refrigerante y propulsor de aerosoles, como plaguicida, como agente para limpiar y desgrasar, en extinguidores de fuego y para remover manchas. Por sus efectos perjudiciales, estos usos están prohibidos y solo se emplea en ciertas aplicaciones industriales.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer y la EPA han determinado que es probable que el tetracloruro de carbono sea carcinogénico en seres humanos.

Tetracloroetileno

El tetracloroetileno (C_2Cl_4) (25) es un líquido incoloro no inflamable. Se lo llama percloroetileno (PCE), tetracloroetano y percloro. La mayoría de las personas puede oler el tetracloroetileno cuando está presente en el aire en una concentración de 1 ppm o más.

Se utiliza como agente del lavado en seco y solvente para desengrasar metales. También sirve de material inicial o componente básico para elaborar otras sustancias químicas y se emplea en algunos productos para el consumidor.

La exposición a concentraciones muy altas de tetracloroetileno puede causar mareos, dolores de cabeza, somnolencia, falta de coordinación, confusión, náuseas, pérdida del conocimiento e incluso la muerte.

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS

Benceno

El benceno (C_6H_6) es un líquido incoloro con olor dulce. Se evapora en el aire con rapidez y es poco soluble en agua. Es altamente inflamable y se forma tanto en procesos naturales como en actividades humanas (26, 27).

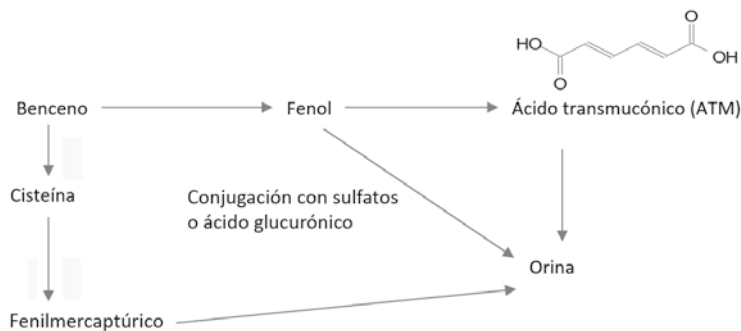
Algunas industrias usan benceno para manufacturar otras sustancias químicas que se emplean para fabricar plásticos, resinas, nailon y otras fibras sintéticas. Con él también se fabrican ciertos tipos de caucho, lubricantes, tinturas, detergentes, medicamentos y plaguicidas. Por los efectos tóxicos que produce, se utiliza menos en las mezclas de diferentes formulaciones. Los volcanes y los incendios forestales son fuentes naturales de benceno. También es un componente natural del petróleo, la gasolina y el humo de cigarrillo.

En lo que respecta al metabolismo, el benceno se absorbe por vía inhalatoria, digestiva y dérmica. La parte que no se metaboliza se excreta por los pulmones. Una vez que ingresa, pasa a la sangre y tiene gran afinidad por los tejidos grasos. En el hígado se metaboliza en dos fases:

1. Reacciona y se oxida a fenol. Esta reacción continúa formando catecoles y pirocatecoles, que son los responsables de la interacción con el ADN en la médula ósea.
2. El fenol se conjuga con glucuronatos o sulfatos, que son hidrosolubles y se eliminan por la orina (riñones).

Los metabolitos que se generan y eliminan por orina son el ácido ATM (también llamado TTM por algunos autores) y el ácido S-fenilmercaptúrico, que se utilizan como indicadores biológicos de exposición al benceno.

Figura 5. Metabolización del benceno



Fuente: elaboración propia.

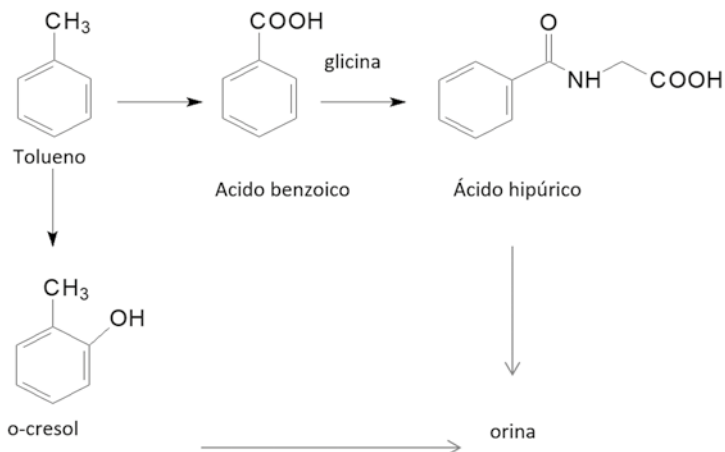
El efecto principal de la exposición prolongada es sobre la sangre. El benceno se une al glóbulo rojo, los catecoles producen alteraciones en la médula de los huesos y pueden provocar una anemia a largo plazo. También pueden ocasionar hemorragias y afectar al sistema inmunitario, lo que aumenta la probabilidad de contraer infecciones. La exposición prolongada a niveles altos de benceno en el aire puede producir leucemia; en especial, leucemia mieloide aguda, conocida como LMA.

Tolueno y xileno

El tolueno ($C_6H_5CH_3$) y el xileno ($C_6H_4[CH_3]_2$) (28, 29) son líquidos incoloros. Son moderadamente tóxicos por inhalación o por ingestión y poco tóxicos por vía dérmica. A niveles bajos, los síntomas de exposición pueden ser dolor de cabeza, náuseas, languidez y falta de coordinación. A niveles altos, pueden causar efectos narcóticos o incluso llegar a producir el coma.

El tolueno se oxida de igual modo que el benceno, pero, al tener grupos metilos, se forma el ácido benzoico, que se conjuga con la glicina y se elimina por la orina como ácido hipúrico. Cuando se descompone, produce el ortocresol, que también se elimina por la orina.

Figura 6. Metabolización del tolueno



Fuente: elaboración propia.

En el caso de los xilenos (orto, meta, para), se eliminan por la orina como ácido metilhipúrico. Estos productos de metabolización en orina se utilizan como indicadores biológicos de exposición.

Material particulado, polvo, fibras

El polvo es considerado como contaminante en las áreas laborales y ocupa un lugar destacado por los efectos que puede tener en la salud de los empleados. En estos contextos, puede originar desde una simple molestia hasta enfermedades como neumoconiosis (30, 31).

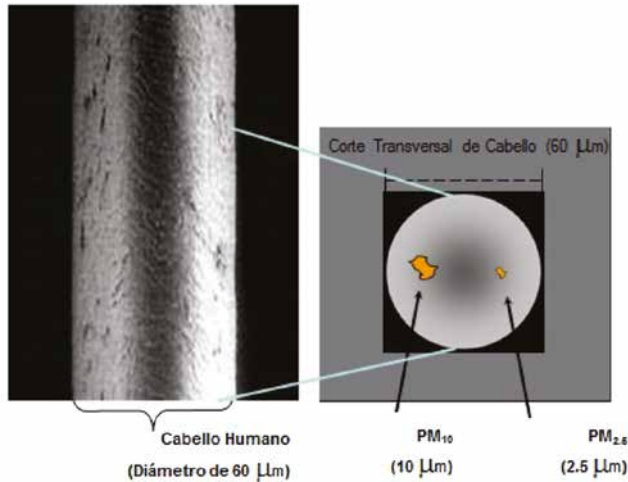
El polvo industrial se puede clasificar en función de su tamaño, su forma, su composición y sus efectos. Por su tamaño, tenemos:

- Polvo visible (mayor a $40\ \mu\text{m}$).
- Polvo sedimentable (entre $10\ \mu\text{m}$ y $15\ \mu\text{m}$), que por su peso se deposita con rapidez en las diferentes superficies.
- Polvo inhalable (menor a $10\ \mu\text{m}$), que puede penetrar al sistema respiratorio.
- Polvo respirable (menor a $5\ \mu\text{m}$), que puede llegar hasta los pulmones.

Por la gran variación entre los diferentes aerosoles sólidos y por razones analíticas e higiénicas, se desprende la necesidad de limitar el

tamaño de las partículas. Se establece una fracción inhalable (o total) y una fracción respirable para la protección de los trabajadores contra los riesgos asociados a la exposición en el trabajo.

Figura 7. Corte transversal de un cabello humano



Fuente: Olympic Region Clean Air Agency (ORCAA) (32).

FRACCIÓN INHALABLE: es la fracción de partículas que inspira el trabajador al respirar entre todo el conjunto de materias en suspensión presentes en el aire. Son determinantes las velocidades de aspiración por nariz y boca, así como las condiciones de circulación de aire alrededor de la persona. En higiene se lo llama *polvo total* (PT).

FRACCIÓN RESPIRABLE: es la parte de la fracción inspirable que puede llegar hasta los alvéolos pulmonares. Para su captación se utiliza un separador por sedimentación que aísla las partículas que tengan un diámetro aerodinámico de 5 μm (se utiliza un equipo que se llama ciclón, con el cual las partículas más grandes se depositan y las pequeñas quedan impactadas en el filtro). En higiene es conocido como *polvo fracción respirable* (FR). Se clasifican en función de:

- Su forma:
 - Polvo propiamente dicho: partículas sólidas en suspensión, no fibras.
 - Fibras: partículas de longitud mayor que 5 μm, con un diámetro de sección transversal menor que 3 μm. La relación entre largo y ancho es mayor que 3 μm.

- Su composición:
 - Animal: pluma, pelo, cuero, hueso.
 - Vegetal: polen, cereales, paja, tabaco, cáñamo.
 - Mineral: metales, asbesto.
- Sus efectos:
 - **POLVO NEUMOCONIÓTICO:** genera neumoconiosis y produce alteraciones irreversibles en pulmones. Por ejemplo, silicosis (polvo con más de 1 % de sílice cristalina) o asbestosis.
 - **POLVO TÓXICO:** ingresa al organismo, se distribuye, alcanza diferentes órganos y causa algún efecto. Por ejemplo, polvos metálicos (como óxido de plomo) o polvos activos farmacológicamente (principios activos).
 - **POLVO CANCERÍGENO:** puede producir la generación de tumores malignos por exposición en forma crónica. Por ejemplo, asbestos, ácido crómico, cromatos, arsénico, cadmio, níquel o berilio.
 - **POLVO INERTE:** no produce alteraciones fisiológicas importantes, pero sí provoca molestias en el trabajo y origina afecciones respiratorias benignas. PNOS es una sigla en inglés para referirse al polvo que no se clasifica de otra forma.

La inhalación de ciertos polvos minerales produce neumoconiosis o acumulación de polvo en los pulmones.

- **NEUMOCONIOSIS BENIGNAS:** de sobrecarga; son solo un tatuaje de los pulmones por el polvo, sin alteración notable de la función respiratoria y sin provocar predisposición a las infecciones. La enfermedad es no colágena y reversible. Ejemplos: antracosis (carbón), siderosis (hierro), beriliosis, estannosis, calcicosis (CaCO_3).
- **NEUMOCONIOSIS MALIGNAS:** se asocian a alteraciones muy graves de la función respiratoria y predisponen a infecciones, en especial, a la tuberculosis o el cáncer bronquial. Es una enfermedad colágena e irreversible. Ejemplos: asbestosis, silicosis, talcosis.

En el campo de la **higiene industrial** (33, 34), se considera **fibra** a toda partícula que tenga una longitud mayor que $5\ \mu\text{m}$, con un diámetro de sección transversal menor que $5\ \mu\text{m}$ y una relación entre longitud y diámetro mayor que $3\ \mu\text{m}$. En general, se acepta como fibra respirable aquella con diámetro menor que $3\ \mu\text{m}$, pues con este tamaño puede ingresar a las regiones alveolares y depositarse en el tejido pulmonar.

Hay dos tipos de fibras, las naturales y las artificiales. Las naturales fueron las primeras en utilizarse en la industria, pero con el correr del tiempo se fue descubriendo su alto riesgo para la salud, lo que ha dado lugar a la búsqueda de fibras sustitutivas de origen sintético o natural.

- Naturales:
 - Minerales: amianto o asbesto, zeolitas fibrosas, arcillas fibrosas.
 - Orgánicas: vegetales (algodón, lino, cáñamo, sisal) o animales (seda, lana, pelo).
- Artificiales:
 - De origen natural, orgánicas (éster celulósico, proteínas) o inorgánicas (vidrio, cerámica, roca).
 - De origen sintético (poliésteres, derivados polivinilos, polipropilenos, polimetanos, politetrafluoroetilenos, carbón, grafito).

SÍLICE

Si un polvo contiene más de 1 % de sílice cristalina (SiO_2) (34), se lo considera polvo silicótico. Una exposición prolongada produce neumoconiosis maligna a causa de este mineral en forma cristalina (cuarzo, cristobalita, tridimita). Las principales fuentes pueden ser trabajos subterráneos (el 28 % de la corteza terrestre es sílice), cristalerías, vidrierías, trabajos con arena o pulidos.

La teoría inmunológica de acción de la sílice cristalina libre es la siguiente: las partículas entran por vía respiratoria a los pulmones, donde se depositan. Los macrófagos fagocitan las partículas de sílice y producen su lisis. Se forman nódulos silicóticos. La aparición de fibroblastos da lugar a la producción de fibras colágenas.

La enfermedad profesional por exposición crónica a sílice cristalina libre se denomina *silicosis* y se puede manifestar diez o veinte años después de la exposición. El avance de la enfermedad lleva a complicaciones como tuberculosis y cáncer. El control de exposición al polvo silicótico se hace, en el ámbito laboral, a través de estudios radiológicos (clasificación de OIT), clínicos (disnea, adelgazamiento, astenia) y pruebas funcionales pulmonares.

ASBESTO O AMIANTO

El asbesto (30), también llamado amianto, es un grupo de seis minerales metamórficos fibrosos, compuestos de silicatos de cadena doble. Los minerales de asbesto tienen fibras largas, resistentes y lo suficientemente flexibles como para que se puedan separar y entrelazar. Son fibras compuestas por cadenas de silicato fibroso, del cual hay diferentes tipos: crisotilo y anfíboles (crocidolita, amosita, antofilita, tremolita y actinolita) de importancia comercial.

Los usos industriales han sido muchos, aunque se están prohibiendo en el mundo por su toxicidad. Se ven en la fabricación de amianto-cemento, de frenos y embriagues (por su gran resistencia de fricción), de tejidos incombustibles (resistente a la agresión química y aislante del calor) y fabricación de juntas, entre otros. Las propiedades de las fibras son muchas, por eso es difícil su sustitución:

- Resistencia a los ácidos.
- Aislante del calor y de la electricidad.
- Resistencia a la tracción.
- Posibilidad de mezclarse con otros productos (cemento, caucho, materias plásticas) para modificar sus propiedades.

La enfermedad profesional desarrollada por la exposición crónica de los trabajadores se llama *asbestosis*. Esta neumoconiosis maligna provocada por la inhalación de fibras de asbesto se manifiesta entre diez y veinte años después de iniciarse la exposición, lo que dificulta en gran medida su diagnóstico. Se caracteriza por la aparición de una fibrosis pulmonar difusa que origina una rigidez de los tejidos pulmonares y restringe la función respiratoria. En los estados avanzados también aparecen calcificaciones.

Hay una relación directa entre la aparición de cáncer de pulmón y la fibrosis pulmonar. Se destaca que el humo de tabaco actúa en sinergia con las fibras de amianto, por lo que la población laboral fumadora expuesta a este contaminante presenta mayor riesgo que la no fumadora.

METALES, MATERIAL PARTICULADO

El tema de los metales (Pb, As, Cr, Hg, Cd) merece una dedicación especial por su importancia. Confío en la elaboración de un segundo libro para desarrollarlos.

Referencias

1. Organización Panamericana de la Salud. (OPS). Disponible en: <https://www.paho.org/es/documentos/toxicologia-ocupacional>
2. Díaz Padrón H. *Toxicología ocupacional*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2019.
3. Quer-Brossa S. *Toxicología industrial*. Madrid: Salvat Editores; 1983.
4. Ibarra Fernández de la Vega EJ. *Toxicología en salud ocupacional*. La Habana: Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores; 2020.
5. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). NTP 406. Contaminantes químicos: evaluación de la exposición laboral (I). Madrid: INSHT; 1996. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_406.pdf/bb682bf1-a908-49ac-9c81-286e74def4ef?version=1.1&t=1680164544026
6. Albiano NF. *Toxicología laboral. Criterios para la vigilancia de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas*. 2.ª edición. Buenos Aires: SRT; 2003.
7. Ministerio de Salud Pública (MSP). Ordenanza n.º 145/009 (anexo) de fecha 13/3/2009. Disponible en: <https://www.bse.com.uy/wps/wcm/connect/5410c616-d44e-4be0-a691-47d64d6852b1/ORD145.009.pdf?MOD=AJPERES>
8. Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH). 2023 *TLVs and BEIs based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices*. Cincinnati: ACGIH; 2023.
9. Klaassen CD, Watkins JB. *Manual de toxicología (Casarett & Doull)*. 5.ª edición. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana; 2001.
10. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). Dióxido de carbono. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs201.html
11. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). DLEP 125: *Cianuros*. Madrid: INSST; 2019. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+125+Cianuros+2019.pdf/e15e4bd6-bcd0-48f6-a748-322f2d0d5ae2?version=1.1&t=1578966421240>
12. Balam R, Albores A. Hidrocarburos. En Rojas M, coordinadora. *Toxicología ambiental y ocupacional*. Valencia: Universidad de Carabobo; 2011, pp. 329-352.
13. FREMAP. *Manual de higiene industrial*. 2.ª edición. Madrid: Fundación Mapfre; 2015. Disponible en: <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/151999.do>

14. Bellot Iglesias JL, Fornieles Pérez H, Martínez Coronel JF. Intoxicación por disolventes. En Barranco F, editor. *Tratado UNINET* [internet]. Disponible en: <https://uninet.edu/tratado/c100803.html>
15. Piscoya Arbañil J. Toxicidad de los solventes como riesgo ocupacional. *Bol. Soc. Peru. Med. Interna* [internet]. 2000; 13(1). Disponible en: <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/spmi/v13n1/toxicidad.htm>
16. Téllez Mosquera J, Cote Menéndez M. Alcohol etílico: un tóxico de alto riesgo para la salud humana socialmente aceptado. *Rev. Fac. Med.* [internet]. 2006 Mar.; 54(1). Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-00112006000100005
17. Repetto M. Toxicología del alcohol etílico. En *Toxicología avanzada*. 3.ª edición. Madrid: Editorial Díaz de Santos; 1997, pp. 425-475.
18. Alcalá Pedrajas JN. Intoxicación por metanol. *An. Med. Interna* [internet]. 2002 Sep.; 19(9), pp. 494-495. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-71992002000900020
19. Pérez Quintero A, Nogué Xarau S. Intoxicación por metanol. *Med. Clín.* 1983; 81: pp. 488-491.
20. Villanueva Anadón B, Ferrer Dufol A, Civeira Murillo E, Gutiérrez Cia I, Laguna Castrillo M, Cerrada Lamuela E. Intoxicación por metanol. *Med. Intensiva* [internet]. 2002; 26(5), pp. 264-266. Disponible en: <https://www.medicintensiva.org/es-intoxicacion-por-metanol-articulo-13033600>
21. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). Resúmenes de salud pública: *n*-hexano (*n*-hexane). s. l.: ATSDR; 1999. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs113.html
22. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). Cloroformo. Disponible en: <https://search.cdc.gov/search/index.html?query=cloroformo&siteLimit=atsdr.cdc.gov&page=1>
23. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). HC halogenados. Disponible en: <https://search.cdc.gov/search/index.html?query=cloroformo&siteLimit=cdc&page=1>
24. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). ToxFAQs: Tetracloruro de carbono (carbon tetrachloride). s. l.: ATSDR; 2005. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts30.html
25. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). ToxFAQs: Tetracloroetileno (tetrachloroethylene). s. l.: ATSDR; 2019. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts18.html
26. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). Resúmenes de salud pública: Benceno (benzene). s. l.: ATSDR; 2007. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.html

27. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). NTP 486. *Evaluación de la exposición a benceno: control ambiental y biológico*. Madrid: INSHT; 1998. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/14-serie-ntp-numeros-471-a-505-ano-1999/ntp-486-evaluacion-de-la-exposicion-a-benceno-control-ambiental-y-biologico>
28. Periago JF, Zambudio A, Prado C. Evaluación de los niveles ambientales de hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno y xileno) en estaciones de servicio. En *8.ªs Jornadas de Análisis Instrumental*. Barcelona; 1996, pp. 436-446.
29. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). NTP 775. *Riesgos higiénicos de los trabajadores en estaciones de servicio*. Madrid: INSHT; 2007. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/22-serie-ntp-numeros-751-a-785-ano-2007/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-775>
30. Meigikos dos Anjos Santos A. *O tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho*. San Pablo: Fundacentro; 2001.
31. Lauwerys RR. *Toxicología industrial e intoxicaciones profesionales*. Barcelona: Masson; 1994.
32. Olympic Region Clean Air Agency (ORCAA). *Análisis de la calidad del aire ambiente*. Olympia: ORCAA; 2018. Disponible en: <https://www.orcaa.org/es/air-quality/whats-in-our-air/>
33. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). NTP 890. *Aglomerados de cuarzo: medidas preventivas en operaciones de mecanizado*. Madrid: INSHT; 2010. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/25-serie-ntp-numeros-856-a-890-ano-2011/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-890>
34. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Amianto. Disponible en: <https://www.insst.es/amianto1>
35. Medline Plus. Primeros auxilios en caso de dificultad respiratoria. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000007.htm>
36. Medline Plus. Disminución del estado de conciencia. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003202.htm>
37. Medline Plus. Anomalías en la forma de caminar. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003199.htm>
38. Medline Plus. Náuseas y vómitos en adultos. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003117.htm>

CONTAMINANTES QUÍMICOS EN HIGIENE INDUSTRIAL



Generalidades y definiciones

La Asociación Americana de Higiene Industrial (AIHA) define su propia disciplina de esta manera:

Es la ciencia y práctica dedicada al reconocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales o tensiones emanadas o provocadas por el lugar de trabajo y que pueden ocasionar enfermedades, destruir la salud y el bienestar o crear algún malestar significativo entre los trabajadores o los ciudadanos de la comunidad (1).

En otras palabras, la higiene industrial u ocupacional es el conjunto de técnicas **no médicas** encaminadas a modificar el **ambiente** de trabajo con el fin de lograr una disminución de la peligrosidad del medio en que se desenvuelve el hombre. Es una disciplina que tiene como objetivo evitar el desarrollo de enfermedades profesionales (2). Estas últimas son entendidas como la enfermedad contraída con el tiempo por consecuencia de las actividades que se desarrollen en el trabajo y que esté provocada por la acción de los elementos o sustancias utilizadas. Nuestro país tiene una lista de las enfermedades profesionales **que se aceptan como tales**, que ha ido cambiando con el tiempo (3).

El higienista industrial es definido por la AIHA como una persona (de preferencia, licenciado en ingeniería, química, física, medicina o ciencias biológicas) que por estudios especiales y entrenamiento ha adquirido competencia en la higiene industrial.

Ramas de la higiene industrial

HIGIENE TEÓRICA

Es la rama de la higiene del trabajo que se encarga del estudio de los contaminantes y de su relación con el hombre a través de estudios epidemiológicos y experimentación humana o animal. Su objeto es estudiar las relaciones entre dosis y respuesta o entre contaminante, tiempo de exposición y hombre para establecer los valores estándar de concentración de sustancias en el ambiente y períodos de exposición a los que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos de forma repetida sin que se produzcan efectos perjudiciales para su salud (4).

Esta rama constituye la base de toda la higiene del trabajo, ya que establece las condiciones y los valores de concentración a los que la mayoría de los trabajadores podrán estar expuestos sin riesgo para su salud.

HIGIENE ANALÍTICA

Es la rama de la higiene industrial que investiga y hace el análisis cualitativo y cuantitativo de los contaminantes presentes en el ambiente de trabajo. Esta rama está en estrecha relación y colaboración con el resto y permite evaluar la magnitud del riesgo higiénico. Podemos definirla como la química analítica aplicada a la higiene del trabajo. Se encarga de procesar las muestras y con ellas determinar de forma cualitativa y cuantitativa los contaminantes químicos presentes en el ambiente laboral (4).

HIGIENE DE CAMPO

Es la rama de la higiene industrial que efectúa el estudio y el reconocimiento del ambiente, así como también de las condiciones de trabajo, identificando y evaluando los riesgos higiénicos y sus posibles causas con el fin de adoptar las medidas necesarias para su control.

La higiene de campo industrial involucra la medición y evaluación de agentes contaminantes en los ambientes de trabajo. Determina la exposición al comparar los resultados con los estándares apropiados. Los pasos a seguir son la identificación del peligro, medición y evaluación de la magnitud del riesgo e indicación de soluciones (4).

HIGIENE OPERATIVA

Es la rama de la higiene industrial que estudia los aspectos relacionados con las acciones correctoras y preventivas que se aplicarán para eliminar o disminuir los riesgos detectados tras evaluarlos en las empresas (4).

Evaluación higiénica

Se define con el proceso de toma de decisión cuyo resultado es una opinión acerca del grado de peligro para la salud a causa de un contaminante industrial que se produce durante las operaciones industriales. Implica una evaluación ambiental y una biológica. Ambas dan información complementaria (4).

Evaluación ambiental

Es un diagnóstico sobre una situación producida por uno o varios factores ambientales (o por su combinación) que se basa en los datos obtenidos en mediciones o estimadores de exposición. Todo ello está en relación con determinados criterios de valoración (4).

Evaluación biológica

El contacto del hombre con las sustancias químicas que se producen en los procesos de trabajo posibilita su entrada al organismo por diferentes vías. Esto puede provocarle o no, de acuerdo con la dosis absorbida, enfermedades u otras alteraciones en su estado de salud (4).

La evaluación biológica es una valoración indirecta de una exposición profesional a agentes nocivos. En ella se mide, en un medio biológico adecuado, la concentración del agente como tal, de sus metabolitos o de los fenómenos que reflejen modificaciones bioquímicas o no. La toxicología laboral u ocupacional trabaja en este punto sobre las resultantes (específicas o no) de la absorción del tóxico (ver capítulo «Generalidades de la toxicología»).

Todos los factores y procesos son concomitantes e interactúan necesariamente sobre el organismo del trabajador, teniendo en cuenta su permanencia en el entorno laboral durante la jornada diaria y durante toda su vida de trabajo (5).

Contaminantes laborales en el aire

Los contaminantes en los ambientes laborales se pueden presentar como contaminantes químicos, agentes físicos o contaminantes biológicos.

Contaminantes químicos. Se pueden clasificar de varias formas: por cómo se presentan los PQ en el ambiente laboral y por sus efectos en el organismo humano. En el ambiente se pueden presentar como gases, vapores o aerosoles (sólidos y líquidos).

- **GAS:** estado físico normal de una sustancia a 25 °C y 760 mmHg de presión.
- **VAPOR:** fase gaseosa de una sustancia ordinariamente sólida o líquida a 25 °C y 760 mmHg de presión.

Se definen los **aerosoles** como la dispersión de partículas líquidas o sólidas suspendidas en un medio gaseoso, cuyo tamaño varía de 0,001 µm a 100 µm.

- **LÍQUIDOS:**
 - Producidos por la ruptura mecánica de líquidos. Dan lugar a nieblas.
 - Producidos por la condensación de vapores de sustancias líquidas a temperatura ambiente. Dan lugar a neblinas.
- **SÓLIDOS:**
 - Producidos por la ruptura mecánica de sólidos. Dan lugar a polvos.
 - Producidos por la condensación de vapores de sustancias sólidas a temperatura ambiente. Dan lugar a humos.

Agentes físicos. Se presentan como energía mecánica (ruido, vibraciones), electromagnética (radiaciones) o térmica (frío, calor).

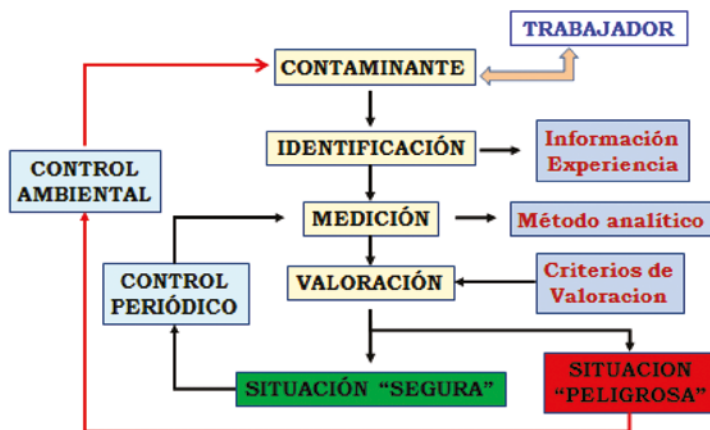
Contaminantes biológicos. En esta categoría entran los virus, bacterias, hongos.

También existensituaciones laborales que se consideran, como, por ejemplo, la interacción física entre la tarea y el trabajador (ergonomía).

Actuación en higiene industrial

La forma de trabajar en higiene, teniendo en cuenta cómo se presentan los contaminantes en el aire, se muestra en la figura 8, donde, además, pueden observarse las diferentes etapas (2).

Figura 8. Actuación en higiene industrial



Fuente: elaboración propia.

Las etapas consecutivas más importantes que se reconocen están desarrolladas a continuación (2, 5).

Primera etapa: Identificación

Consiste en la identificación, análisis y determinación de las causas y fuentes principales de la contaminación ambiental y de la exposición de los trabajadores. En esta etapa se identifican y evalúan de forma crítica los diferentes procesos que pueden propiciar la emisión de sustancias tóxicas en el aire y se determinan los posibles agentes tóxicos contenidos en las materias primas y productos elaborados, semielaborados y subproductos. Se evalúan, además, las posibilidades de que estos agentes puedan realmente constituir un riesgo para la salud de los trabajadores mediante el análisis de las propiedades físicas y químicas propias de las sustancias y materiales que se emplean o generan y las características del proceso en que intervienen.

En esta etapa, en muchos casos, es necesario recurrir a la búsqueda de información amplia sobre los procesos industriales y tecnológicos

específicos y sobre las características y propiedades toxicológicas de las sustancias químicas que participan en ellos. La búsqueda de la información necesaria sobre las fuentes de contaminación se hace, por lo general, sobre la consideración todos y cada uno de los procesos tecnológicos específicos asociados a cada puesto de trabajo, las materias primas de que se abastece y las transformaciones físicas y químicas que sufren los materiales durante el proceso, entre otros. Es fundamental el dialogo con gerentes, supervisores y operarios; todos aquellos que de alguna manera participan en los procesos. Debemos conocer la cantidad de operarios por puesto de trabajo, los procedimientos, los tiempos de trabajo, las rotaciones y los tiempos de limpieza de equipos y áreas, entre otros. Con la información resumida se elabora y propone una hipótesis de trabajo sobre los posibles contaminantes, se presenta una propuesta de trabajo y, después, se procede a su verificación experimental.

Para el análisis cualitativo preliminar a veces pueden emplearse métodos rápidos (tubos indicadores de gases y vapores o papeles indicadores, por ejemplo) que permitan una identificación veloz de los contaminantes presentes en el medio laboral. Estos métodos, por lo general, nos permiten conocer también —con determinado grado de aproximación— el orden o nivel cuantitativo de la contaminación del aire, aunque la mayoría de las veces no es posible.

Segunda etapa: Medición

Se determinan las concentraciones de las sustancias **identificadas** en el aire y el nivel de la exposición de los trabajadores. Al comienzo de esta fase del estudio se deberán seleccionar los métodos apropiados de muestreo (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional [NIOSH], OSHA) y análisis fisicoquímico de los contaminantes del aire, teniendo en cuenta las características de los procedimientos disponibles y las posibilidades objetivas de utilizarlos en la práctica higiénico-sanitaria.

Los puntos de muestreo se seleccionan y distribuyen considerando la posición que ocupa cada operario frente al objeto de trabajo durante la jornada, sus tareas habituales y la duración de cada etapa del proceso. De manera simultánea, junto con las determinaciones de las concentraciones de los contaminantes en el aire, se analizan y valoran también otros parámetros e indicadores microclimáticos (temperatura del aire, presión atmosférica, humedad relativa,

movimiento de las corrientes de aire, por ejemplo) y tecnológicos (disposición de los locales e instalaciones, sistemas de ventilación existentes, entre otros), con el fin de comprender la situación y características del ambiente laboral. Con ello también se busca que los muestreos sean representativos de la posible exposición de los trabajadores en sus puestos de trabajo.

Tercera etapa: Valoración

En esta etapa se analizan las muestras y la interpretación de los resultados. Se inicia con el cálculo de las concentraciones de las sustancias captadas en el aire y se estima la magnitud de la exposición de los trabajadores en cada puesto laboral. Las concentraciones obtenidas se comparan por separado con los límites de exposición preestablecidos.

La interpretación integral de los resultados se efectúa incluyendo en la valoración el análisis de la posible influencia de los otros factores microclimáticos y tecnológicos sobre el estado de la contaminación de la zona de trabajo y sobre la exposición individual y colectiva de los trabajadores sometidos al riesgo. De los resultados de esta etapa podemos establecer si las condiciones son aceptables (*seguras*) o no aceptables (*peligrosas*).

Cuarta etapa: Conclusiones y recomendaciones

Se llegan a las conclusiones del estudio y, según los resultados, se pueden hacer recomendaciones higiénicas sanitarias apropiadas.

La eliminación o disminución de las concentraciones de los contaminantes se puede lograr mediante la sugerencia de un sistema de ventilación adecuado, que depende de la naturaleza fisicoquímica de las sustancias presentes y de sus niveles ambientales. Se deben tener en cuenta las características técnicas de los sistemas de controles conocidos y disponibles, y las posibilidades económicas y de instalación en los locales de trabajo.

La disminución de la exposición a los contaminantes también puede lograrse a través de cambios en los procesos o procedimientos de trabajo que conlleven menor contacto del hombre con las sustancias químicas, por sustitución de las sustancias por otra menor toxicidad o por del empleo de medios de protección individual (tomado como último recurso o mientras se realizan los cambios).

Quinta etapa: Control

Implica la verificación de la efectividad del conjunto de medidas adoptadas para la disminuir la contaminación del aire o para la reducción de la exposición de los trabajadores. Después de poner en marcha los cambios, se comprueba en la práctica si, en efecto, las concentraciones de las sustancias tóxicas en el aire han sido reducidas hasta valores del orden de los límites de exposición establecidos (o inferiores) y si la exposición individual y colectiva de los operarios ha disminuido de manera relevante a rangos que no constituyan un riesgo objetivo para la salud humana.

La variabilidad de las condiciones microclimáticas en los puestos de trabajo y la intermitencia de los procesos productivos provocan fluctuaciones importantes en las concentraciones de las sustancias tóxicas en el aire, lo que puede complejizar de manera significativa la evaluación higiénica de la exposición ocupacional a los contaminantes. La elección correcta de los lugares de muestreo y el número y momento de las mediciones a realizar son elementos esenciales, entre otros, para el diseño experimental de la ejecución del muestreo.

En resumen

El estudio higiénico ambiental laboral requiere, por lo tanto, que se cumplan, de manera regular y sistemática, tareas particulares para poder alcanzar adecuadamente los objetivos propuestos. Estas tareas son, a grandes rasgos, las siguientes:

- Preparación, desarrollo, perfeccionamiento y validación de métodos de ensayo lo suficientemente exactos, precisos, específicos, sencillos, rápidos y económicos para el análisis de las concentraciones de las sustancias tóxicas, tanto en el aire de la zona de trabajo como en determinados medios biológicos (Uruguay recomienda los métodos del NIOSH o la OSHA).
- Desarrollo, perfeccionamiento y normalización de las técnicas y procedimientos de muestreo ambiental y biológico de las sustancias tóxicas, en correspondencia con los criterios y valores de los límites de exposición ocupacional a las sustancias tóxicas que se establezcan para el control de la exposición de los trabajadores (Cequimtox, Facultad de Química). El MSP recomienda los valores permitidos en muestras biológicas (BEI) y el MTSS

recomienda los valores permitidos en muestras ambientales en el trabajo (valores límite umbral [TLV]).

- Formación, capacitación, adiestramiento y perfeccionamiento sistemáticos del personal para la evaluación de los factores químicos de riesgo profesional.

Por lo general, en el proceso de determinación, evaluación y control de la calidad del aire del ambiente laboral se debe proceder de acuerdo con una determinada secuencia lógica en las actividades y tareas que conlleva este tipo de labor, en aras de lograr de la manera más sencilla, rápida y eficiente posible los objetivos propuestos (5).

Comentarios en la actuación en higiene industrial

El procedimiento de la toma de muestras con frecuencia introduce errores en la estimación. Las causas principales son la ineficiencia de los colectores de muestras y las inexactitudes de los medios de medición de volumen o gasto de aire. De manera ocasional, también la falta de hermeticidad del sistema de toma de muestras puede contribuir al falseamiento de los resultados. Los métodos de ensayo para la determinación de las concentraciones de las sustancias tóxicas pueden, de igual forma, introducir errores en los resultados. Esto se debe, sobre todo, a la presencia de sustancias interferentes concomitantes en el aire y a la utilización de aparatos o reactivos químicos no adecuados o en mal estado. También, según el tipo de muestreo empleado, los resultados podrán ser más o menos representativos de la exposición real de los trabajadores a los contaminantes ambientales dados.

Por otra parte, la variabilidad de las condiciones de los puestos de trabajo establece y define la necesidad de analizar no solo las concentraciones medias de los contaminantes durante toda la jornada laboral, sino también las concentraciones máximas o extremas (picos). La significación higiénico-sanitaria de la concentración promedio y de las máximas dependerá en gran medida de la naturaleza fisicoquímica de la sustancia nociva y de su forma de acción tóxica en el organismo humano. En presencia de sustancias tóxicas cuyas acciones fundamentales se producen por la acumulación en órganos y tejidos, las concentraciones promedio tienen una importancia preponderante respecto a las máximas y se asocian conceptualmente al término *intoxicación crónica*. La acumulación diaria del agente tóxico en el organismo es, en estos casos, directamente proporcional a la

concentración promedio en el aire que respira el trabajador durante la jornada total de trabajo.

Cuando la reactividad de la sustancia química es elevada y esta se elimina del organismo con relativa rapidez, las concentraciones máximas adquieren una importancia mayor, por lo que se asocian al concepto *intoxicación aguda*. Es posible que un trabajador expuesto a altas concentraciones de este tipo de contaminantes durante períodos relativamente cortos contraiga una intoxicación de carácter agudo sin la necesidad de que la concentración promedio supere de forma significativa el límite de exposición correspondiente.

Por supuesto, la relación que puede admitirse entre la concentración pico y la promedio es variable, pues depende de las características de la sustancia tóxica en cuestión (DL_{50} , CL_{50} o similares).

La evaluación higiénica y la biológica son complementarias

En el estudio higiénico integral del área de trabajo, no solo es importante definir la calidad del aire que se respira por las tareas desarrolladas, sino que también es imprescindible conocer el estado de salud del trabajador sometido ocupacionalmente al riesgo (3). El hombre y su ambiente laboral constituyen una unidad en el proceso de trabajo. La evaluación conjunta de ambos factores proporciona un criterio multilateral mucho más acertado de la situación específica ambiental y permite establecer un determinado nivel de correspondencia entre la causa (contaminación del medio) y el efecto (desviaciones de salud de los trabajadores). Es por esto que aquellos que trabajamos en esta área insistimos en que deberíamos formar un equipo junto al médico laboral y los higienistas o técnicos preventivistas (u otras disciplinas relacionadas). Obrar en conjunto facilita el cuidado de la salud de los trabajadores.

Esta situación determinada, sin embargo, en la práctica no siempre refleja lo esperado en cuanto a correspondencia de acuerdo con las consideraciones teóricas preliminares, pues puede ocurrir que los efectos que se puedan producir en el organismo por determinadas sustancias realmente no se hayan manifestado aún. Esto sucede en aquellos casos en que los síntomas comienzan a surgir o manifestarse al cabo de un tiempo de exposición más o menos prolongado.

En algunas oportunidades no se establece de forma aparente la correspondencia adecuada por la existencia de otros factores no tomados en consideración, tales como la sobreexposición accidental o no ocupacional a las sustancias tóxicas (no determinada mediante el muestreo del aire de la zona de trabajo) o, por el contrario, una menor exposición del trabajador (que conoce el contaminante y se protege). Por ejemplo, los valores biológicos pueden diferir de los ambientales en un trabajador que hace tareas similares fuera de la empresa, ya que existe la posibilidad de que durante esas actividades no se proteja de manera adecuada. En estos casos, se manifiesta la importancia del diálogo y contacto con los trabajadores para poder ayudarlos.

Métodos de muestreo ambiental de contaminantes químicos

Diferentes instituciones del ámbito internacional proponen métodos de muestreo para los PQ en el aire. Los más utilizados son los recomendados por el NIOSH y la OSHA (6, 7). El MTSS de Uruguay aconseja seguir la postura de estos dos organismos en su sitio web y en el Decreto n.º 307/009 (8).

Para la realización de la toma de muestra de contaminantes químicos en el medio ambiente industrial es preciso tener en cuenta los siguientes puntos:

- Lugar de muestreo. Se puede realizar un muestreo personal, en el ambiente en general o en la operación.
- Individuos a muestrear. Los expuestos de manera directa, los que se encuentren en zonas adyacentes o los que estén en zonas alejadas.
- Duración de la muestra. Según el tipo de valor límite que se empleará en el procedimiento analítico o según una concentración estimada.
- Número de muestras. Es posible hacer una muestra de *screening*, prever un número predeterminado de muestras o una combinación de ambos.

El MUESTREO AMBIENTAL consiste en medir en un volumen de aire una propiedad específica o inespecífica de los productos que se supone que contiene (2, 9). Implica:

- Medición directa (específica o inespecífica) de los contaminantes presentes en el aire.
- Recolección directa del aire en un recipiente para su posterior análisis en el laboratorio.
- Adsorción o absorción del contaminante a través de la fijación y concentración sobre los elementos de captación o soportes.

Los muestreos pueden ser **ACTIVOS** o **PASIVOS**.

MUESTREO PASIVO

Es definido como un muestreo en el que **NO** se fuerza el paso del aire a través del sistema de captación. El fundamento teórico de estos dispositivos se basa en la capacidad de difusión y permeación que tienen algunos contaminantes.

De lectura directa

Los **MÉTODOS COLORIMÉTRICOS** consisten en tubos indicadores con un reactivo sólido. Son tubos dosímetros colorimétricos de distintas marcas y para muchas sustancias que son muy fáciles de utilizar. Se rompe uno o los dos extremos del tubo (según la marca), se coloca alrededor de las vías respiratorias del trabajador y se deja allí el tiempo establecido. Según el cambio de color o la extensión de la mancha en función del tiempo se calculan las partes por millón del contaminante estudiado.

De lectura indirecta

Son monitores que se basan en métodos que, en forma pasiva, adsorben o absorben el o los contaminantes en un medio adecuado. Después, se lleva al laboratorio a analizar. Se utilizan para compuestos orgánicos y para cierto número de sustancias inorgánicas. Están basados en reacciones características, como, por ejemplo, las de óxido de etileno y formaldehído.

El sistema de muestreo con su elemento de captación se coloca cerca de las vías respiratorias del trabajador, se deja durante un tiempo estipulado, se acondiciona y se lleva al laboratorio, donde se desorben y analizan los posibles contaminantes, generalmente, por cromatografía gaseosa o por cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC).

La gran limitación de estos muestreos es que son exclusivos para gases o **PQ** en fase vapor. También es limitante la necesidad de conocer de forma exacta el caudal equivalente para cada contaminante de su invariabilidad. Confiamos en los fabricantes para acceder a esa información.

El uso de muestreadores pasivos no requiere de personal capacitado; solo se precisa un laboratorio que pueda realizar los análisis con las exigencias de un buen sistema de control de calidad. Se emplean en ambientes hospitalarios, quirófanos, zonas estériles y para muestreos prolongados o controles periódicos de contaminantes concretos.

MUESTREO ACTIVO

Es definido como un sistema que fuerza el paso del aire a través de un dispositivo que cumple una de las funciones del monitoreo ambiental antes mencionadas: medición directa, específica o inespecífica; recolección directa del aire, y adsorción o absorción del contaminante.

De lectura directa

Con estos aparatos se hace el muestreo y el análisis en el propio instrumento. Por lo general, se obtiene la concentración de un determinado contaminante.

En función de la forma en que se presentan los contaminantes químicos en el ambiente se puede hacer la siguiente clasificación de los distintos instrumentos de lectura directa, según el principio físico o químico en el que se basa su funcionamiento. Para **aerosoles** líquidos o sólidos se emplean instrumentos ópticos o eléctricos, mientras que para **gases** y **vapores** se pueden utilizar **MONITORES** (eléctricos, térmicos, electromagnéticos, quimio-electromagnéticos, magnéticos) o **COLORIMÉTRICOS** (papeles o líquidos reactivos, tubos indicadores).

Los tubos colorimétricos tienen un reactivo sólido (a veces poco específico) y se emplean en la industria para hacer mediciones de PQ en forma de vapor o gas en el aire. Sin embargo, no se recomienda para valoraciones higiénicas. Esto se debe a los errores sistemáticos que se producen por las fechas de caducidad (que a veces no se respetan), a los problemas que implica un calibrado deficiente por parte de los fabricantes o a que la bombita de aspiración recoge un volumen de aire incorrecto.

Figura 9. Tubos colorimétricos



Fuente: INSHT (10) y elaboración propia.

Respecto a los sistemas de toma de muestra y análisis, estos procedimientos de lectura directa de identificación y cuantificación de concentraciones ambientales de PQ presentan ciertas ventajas y desventajas.

- Ventajas:
 - Determinación más rápida.
 - Conocimiento de la evolución de las concentraciones con el tiempo.
 - Posibilidad de obtener valores puntuales.
 - Simplicidad de medidas.
- Inconvenientes:
 - Falta de especificidad y de precisión.
 - Dificultad en la aplicabilidad de los criterios higiénicos, al estar referidos a determinados criterios de tiempo.

Por estos inconvenientes es que muchas empresas se niegan a utilizar estos métodos de lectura directa.

De lectura indirecta

En cuanto a la recolección directa del aire, los instrumentos para la toma de muestras ambientales son dispositivos que permiten almacenar y conservar una porción de aire que queremos estudiar. Este sistema es para contaminantes en forma gaseosa. Los dispositivos de más amplio uso son las bolsas y jeringas.

Figura 10. Bolsas y jeringas para muestreo



Fuente: elaboración propia e INSHT (10).

Estas bolsas presentan características específicas y son útiles en higiene industrial para tomar muestras personales o ambientales de área. Sirven para determinar niveles techo o máximos y exposiciones a cortos períodos. Además, son útiles cuando estamos frente a mezclas desconocidas de gases. Pueden ser construidas de varios materiales como teflón o tedlar. Para su uso, se conecta la bolsa con una bomba impulsora de aire mediante un tubo de teflón o pvc a través de un *septum*. De esta forma, se pone una cantidad de aire conocida dentro de ella.

Los muestreos personales son difíciles por la molestia del trabajador de llevar la bolsa. Otro inconveniente que tiene es que no se concentra la muestra y se pueden presentar problemas con los límites de detección.

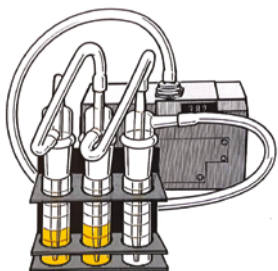
En cuanto a los casos de adsorción o absorción, la captación de los contaminantes químicos por su fijación y concentración sobre soportes constituye la técnica más ampliamente utilizada. Consiste en forzar el paso del aire que contiene las sustancias químicas peligrosas a través de un soporte, que es lo que luego se lleva al laboratorio a analizar. Las transformaciones químicas o físicas de las muestras de campo en el laboratorio (preparación de muestras) posibilitan la aplicación de las técnicas instrumentales.

Considerando que en la higiene industrial las cantidades de muestras recogidas son del orden de los microgramos (μg), la calidad de los soportes y reactivos usados en su preparación debe ser muy estricta. La eficiencia de retención debe ser elevada, así como la preparación de las muestras debe ser acompañada de buenos coeficientes de recuperación.

Borboteadores o impingers

Utilizan soluciones absorbentes que fijan los contaminantes mediante la solubilización u otras reacciones químicas como neutralización, oxidación o reducción, entre otras.

Figura 11. Borboteador o impinger



Hay distintos tipos de borboteadores o impingers. Según su diseño, el área de contacto será diferente y más eficaz entre el aire contaminado y la solución absorbente. Tienen diferencias en el tamaño, el número de burbujas y la cantidad de solución. Este sistema es utilizado para aerosoles líquidos o gaseosos. Lo que cambia es la forma de contacto del aire que entra con el área del líquido, que puede ser un tubo o un vidrio fritado.

Fuente: INSHT (10).

Por lo general, el sistema emplea varios tubos para aumentar la eficacia de retención. El primero recoge la mayor parte de la muestra, el segundo es un testigo del muestreo —por si se satura la solución anterior— y el tercero, que está vacío, se usa como trampa para proteger la bomba de aspiración en caso de que el líquido vaya para atrás.

Filtros o membranas

Hay diferentes tipos de filtros o membranas. Los más comunes son:

1. Mezcla de ésteres de celulosa. Son muy utilizados para la captación de metales en aire, ya que se puede aplicar espectrometría de absorción atómica, de emisión, de fluorescencia, infrarroja, UV-visible y difracción de rayos X.
2. Fibra de vidrio. Son resistentes a la humedad y poseen una alta capacidad para retener sólidos.
3. Cloruro de polivinilo. Son manufacturados con PVC, resistentes a los álcalis y ácidos concentrados. Son los recomendados para los análisis gravimétricos porque tienen poca afinidad por la humedad y baja tara.
4. Teflón. Son contruidos con PTFE, hidrofóbicos, resistentes a los fluidos químicos y disolventes.

Las membranas —según su tamaño, naturaleza y diámetro medio de poro— son eficaces para el muestreo de polvos inertes, metálicos y silicóticos, humos metálicos, aerosoles, fibras, hidrocarburos policíclicos aromáticos, pesticidas y nieblas, entre otros.

Figura 12. Casetes con filtros



Para manipularlos se deben introducir en unos portafiltros (casetes) de dos o tres cuerpos, un filtro y un soporte, que generalmente es de celulosa.

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Ciclón con filtro



Si el contaminante que se desea estudiar está en forma de polvo, se puede realizar el muestreo directamente con el filtro en el casete o se puede utilizar un ciclón, que es un dispositivo que separa las partículas más pequeñas cuando entra el aire contaminado para que se impacten en el filtro, mientras que las más pesadas decantan.

Fuente: INSHT (10).

Sólidos adsorbentes

Los sólidos adsorbentes contenidos en unos tubos de vidrio tienen una elevada actividad superficial. Los tubos tienen dos secciones diferenciadas. La segunda —por lo general, de menor tamaño— sirve de testigo.

Figura 14. Tubo adsorbente



Las sustancias de relleno más utilizadas son el carbón activado, gel de sílice, hopcalita, alúmina, chromosorb o tenax. El muestreo con los tubos adsorbentes es el mejor método de recolección de compuestos peligrosos en aire en forma de gases y vapores.

Fuente: INSHT (10).

Equipos de muestreo

Los muestreadores personales o bombas de aspiración son los equipos que se encargan de hacer pasar un determinado volumen de aire a través de los elementos de retención. Deben de tener un sistema que permita regular de forma instantánea las variaciones del caudal de aire aspirado que se pueden producir por la saturación del soporte.

Figura 15. Bombas de aspiración



Estas bombas deben tener una autonomía de por lo menos 8 horas y un caudal que varíe de 1 mL/min a 5000 mL/min, así como una construcción segura. Se deben calibrar antes y después de los muestreos.

Fuente: elaboración propia.

Niveles permitidos en aire de exposición laboral

Tal como se mencionó en el capítulo sobre toxicología ocupacional, debemos recordar que los criterios de valoración **no son una frontera entre la salud y la enfermedad** (9, 10).

Existen diferentes instituciones que definen valores permitidos en el ambiente laboral. En Estados Unidos están la ACGIH (TLV), el NIOSH (*exposure limits* o EL), la AIHA (*workplace environmental exposure limits* o WEEL) y la OSHA (PEL). En Rusia y Japón se rigen por los valores máximos permitidos (MAC). Nuestro país adopta los valores de la ACGIH (9) en su última publicación a través del Decreto n.º 307/009 del MTSS. La presente reglamentación establece las disposiciones mínimas obligatorias para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

La ACGIH (9) es una asociación dedicada al desarrollo de los aspectos técnicos y administrativos de la protección de la salud de los trabajadores, tanto en instituciones públicas como en universidades. Los comités encargados de la elaboración de criterios de ventilación

industrial y los TLV son reconocidos internacionalmente por sus contribuciones en el campo de la higiene industrial.

La ACGIH define los límites permitidos en ambientes laborales como *threshold limits values* (TLV), concentraciones ambientales de sustancias expresadas como mg/m³ o en ppm. La ACGIH admite que, dada la variabilidad de la susceptibilidad individual, un porcentaje de trabajadores puede experimentar ligeras molestias ante ciertas circunstancias iguales o inferiores al límite umbral, e incluso, en menor grado, pueden verse afectados por un agravamiento de dolencias previas o por la aparición de una enfermedad profesional. Por esta variedad de efectos, se han definido tres tipos de valores límite.

1. TLV-TWA: valor límite umbral. Concentración media ponderada en el tiempo para una jornada laboral de ocho horas (o cuarenta horas semanales), a la cual la mayoría de los trabajadores puede estar expuesta de manera repetida, día tras día, sin sufrir efectos adversos.
2. TLV-STEL: límite de exposición de corta duración. Se define como el límite de la exposición media ponderada durante quince minutos y no debe repetirse más de cuatro veces en el día. Hay un período mínimo de una hora entre sucesivas exposiciones al STEL.
3. TLV-C: valores techo. Son concentraciones que nunca deben sobrepasarse durante la jornada laboral.

Según la OSHA y por cómo se trabaja en higiene, se establece un recurso de seguridad. Cuando se realiza la evaluación higiénica, se puede decir que las condiciones de trabajo son aceptables cuando no se supera el 50 % del valor de referencia. En caso de que el resultado supere este valor, pero sea inferior al límite recomendado, se requieren mejoras o condiciones que aseguren que los valores no van a cambiar (7). Estos valores de *referencia*, como implica la palabra, **no se pueden aplicar** sin tener en cuenta que:

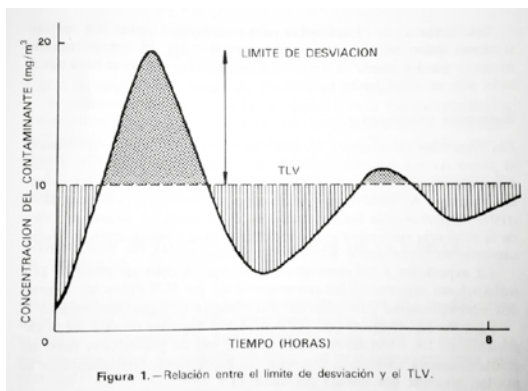
- Algunas personas pueden ser más susceptibles. Factores que influyen: edad, género, genética, opciones de estilo de vida (dieta, tabaquismo, abuso de alcohol y otras drogas), medicamentos y condiciones médicas preexistentes (asma).
- Las sustancias alergénicas, cuando las personas están expuestas día tras día, pueden tener efectos inesperados (dosis repetidas).

- Pueden existir cambios en la susceptibilidad en diferentes niveles de trabajo (por ejemplo, trabajo liviano versus pesado) o en situaciones de ejercicio.

Límites de excursión (*excursion limits*)

- Para muchas sustancias con un TLV-TWA no hay TLV-STEL.
- La concentración puede tener cualquier valor, aun cuando el promedio de las ocho horas esté por debajo del TWA (por ejemplo, exposición a ocho veces el TLV-TWA durante una hora y exposición cero durante el resto del turno).
- Las excursiones en los niveles de exposición de los trabajadores podrán superar tres veces el TLV-TWA durante no más de un total de treinta minutos durante una jornada laboral, y en ningún caso deberán superar cinco veces el TLV-TWA (siempre que no se supere el TLV-TWA).
- Cuando se dispone de los datos de TLV-STEL o un TLV-C, estos valores tienen prioridad sobre el límite de excursión.

Figura 16. Límite de excursión



No más de 3 x TWA (en 30 min)
No más de 5 x TWA (nunca)

Fuente: ACGIH (9).

TLV para mezclas de sustancias

- Cuando dos o más sustancias químicas peligrosas tienen un efecto similar para la salud en el mismo órgano o sistema objetivo, se debe considerar su efecto combinado (5).

- Puede haber efectos sinérgicos o efectos antagonistas, pero, a menos que se sepa claramente lo contrario, se puede suponer que los efectos de la exposición a tales agentes químicos son aditivos.
- Se puede calcular la fracción toxicológica como la sumatoria de los valores de cada contaminante en el aire dividido por su valor de referencia. El resultado debe ser menor a 1.

$$\sum \frac{C_i}{T_i} \leq 1$$

Referencias

1. Universidad de Zaragoza. Unidad de Prevención de Riesgos Laborales. Disponible en: <https://uprl.unizar.es/higiene-industrial/higiene-industrial>
2. FREMAP. *Manual de higiene industrial*. 2.^a edición. Madrid: Fundación Mapfre; 2015. Disponible en: <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/151999.do>
3. Obligatoriedad de la lista de enfermedades profesionales de la Organización Internacional del Trabajo (revisión 2010). Decreto n.º 210/011 de fecha 23/6/2011. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-originales/210-2011>
4. Del Prado J. *¿Qué es la higiene industrial y cuáles son sus principales ramas?* Madrid: IMF; s. f. Disponible en: <https://blogs.imf-formacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/especial-master-prevencion/que-es-higiene-industrial-principales-ramas/>
5. Ibarra Fernández de la Vega EJ. *Toxicología en salud ocupacional*. La Habana: Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores; 2020.
6. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH). Índice de contenidos. Disponible en: <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/index.html>
7. Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA). Índice alfabético de métodos analíticos y de muestreo. Disponible en: <https://www.osha.gov/chemicaldata/methods?letter=P>
8. Reglamentación para la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Decreto n.º 307/009 de fecha 3/7/2009. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/307-2009>

9. Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH).
Disponible en: <https://www.acgih.org/>
10. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). NTP 244.
Criterios de valoración en higiene industrial. Madrid: INSHT; 1989.
Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_244.pdf/b853aaf2-955b-41d7-b021-7bd702ecdd9d

AGENTES FÍSICOS Y BIOLÓGICOS EN HIGIENE INDUSTRIAL

Figura 17. Agentes contaminantes físicos



Fuente: Segura-Med C. A. (8).

Ruido

La exposición al ruido conlleva riesgos para la salud, sin embargo, se continúan observando casos de pérdida de capacidad auditiva inducida por ruido entre la población trabajadora en una proporción que no parece acorde con lo esperable, teniendo en cuenta los conocimientos y tecnologías disponibles en la actualidad (1).

La experiencia muestra que confiar la prevención de este riesgo a la utilización de equipos de protección individual es una política poco eficaz y, por tanto, se debería aplicar solo en los supuestos en que hay verdadera imposibilidad de eliminar el riesgo por otros medios. Además, se deben implantar procedimientos muy estrictos para lograr una eficacia preventiva real de los equipos de protección individual.

Se podría definir el *sonido* como toda variación de la presión que es capaz de ser percibida por nuestro órgano de la audición. Cuando este sonido es molesto o no deseado, se le suele llamar *ruido*. El sonido es capaz de propagarse en cualquier medio material (aire, hierro,

agua), pero no en el vacío (ausencia total de materia). Las magnitudes características que permiten cuantificar el ruido son la presión sonora (percepción de volumen o intensidad) y la frecuencia (percepción del tono).

Nivel de presión sonora

La presión sonora es una medida de la amplitud de las variaciones de presión. Cuanto mayor sean el aumento y disminución respecto al valor medio, mayor será la presión sonora y la sensación de volumen.

El oído humano es capaz de percibir aproximadamente presiones sonoras desde un mínimo de 20 μPa (umbral de audición) hasta 200 Pa (umbral de dolor). Manejar este rango tan amplio resulta incómodo y es habitual utilizar una escala logarítmica relativa, cuya unidad es el decibelio (dB). En el cuadro 5 se ofrecen valores de presión sonora y nivel de presión sonora con ejemplos ilustrativos.

Cuadro 5. Ejemplos de presión sonora y nivel de presión sonora

Ejemplos	Presión sonora (Pa)	Nivel de presión sonora (dB)
Umbral de dolor	200	140
Despegue de avión	20	120
Martillo neumático	2	100
Calle ruidosa	0,2	80
Oficina general	0,02	60
Habitación en silencio	0,002	40
Cámara anecoica	2×10^{-4}	20
Umbral de audición	2×10^{-5}	0

Fuente: INSST, p. 226 (1).

El oído humano no tiene una respuesta igual a todas las frecuencias audibles. Por esta falta de linealidad en la respuesta del oído humano se definieron escalas de ponderación. Estos dispositivos no son más que redes electrónicas incorporadas en los instrumentos de medida que modifican la señal captada por el micrófono de forma similar a como lo hace el oído humano.

De todas las escalas propuestas, la denominada *escala A* es prácticamente la única que se usa, ya que se ha podido comprobar de forma experimental que los niveles sonoros medidos en ella se

correlacionan bastante bien con las pérdidas auditivas inducidas por el ruido. El nivel sonoro se llama *nivel de presión sonora con ponderación A*, su símbolo es L_{eqA} y la unidad es el dB(A) (decibelios en escala A). En Uruguay, según el Decreto n.º 143/012 del MTSS (2), se propone el valor de 80 dB(A) como límite de exposición al ruido para un trabajador, pero no se hacen más especificaciones al respecto.

Tipos de ruido

En cuanto a su forma de presentación temporal del nivel sonoro, los ruidos se clasifican en:

- Continuos: es prácticamente constante a lo largo del tiempo. Por ejemplo, el ruido producido por un ventilador.
- Intermitentes: varía en escalones bien definidos, de duración relativamente larga. Se puede considerar como una serie de ruidos continuos de diferente nivel sonoro. Un ejemplo puede ser el ruido de una sierra de cinta o una máquina herramienta, en que se distinguen con claridad las fases de ruido correspondientes al funcionamiento en vacío y durante el trabajo.
- Variables: varía de forma continua en el tiempo sin seguir un patrón definido. Es el caso de un taller de reparaciones mecánicas.
- Impulsivos o de impacto: presenta picos de alta intensidad y muy corta duración. El ejemplo típico es el ruido de las prensas de corte.

El ruido produce efectos tanto sobre la audición como sobre otros órganos y sistemas del cuerpo humano. Una única exposición a un ruido brusco e intenso de nivel de pico muy elevado (disparo o explosión, por ejemplo) puede producir la rotura del tímpano o daños en la cadena de huesos del oído medio y ocasionar una disminución de la capacidad auditiva. Admite tratamiento curativo y, por lo general, es reversible (salvo que se presenten complicaciones).

La consecuencia de la exposición continuada al ruido es la pérdida de sensibilidad o la disminución de la capacidad auditiva. Esta disminución puede ser temporal o permanente. La pérdida temporal se produce inmediatamente después de una exposición a ruido intenso y el estado normal de audición se recupera al cabo de unas horas. La pérdida permanente de capacidad auditiva se produce como conse-

cuencia de una exposición al ruido intensa y prolongada (varios años) y se debe a la destrucción de los terminales del nervio auditivo del caracol. Se trata de una hipoacusia de percepción, ya que, aunque toda la cadena de transmisión se mantiene en perfecto estado, falla el elemento encargado de transformar el fenómeno ambiental en sensación nerviosa.

El proceso de destrucción de las terminales nerviosas del oído interno es muy lento y no todas se lesionan a la vez ni de la misma manera. En general, las sensibles a los tonos agudos (de frecuencia próxima a 4 kHz) son las primeras en dañarse y la lesión se extiende de manera progresiva al resto de frecuencias. La conciencia de la lesión se adquiere cuando se afectan de forma notable las frecuencias de la conversación.

La hipoacusia inducida por ruido es bilateral y casi siempre simétrica (afecta a los dos oídos por igual). Además, es irreversible; una vez generada la lesión, no se puede recuperar la audición a los límites normales. Es importante tener en cuenta que el daño no es evolutivo, ya que, por lo general, no progresa al cesar la exposición.

Para medir la capacidad auditiva se utiliza un aparato llamado audiómetro, mediante el que se emiten ruidos de diferente frecuencia (graves, medios, agudos) y de diferente intensidad. En el ambiente laboral es importante llevar a cabo audiometrías en forma periódica, ya que puede poner de manifiesto de manera precoz las posibles alteraciones en las personas expuestas al ruido incluso antes de que el individuo aprecie la disminución.

La Ordenanza n.º 145/009 del MSP establece que los operarios expuestos al ruido deben realizarse audiometrías en forma anual.

Algunos efectos del ruido en el trabajo son los siguientes:

- Alteración de la comunicación.
- Disminución de la concentración (se altera la atención y se producen errores).
- Aumento de accidentes (no se escuchan las alarmas, por ejemplo).
- Incomodidad o molestias.
- Estrés o nerviosismo.
- Estrechamiento de los vasos (arterioesclerosis).
- Aumento de la presión sanguínea.

- Aumento de la incidencia de úlceras gastroduodenales y de la acidez.
- Contracciones musculares.
- Trastornos del sueño, cansancio, irritabilidad, inquietud, inapetencia sexual.
- Zumbidos.

El nivel de presión sonora se mide con un instrumento de lectura directa llamado sonómetro. Como todo instrumento de medida, un sonómetro debe ser exacto y reproducible; es decir, el valor presentado en el indicador debe coincidir con el valor real de la presión sonora existente en el punto de medida y con el resultado indicado por otro sonómetro en igualdad de circunstancias. Debe estar calibrado según las normas internacionales por un organismo externo autorizado. Existen tres tipos de instrumentos de medición del sonido, que se denominan según dichas normas:

- Sonómetro convencional.
- Sonómetro integrador-promediador, que mide niveles de sonido promediados en el tiempo.
- Medidores personales de exposición al ruido (dosímetros).

Control del ruido

Cuadro 6. Control técnico del ruido

Reducción de la emisión	Modificación de los procesos
	Cerramientos totales o parciales (aislamiento)
	Fijación de las máquinas para evitar vibraciones
	Transmisión por correas
	Silenciadores
Reducción en la transmisión	Absorción del ruido
	Pantallas
	Separación del foco y el receptor
Reproducción en el receptor	Cerramiento insonorizado
	Equipos de protección individual

Fuente: INSST, p. 255 (1).

Iluminación

La iluminación es una parte fundamental en el acondicionamiento ergonómico de los puestos de trabajo. Si bien el ser humano tiene una gran capacidad para adaptarse a las diferentes calidades lumínicas, una deficiencia en ellas puede producir un aumento de la fatiga visual, una reducción en el rendimiento, un incremento en los errores y, en ocasiones, incluso accidentes (3).

Los aspectos fundamentales a considerar son el adecuado análisis de las características que deben disponer los sistemas de iluminación, la adaptación a las tareas del trabajador y las características individuales. Un tratamiento adecuado del ambiente visual incidirá en los aspectos de seguridad, confort y productividad, y buscará garantizar un trabajo seguro, cómodo y eficaz.

La iluminación general proviene del techo o de lámparas de pared y cubre toda el área de trabajo. Es aquella que permite distinguir y apreciar las formas, los colores, los objetos en movimiento y los relieves, así como la que permite ver con facilidad y sin fatiga para asegurar en todo momento el confort visual.

La iluminación local es la que se coloca cerca de los trabajadores para dar luz directa a los objetos. Se recomienda el uso de pantallas en bombillas (fluorescentes o lámparas de bajo consumo) para evitar deslumbramientos, así como la orientación correcta de la luz para impedir que se generen reflejos sobre el material de trabajo. El inconveniente de la luz directa es que genera sombras.

Se debe combinar la iluminación general con la del ambiente, ya que favorece la actividad laboral. Una iluminación inadecuada puede originar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, pérdida de rendimiento, estrés y accidentes. Además, puede ser causa de posturas inadecuadas que generan, a la larga, alteraciones musculoesqueléticas (4).

Un efecto de la mala iluminación es la **astenopía**. En oftalmología, este concepto es entendido como un cuadro sintomatológico que se caracteriza por disturbios oculares o visuales de tipo irritativo y disfuncional. Surge cuando el aparato visual intenta conseguir resultados funcionales que exceden a la propia posibilidad fisiológica. La sintomatología es la siguiente:

- Ocular: quemazón, lagrimeo, sensación arenosa (*gritty feeling*), dolor periorbitario o retrobulbar, hiperemia conjuntival.

- Visual: sensación de fastidio a la luz, diplopía, visión borrosa.
- Cansancio a la lectura.

Si partimos de la base de que para poder hablar de iluminación es preciso contar con la existencia de una fuente productora de luz y de un objeto a iluminar, las magnitudes que deberán conocerse serán las siguientes:

- **EL FLUJO LUMINOSO Y LA INTENSIDAD LUMINOSA.** Son magnitudes características de las fuentes. El primero indica la potencia luminosa propia de una fuente y la segunda indica la forma en que se distribuye en el espacio la luz emitida por las fuentes.
- **LA ILUMINANCIA O NIVEL DE ILUMINACIÓN.** Es una magnitud característica del objeto iluminado. Indica la cantidad de luz que incide sobre una unidad de superficie del objeto cuando es iluminado por una fuente de luz.
- **LA LUMINANCIA.** Es una característica propia del aspecto luminoso de una fuente de luz o de una superficie iluminada en una dirección dada (es lo que produce en el órgano visual la sensación de claridad). La mayor o menor claridad con que vemos los objetos iluminados de igual forma depende de su luminancia.

Podemos decir, pues, que lo que el ojo percibe son diferencias de luminancia y no de niveles de iluminación. Para asegurar el confort visual hay que tener en cuenta tres puntos básicos, que, situados por orden de importancia, son los siguientes:

- Nivel de iluminación.
- Deslumbramientos. Los brillos excesivos que pueden ocasionar molestias en la visión.
- Equilibrio de las luminancias. Es preciso, además, mantener un equilibrio entre la luminancia del objeto y las correspondientes a las diferentes superficies incluidas dentro del campo visual.

No debemos, sin embargo, olvidarnos de otro factor fundamental para conseguir un adecuado confort visual en los puestos de trabajo: el tipo de iluminación (natural o artificial). La iluminación de los locales de trabajo debe proyectarse, siempre que no existan problemas técnicos, con un aporte suficiente de luz natural (aunque esta por sí sola no garantiza una iluminación correcta), ya que varía en función del tiempo. Es preciso, pues, compensar su insuficiencia (o ausencia) con la luz artificial.

La iluminancia o cantidad de energía luminosa que incide sobre una superficie se mide en luxes (equivalente a un lumen sobre metro cuadrado). Aunque el ojo humano puede apreciar iluminancias comprendidas entre 3 lx y 100.000 lx, para poder desarrollar cómodamente una actividad se necesitan entre 100 lx y 1000 lx. El nivel de iluminación se mide con el **luxómetro**, un dispositivo que mide en luxes o en candelas por metro cuadrado (lx/m² o cd/m²). Los valores mínimos recomendados en Uruguay están definidos en el Decreto n.º 406/988 (5) y se exponen en el cuadro 7.

Cuadro 7. Valores mínimos de iluminación recomendados

Lugar	Luxes
Patios y lugares de paso	20
Operaciones comunes	50
Operación especial	100
Distinción moderada de detalles	200
Distinción importante de detalles	300
Distinción fina de detalles	1000

Fuente: Decreto n.º 406/988 (4).

Apartado especial merecen, al hablar del confort visual, los **trabajos sobre pantallas de visualización de datos**. Muchas de las condiciones de confort indicadas para los trabajos tradicionales son difíciles de aplicar en la mayoría de situaciones de puestos con pantallas. Una de las principales dificultades viene determinada por el hecho de que el operador debe cumplir con dos tipos de tareas: la lectura de los documentos y la lectura de los caracteres en pantalla, que representan dos exigencias visuales muy diferentes (5). Por ejemplo, en relación con el nivel de iluminación, hay que pensar en valores de alrededor de los 400 lx como iluminación general media y de 150 lx en la pantalla.

Contaminantes biológicos

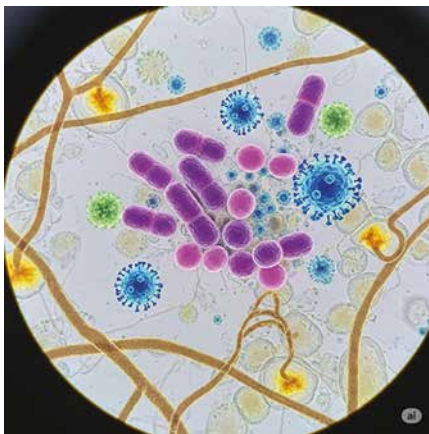
Son los microorganismos —con inclusión de los genéticamente modificados—, los cultivos de células y los endoparásitos humanos presentes en el ambiente de trabajo que pueden dar lugar a cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad (7). Su origen puede ser de derivados animales o vegetales y se miden como los contaminantes

químicos. También pueden provenir de otros organismos vivos a partir del agua y alimentos. Los controles de aislamiento, cuantificación y criterios de valoración están a cargo del MSP.

Los métodos de muestreo ambiental de microorganismos son:

- a. Sedimentación.
- b. Impinger.
- c. Filtración.
- d. Impactación.

Figura 18. Microorganismos



- **Bacterias:** Son las estructuras de mayor tamaño en el centro, con forma de bastón (bacilos) y esférica (cocos), de color morado y rosado.
- **Hongos (fungi):** Se pueden ver filamentos largos y ramificados, que son las hifas, de color marrón claro o amarillo, y que representan la parte de los hongos.
- **Virus:** Son las partículas más pequeñas, representadas con formas geométricas y estructuras complejas (como los que se ven en azul), esparcidas por todo el campo de visión.

Fuente: IA Gemini.

Muestreo en superficies de microorganismos:

- a. Placa de contacto.
- b. Frotis.

No existen **criterios de valoración** (valores de referencia), por lo que el **control de contaminantes biológicos** debe ser muy estricto. Se debe actuar en:

- a. Programas médicos.
- b. Limpieza y desinfección.
- c. Diseño de locales.
- d. Protección individual.
- e. Programas de formación.

Referencias

1. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). *Higiene industrial*. Madrid: INSST; s.f. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/96076/Higiene+industrial/eb2a1df4-baf4-4561-a172-deeefcfe48fcb>
2. Fijación de medidas para evitar las consecuencias perjudiciales en la salud de los trabajadores por la intensidad de la presión sonora (ruido). Decreto n.º 143/012 de fecha 26/4/2012. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/143-2012>
3. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos*. Madrid: INSHT; 2015. Disponible en: <https://www.adpreven.es/noticias/guia-tecnica-de-iluminacion/>
4. Genia E-Solutions. Cómo afecta la mala iluminación a seguridad en el trabajo. Disponible en: <https://geniaenergysolutions.com/iluminacion-y-seguridad-en-el-trabajo/>
5. Reglamento de seguridad e higiene ocupacional. Decreto n.º 406/988 de fecha 3/6/1988. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-reglamento/406-1988>
6. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *NTP 211. Iluminación de los centros de trabajo*. Madrid: INSHT; 1988. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_211.pdf/e12d5914-642c-4f07-8938-6029c4fff94e
7. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Riesgos biológicos. Disponible en: <https://www.insst.es/materias/riesgos/riesgos-biologicos>
8. Segura-Med C. A. Definición de riesgo físico <https://definicion.de/riesgo-fisico/> vía @definicion_de #Riesgofísico [Tweet]. Twitter. 10 de enero de 2018. Disponible en: <https://twitter.com/Seguramedca/status/951168572377706498>

CASOS PRÁCTICOS

Caso práctico 1

Haga la evaluación de riesgo en un puesto de trabajo de descarga de materia prima en el área de producción de pintura al agua (**polvo**) e intente contestar la pregunta siguiendo los pasos del 1 al 5.

Figura 19. Producción de pintura al agua



Fuente: elaboración propia.

Se trabaja con bolsas de 25 kg de mezclas de carbonatos y talco. Hay dos ollas que se cargan de a una; para ello, se acercan las bolsas de 25 kg. El operario las corta en la boca y las descarga de a una. Primero, se mezclan algunos productos y se deja reposar alrededor de 45 minutos. Después, se agrega el resto de las bolsas del *pallet*. Es una tarea que se desarrolla durante dos horas en cada olla. Los productos no son tóxicos, pero se considera la exposición al material particulado (polvo).

¿Qué pasos seguimos para el manejo seguro?

1. Hacer la **evaluación de riesgos** para decidir qué precauciones son necesarias.
2. Evitar o controlar la exposición.
3. Asegurar que se usen y mantengan de forma apropiada las medidas de control.
4. Controlar la exposición y la salud.
5. Garantizar que los empleados estén adecuadamente informados, formados y supervisados.

Solución

1. *EVALUACIÓN DE RIESGOS*

- Solicitar la información general del puesto de trabajo y las etiquetas, las hojas de seguridad o las FDS.
- Observar la señalización y cartelería en general.
- Estudiar las FDS para comprobar que tengan los dieciséis puntos. Podemos buscar más información si están incompletas.
- Considerar que los riesgos en la manipulación y el almacenamiento dependen, entre otros factores, de:
 - La peligrosidad de la sustancia.
 - La cantidad almacenada.
 - La organización del trabajo y del depósito.
 - El mantenimiento de las condiciones de seguridad.
 - El comportamiento de los trabajadores.

2. *CONTROL DE EXPOSICIÓN*

- Observar o atender los comentarios sobre cómo es la organización y el ritmo de trabajo.
- Averiguar si existen medidas sobre las máquinas o productos para actuar sobre los contaminantes en el ambiente y si se recomiendan y se utilizan los elementos de actuación y protección.
- Verificar si existen sistemas de control de contaminantes ambientales (como ventilación general y extracción localizada), si se trabaja en ello o si no es necesaria la utilización de campanas de extracción.

- Controlar si existe señalización en planta u oficinas, si los equipos de protección personal son los adecuados, si están en condiciones aceptables y si están homologados.
- Comprobar si hay elementos de actuación (como extintores, lavajos y duchas de seguridad) en condiciones aceptables y con un registro de control.

3. MEDIDAS DE CONTROL

Averiguar si hay evidencias de capacitaciones y conocimiento sobre los procedimientos de trabajo. Verificar si son adecuados.

4. CONTROL DE EXPOSICIÓN Y SALUD

- Hay que medir y confirmar si todo lo anterior es eficiente.
- Evaluar cómo se presentan los contaminantes en el ambiente laboral: gases o vapores, aerosoles líquidos o sólidos (polvo).
- Aplicar los criterios de valoración con el apoyo legal de la Ordenanza n.º 145/009 (sobre los BEI) y el Decreto n.º 307/009 (sobre los TLV en la última versión de la ACGIH).

5. GARANTÍA DE INFORMACIÓN, FORMACIÓN Y SUPERVISIÓN

- Consultar si cuentan con un programa completo sobre prevención de riesgos que incluya los riesgos químicos.
- Preguntar si han desarrollado un programa de comunicación de riesgos.
- Recomendar que toda la información, los documentos y los registros formen parte de un sistema de protección de la salud.
- Sugerir que se tenga un registro de las medidas tomadas para un sistema de gestión de riesgos.

VAMOS A MEDIR

Los contaminantes en forma de polvo que no poseen TLV propio; se clasifican como partículas insolubles o poco solubles no identificadas de otra manera (PNOC).

La Ordenanza n.º 145/009 del MSP establece que las personas expuestas a polvo no fibrogénico (no identificado de otra manera, por lo que no tiene una toxicidad específica) se realicen una radiografía de tórax anteroposterior con la técnica normalizada por la OIT. Este

control en muestras biológicas debe pedirlo el médico laboral de la empresa. También deberá hacer la devolución de los resultados a cada empleado y continuar el seguimiento de su salud general.

Recordamos las recomendaciones del MSP expuestas en el cuadro 4:

Exposición	Examen paraclínico	Periodicidad	Criterios	Observaciones
Polvo no fibrogénico	Radiografía de tórax anteroposterior	• Al ingreso. • Cada 3 años los primeros 10 años. • Cada 2 años los siguientes 10 años. • Cada año a partir de 20 años de antigüedad.	Técnica normatizada por la OIT. Clasificación Internacional de Neumoconiosis de la OIT.	Informe elaborado por radiólogo según clasificación de la OIT.

Debemos tomar las mediciones ambientales en el puesto de trabajo. En este caso, los operarios que descargan las bolsas en la tolva están expuestos a polvo (material particulado). El método NIOSH para polvo (*dust*) es el 0500 para PT (o polvo inhalable) y 0600 para polvo FR. Se utilizan bombas calibradas en forma exacta a alrededor de 2 L/min. Los filtros de PVC son de 37 mm y se montan en sus casetes.

El método analítico es la gravimetría. Se colocan los filtros en un ambiente de humedad controlada durante 24 horas y luego se pesan en una balanza analítica con una precisión de 0,01 mg (0,00001 g).

DATOS Y RESULTADOS

Los muestreos ambientales (PT) y personales (FR) se tomaron durante dos días diferentes.

Fecha	Nombre	Lugar	Flujo (L/min)	Tiempo (min)	Volumen (m³)	Filtro (n.º)	Peso (mg)	Resultado (mg/m³)
Día 1	Operario 1 (FR)	Área de pintura	2,04	285	0,5814	1	1,87	3,22
Día 2	Operario 2 (FR)	Área de pintura	1,98	295	0,5841	3	1,10	1,88
Día 1	Ambiental (PT)	Área de pintura	2,14	320	0,6848	2	6,91	10,09
Día 2	Ambiental (PT)	Área de pintura	1,98	305	0,6039	4	3,20	5,30

Con el flujo de la bomba y el tiempo de muestreo calculamos el volumen de aire que pasó a través del filtro (multiplicamos flujo por tiempo y dividimos entre mil para pasar el valor a metros cúbicos).

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{\text{Flujo (L/min)} \times \text{Tiempo (min)}}{1000}$$

El laboratorio nos informa el peso de cada filtro, calculado como el peso final después del muestreo menos el peso inicial, siempre en las mismas condiciones de humedad. Ese peso (diferencia entre peso inicial y peso final) se divide por el volumen de aire que pasó por la bomba durante el muestreo (en metros cúbicos) y obtenemos el resultado de polvo en aire en mg/m³.

$$\text{Polvo en aire (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso (mg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

A los efectos de hacer la evaluación de la exposición al **polvo** en la fábrica, se comparan los resultados con los límites higiénicos de exposición aceptados internacionalmente. La ACGIH establece los valores TLV; concentraciones aceptadas para diferentes contaminantes presentes en ambientes laborales. Nuestro país adopta dichos valores a través del Decreto n.º 307/009 del MTSS.

La OSHA establece que si algún puesto de trabajo supera el 50 % de TLV-TWA, implica una recomendación de estudio de la situación para implementar una mejora de las condiciones de trabajo. Según la ACGIH (2023), los niveles permitidos (TLV-TWA) son:

- Polvo, como PT: 10 mg/m³.
- Polvo FR: 3 mg/m³.

CONCLUSIONES DE LAS MEDICIONES AMBIENTALES

Al analizar los resultados de los dos días diferentes, se observa que se obtuvieron valores más altos durante la primera jornada. Esto se puede deber a que las producciones son diferentes y que el primer día se tuvo que pesar una mayor cantidad de productos. Sin embargo, podría ser por algún otro motivo; por eso es importante presenciar el muestreo para poder sacar conclusiones.

El valor del primer día justifica el uso de protección respiratoria en forma obligatoria mientras no se pueda mejorar el área con algún sistema de ventilación o extracción específica. En la segunda jornada,

de todas formas, ambos valores (ambiental y personal) superan la mitad del TLV, lo que confirma que es necesaria la recomendación de mejoras en el puesto de trabajo.

El operario usa protección respiratoria y equipo de trabajo, pero sus ojos están sin protección, no usa guantes y tiene los brazos descubiertos. Después de cargar las ollas, limpia el área con una escoba.

Conclusión: **las condiciones de trabajo no son aceptables.**

Figura 20. Personal en planta de producción de pintura



Fuente: elaboración propia.

RECOMENDACIONES

Se puede sugerir:

- Estudiar una forma en que la descarga de las bolsas genere menos dispersión de polvo.
- Implementar un sistema de extracción localizado en la superficie de las ollas.
- Usar una aspiradora, siempre que se controle su puesta a tierra.
- Solicitar al personal que trabaje con la cabeza cubierta, guantes y lentes, además de la protección respiratoria. Los lentes de seguridad son importantes, ya que evitan los riesgos de daño mecánico en los ojos. Se pueden utilizar las mascarillas descartables, que son más livianas que la semimáscara y, si están bien colocadas, son recomendables.

- Mejorar los asuntos de orden y limpieza: disminuir la cantidad de mercadería en el área, colocar más cartelería o renovar la que ya está.

Tener en cuenta que estos datos son solo una aproximación de la situación actual. A largo plazo, se debería considerar que:

1. Un estudio higiénico requiere de muchas muestras en diferentes días y producciones, por lo que comprende un **estudio preliminar** de la situación.
2. En caso de que cambien las condiciones de trabajo (procesos, proveedores de materias primas, maquinarias, entre otros), también pueden cambiar los contaminantes en el ambiente laboral y su concentración, lo que ameritaría un **nuevo estudio ambiental**.

Caso práctico 2

Haga la evaluación de riesgo en un puesto de trabajo de preparación de mezclas de disolventes orgánicos para diferentes productos e intente contestar la pregunta siguiendo los pasos del 1 al 5. El objetivo de este estudio es evaluar la exposición de los operarios a los vapores de los disolventes orgánicos que se generan durante los procesos de producción.

Figura 21. Planta de preparación de mezclas de disolventes



Fuente: elaboración propia.

El operario elabora las mezclas de los solventes en tambores y luego los pesa en el mismo sector, debajo de la campana.

¿Qué pasos seguimos para el manejo seguro de estos productos?

1. Hacer la **evaluación de riesgos** para decidir qué precauciones son necesarias.
2. Evitar o controlar la exposición.
3. Asegurar que se usen y mantengan de forma apropiada las medidas de control.
4. Controlar la exposición y la salud.
5. Garantizar que los empleados estén adecuadamente informados, formados y supervisados.

Solución

1. *EVALUACIÓN DE RIESGOS*

- Solicitar la información general del puesto de trabajo y las etiquetas, las hojas de seguridad o las FDS.
- Observar la señalización y cartelería en general.
- Estudiar las FDS para comprobar que tengan los dieciséis puntos. Podemos buscar más información si están incompletas.
- Considerar que los riesgos en la manipulación y el almacenamiento dependen, entre otros factores, de:
 - La peligrosidad de la sustancia.
 - La cantidad almacenada.
 - La organización del trabajo y del depósito.
 - El mantenimiento de las condiciones de seguridad.
 - El comportamiento de los trabajadores.

Tras hacer un estudio de todos los productos que se utilizan en las mezclas, se decide evaluar la presencia de vapores de hexano, benceno y tolueno, considerando la toxicidad y los porcentajes presentes en ellas.

2. *CONTROL DE EXPOSICIÓN*

- Observar o atender los comentarios de cómo es la organización y el ritmo de trabajo.

- Averiguar si existen medidas sobre las máquinas o productos para actuar sobre los contaminantes en el ambiente y si se recomiendan y utilizan los elementos de actuación y protección.
- Verificar si existen sistemas de control de contaminantes ambientales (como la ventilación general y extracción localizada), si se trabaja con campanas de extracción o si no son necesarias.
- Controlar si existe señalización en planta u oficinas, si los equipos de protección personal son los adecuados, si están en condiciones aceptables y si están homologados.
- Comprobar si hay elementos de actuación (como extintores, lavajos y duchas de seguridad) en condiciones aceptables y con un registro de control.

3. MEDIDAS DE CONTROL

Averiguar si hay evidencias de capacitaciones y conocimiento sobre los procedimientos de trabajo. Verificar si están todas las indicaciones en regla y si son adecuadas.

4. CONTROL DE EXPOSICIÓN Y SALUD

- Hay que medir y confirmar si todo lo anterior es eficiente.
- Evaluar cómo se presentan los contaminantes en el ambiente laboral: gases o vapores, aerosoles líquidos o sólidos (polvo). En nuestro caso, estamos en presencia de vapores de disolventes orgánicos.
- Aplicar los criterios de valoración con el apoyo legal de la Ordenanza n.º 145/009 (sobre los BEI) y el Decreto n.º 307/009 (sobre los TLV en la última versión de la ACGIH).

5. GARANTÍA DE INFORMACIÓN, FORMACIÓN Y SUPERVISIÓN

- Consultar si cuentan con un programa completo sobre prevención de riesgos que incluya los riesgos químicos.
- Preguntar si han desarrollado un programa de comunicación de riesgos.
- Recomendar que toda la información, los documentos y los registros formen parte de un sistema de protección de la salud.
- Sugerir que se tenga un registro de las medidas tomadas.

VAMOS A MEDIR

Los contaminantes están en forma de vapores. En este caso, el benceno, el tolueno y el hexano se pueden medir en aire y cada uno tiene un valor de TLV-TWA específico y un BEI. Los indicadores biológicos de efecto son los metabolitos en orina de estos contaminantes: el ácido transmucónico, el orto-cresol y la 2,5-hexanodiona, según la Ordenanza n.º 145/009 del MSP.

Recogemos la información disponible en el cuadro 3:

Exposición	Monitoreo biológico	Periodicidad	Valor de referencia (BEI)	Observaciones
Benceno	Ácido S-fenilmercaptúrico en orina (SPMA)	Trimestral	25 µg/g de creatinina	Final de la jornada
	Ácido TTM	Semestral	500 µg/g de creatinina	Final de la jornada
Tolueno	Ácido hipúrico urinario	Semestral	1,6 g/g de creatinina	Final de la jornada
	O-cresol urinario		0,5 mg/L	
Hexano (n-hexano)	2,5-hexanodiona urinaria	Semestral	0,4 mg/L	Final de la jornada, finalizando la semana de trabajo

El control biológico de los metabolitos en orina debe ser solicitado por el médico laboral de la empresa. También deberá hacer la devolución de los resultados a cada empleado y continuar el seguimiento de su salud general.

Los resultados se expresan en mg/L o µg/L en orina o en función de la creatinina. Esta última es una sustancia que se elimina en la orina de manera constante e informa la buena o mala funcionalidad de los riñones. Si el resultado se expresa en función de la creatinina de cada muestra, se pueden comparar valores de diferentes personas y países.

Tomamos las mediciones ambientales (lugar) y personales (individuo) en el puesto de trabajo. El muestreo se lleva a cabo de acuerdo a normas internacionales; nosotros usamos los métodos recomendados por la NIOSH números 1501 (benceno y tolueno) y 1500 (hexano).

Las mediciones ambientales evaluaron el lugar (ambiente general) donde circulan trabajadores, supervisores, ingenieros, operarios de otros sectores, personal de limpieza y demás funcionarios (en caso de que los hubiera). Las mediciones personales evaluaron la exposición de los operarios que desarrollan las tareas que queremos evaluar.

Se emplearon sistemas autónomos de aspiración (bombas), calibrados de manera exacta a 0,20 L/min y equipados con tubos rellenos de carbón activado. Los vapores se retienen en el carbón, y en el laboratorio se identifican y dosifican los solventes sugeridos (tolueno, hexano y benceno).

Fecha	Nombre	Lugar	Flujo (L/min)	Tiempo (min)	Volumen (m ³)	Tubo (ID)
Día 1	Operario 1	Producción	0,21	55	0,0116	A
Día 2	Operario 2	Producción	0,21	61	0,0128	C
Día 1	Ambiental	Producción	0,22	60	0,0132	B
Día 2	Ambiental	Producción	0,22	65	0,0143	D

La identificación y cuantificación de los vapores adsorbidos en el carbón se hace en laboratorio por cromatografía gaseosa (GLC). El límite de detección fue de 1 µg. El resultado del laboratorio informó la cantidad total de cada vapor que quedó adsorbido en el carbón.

Tubo (ID)	Benceno (µg)	Tolueno (µg)	Hexano (µg)
A	1,2	155,2	2120
C	2,0	658,5	1260
B	0,8	254,8	185
D	3,1	762,5	112

Con el flujo de la bomba y el tiempo de muestreo calculamos el volumen de aire que pasó a través del tubo. Por ejemplo, para el benceno en el tubo A sabemos que el flujo es de 0,21 L/min y que el tiempo fue de 55 min. Por tanto, recordamos la fórmula para el volumen y sustituimos estos valores.

$$Volumen (m^3) = \frac{Flujo (L/min) \times Tiempo (min)}{1000}$$

$$Volumen = \frac{0,21 \times 55}{1000} = 0,01155 m^3$$

Por lo general, no ponemos más que la décima de miligramo (cuatro cifras después de la coma), así que entendemos que el volumen de aire que pasó a través del tubo A es de 0,0116 m³.

Cada resultado de laboratorio de los vapores se divide entre su volumen (m³) y obtenemos el resultado de cada uno en aire (μg/m³). Para obtenerlo en mg/m³ se vuelve a dividir entre 1000.

$$\text{Contam. en aire (mg/m}^3\text{)} = \frac{\frac{\text{Resultado lab. (}\mu\text{g)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}}{1000}$$

Si seguimos con el caso del benceno del tubo A, el resultado del laboratorio es de 1,2 μg de benceno en 0,0116 m³ de aire contaminado.

$$\text{Benceno en tubo A} = \frac{\frac{1,2 \mu\text{g}}{0,0116 \text{ m}^3}}{1000} = 0,10 \text{ mg/m}^3$$

Se dejan dos cifras después de la coma para comprar con el valor de referencia.

RESULTADOS

Fecha	Nombre	Tubo (ID)	Benceno (mg/m ³)	Tolueno (mg/m ³)	Hexano (mg/m ³)
Día 1	Operario 1	A	0,10	13,44	183,55
Día 2	Operario 2	C	0,16	51,41	98,36
Día 1	Ambiental	B	0,06	19,30	14,02
Día 2	Ambiental	D	0,22	53,32	7,83

A los efectos de evaluar la exposición a **solventes** en la fábrica, se comparan los resultados con los límites higiénicos de exposición aceptados internacionalmente. La ACGIH establece los valores TLV; concentraciones aceptadas para diferentes contaminantes presentes en ambientes laborales. Nuestro país los adopta a través del Decreto n.º 307/009 del MTSS.

La OSHA establece que si algún puesto de trabajo supera el 50 % de TLV-TWA, implica una recomendación de estudio de la situación para implementar una mejora de las condiciones de trabajo. Según la ACGIH (2023), los niveles permitidos (TLV-TWA) son:

- Hexano: 176,2 mg/m³.
- Benceno: 1,6 mg/m³.
- Tolueno: 75,4 mg/m³.

CONCLUSIONES DE LAS MEDICIONES AMBIENTALES

Como se observa en la tabla, las muestras personales detectan un valor elevado en el caso del hexano para el tubo A (día 1), mientras que en el tubo C (día 2) el valor supera el 50 % del TLV. También el tolueno del día 2 supera el 50 % del TLV.

Las muestras ambientales de ambos días son aceptables, solo el tolueno del tubo D presenta un resultado por encima del 50 % del TLV. Se podría decir que el personal que circula por el área no tiene riesgo. Por otra parte, el benceno fue bajo en todos los casos.

Es normal que haya diferencias de resultados durante dos días diferentes, ya que las condiciones de producción varían y los operarios no siempre trabajan igual. Es importante presenciar el muestreo para poder sacar conclusiones.

En resumen, podríamos decir que las condiciones de trabajo son aceptables en términos generales, ya que solo un valor supera el límite permitido (el hexano del tubo A, de 183,55 mg/m³). Se puede exigir el uso de los elementos de protección personal (EPP) durante las tareas o repetir el muestreo. Sin embargo, en algunos casos en que se evalúan varios disolventes juntos se puede aplicar la fracción toxicológica, calculada como la sumatoria de los valores hallados con respecto a cada TLV. Esta fracción debe ser menor o igual a 1.

$$\sum \frac{\text{Resultados}}{\text{Cada TLV}} \leq 1$$

En nuestro caso:

Fecha	Tubo (ID)	FT
Día 1	A	1,3
Día 2	C	1,3
Día 1	B	0,4
Día 2	D	0,9

En resumen, los valores personales no son aceptables si consideramos que el hexano fue elevado en un caso y que en el otro supera el 50 % del TLV. Además, la fracción toxicológica también fue mayor a 1.

Conclusión: **las condiciones de trabajo no son aceptables.**

RECOMENDACIONES

Se puede sugerir:

- Implementar un sistema de extracción localizado.
- Mejorar el sistema de ventilación general.
- Solicitar al personal que trabaje con la cabeza cubierta, guantes y lentes, además de la protección respiratoria. Los lentes de seguridad son importantes, ya que evitan los riesgos de daño mecánico en los ojos.
- Mejorar los asuntos de orden y limpieza: disminuir la cantidad de mercadería en el área, colocar más cartelería o renovar la que ya está.
- Evaluar con el médico laboral la posibilidad de complementar el estudio a través de muestras biológicas.

Tener en cuenta que estos datos son solo una aproximación de la situación en el momento en que se hace el estudio en la empresa.

Otro dato importante es que los valores de la ACGIH varían a medida que pasan los años y se van realizando más investigaciones. Por ejemplo, en la ACGIH del 2024 y del 2025 el valor de benceno en aire laboral ha descendido de 1,6 mg/m³ a 0,03 mg/m³. En el caso práctico 2, la situación sigue siendo no aceptable, pero las medidas a tomar deben ser más exigentes porque todos los valores de benceno en aire superan los valores aceptados. Al considerar la salud de los trabajadores es de suma importancia estar actualizado sobre la información nacional e internacional.

A largo plazo, se debería considerar que:

1. Un estudio higiénico requiere de muchas muestras en diferentes días y producciones, por lo que comprende un **estudio preliminar** de la situación.
2. En caso de que cambien las condiciones de trabajo (procesos, proveedores de materias primas, maquinarias, entre otros), también pueden cambiar los contaminantes en el ambiente laboral y su concentración, lo que ameritaría un **nuevo estudio ambiental**.

SIGLAS

ACGIH	Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales, por sus siglas en inglés <i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
ADH	Alcohol deshidrogenasa
AIHA	Asociación Americana de Higiene Industrial, por sus siglas en inglés <i>American Industrial Hygiene Association</i>
ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, por sus siglas en inglés <i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>
BEI	Indicadores biológicos de exposición, por sus siglas en inglés <i>biological exposure indices</i>
BSE	Banco de Seguros del Estado
CL ₅₀	Concentración letal media
DL ₅₀	Dosis letal media
EPA	Agencia de Protección Ambiental, por sus siglas en inglés <i>Environmental Protection Agency</i>
FDS	Ficha de datos de seguridad
GHS	Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, por sus siglas en inglés <i>Globally Harmonized System</i>
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
INSST	Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo
MSP	Ministerio de Salud Pública
MTSS	Ministerio de Trabajo y Seguridad Social
NIOSH	Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional, de sus siglas en inglés <i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NTP	Nota técnica de prevención
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMS	Organización Mundial de la Salud

OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, por sus siglas en inglés <i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PNOS	Partícula no especificada de otra manera, por sus siglas en inglés <i>particulate not otherwise specified</i>
PQ	Producto químico
PT	Polvo total
SNC	Sistema nervioso central
TLV	Valores límite umbral, por sus siglas en inglés <i>threshold limit values</i>

SÍMBOLOS

μ	micro ($\times 10^{-6}$)
d	deci- ($\times 10^{-1}$)
g	gramo
Hz	hercio
k	kilo- ($\times 10^3$)
L	litro
lm	lumen
lx	lux (1 lm/m^2)
m	metro mili- ($\times 10^{-3}$)
min	minuto
ppm	parte por millón

SOBRE EL PROGRAMA DE EDUCACIÓN PERMANENTE



El gran desarrollo del conocimiento en los últimos años y los requerimientos, a todo nivel, de una sociedad que afronta importantes procesos de cambio, demandan a sus integrantes fuertes exigencias de nuevos conocimientos, así como de actualización, capacitación y perfeccionamiento de los ya adquiridos.

La Universidad de la República crea, en 1994, a demanda de sus egresados, el Programa de Educación Permanente, que tiene el propósito de organizar una oferta estable, cambiante año a año, de actividades cortas de actualización, capacitación, perfeccionamiento, nivelación, reorientación o complementación curricular o especialización no formal para profesionales, trabajadores, empresarios y público en general. También se organizan cursos y actividades formativas *a medida*, para grupos de profesionales, trabajadores, empresarios o público que así lo solicite.

Sus principales objetivos son generar instancias de capacitación y formación dirigidas a mejorar la práctica profesional y laboral, y promover instancias de capacitación y formación en valores, en desarrollo cultural y democrático y en formación de ciudadanía.

La presente publicación ha sido financiada y gestionada a través de la convocatoria de la Comisión Sectorial de Enseñanza y Educación Permanente para la «Edición y publicación de contenidos originados en cursos de Educación Permanente y de aportes en Educación Permanente». Esta comisión sectorial efectúa un llamado anual a los servicios y dependencias universitarias interesadas en apoyos para publicaciones o ediciones que contribuyan a difundir contenidos generados en cursos y actividades del Programa de Educación Permanente.

Por más información, consultar en <https://udelar.edu.uy/eduper/>

TN

ÁREA DE LAS TECNOLOGÍAS Y
CIENCIAS DE LA
NATURALEZA Y EL HÁBITAT

La vida me ha llevado por el camino de la prevención de accidentes y de enfermedades ocupacionales. Así es que estuve casi cuarenta años en el Área de Toxicología, en la Facultad de Química de la Universidad de la República, y específicamente me he desarrollado en toxicología laboral. Me preocupaba —y me siguen preocupando— los ambientes laborales y el poco conocimiento sobre los cuidados frente a la exposición a los contaminantes químicos y físicos.

En definitiva, he dedicado todos estos años a cuidar la salud de las personas en sus lugares de trabajo.

Es mi deseo ofrecer un aporte sobre estos temas y colaborar con la formación de los futuros profesionales.

COEDITORES Y AUSPICIANTES DE LA PUBLICACIÓN



ISBN: 978-9974-0-2292-8

