

Fundamentos
de **TOXICOLOGÍA**
para la **SEGURIDAD**
y **SALUD** en el
TRABAJO

Margarita María Palma Vallejo

Editora académica

Javier Enrique Cortés Amórtegui

Diana Carolina Chaves Silva

Teresa Rodríguez Altamirano

Eduardo Antonio Shaw Morais

INNOVATE | PUBLISHING



UNIMINUTO
Corporación Universitaria Minuto de Dios
Educación de calidad al alcance de todos
Vigilada MinEduación

Ficha catalográfica

Autores: Cortés Amórtegui, Javier Enrique; Chávez Silva, Diana Carolina; Rodríguez Altamirano, Teresa y Shaw Morais, Eduardo Antonio. *Fundamentos de toxicología para la seguridad y salud en el trabajo*

Primera edición

Innovate Publishing, Uniminuto UVD, Colombia, 2020

ISBN: 978-958-56024-7-2

Área: Seguridad y salud en el trabajo

Formato 17 X 24 cm

Páginas: 498

Todos los derechos reservados

Dirección General Innovate Publishing: Ángela Andrade

Dirección Editorial: Orlando Fernández

Editora Académica: Margarita María Palma Vallejo

PRIMERA EDICIÓN, 2020

D.R. © 2020 por Innovate Publishing S.A.S., Uniminuto Virtual y a Distancia

Carrera 18B No. 116-16, Oficina 511

Bogotá, D.C. Colombia

Cámara Colombiana del Libro. Radicación núm. 342974

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor. Del mismo modo, el préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso de este ejemplar requerirá también la autorización del editor o de sus representantes.

ISBN LIBRO ELECTRÓNICO: 978-958-56024-7-2

Fundamentos
de **TOXICOLOGÍA**
para la **SEGURIDAD**
y **SALUD** en el
TRABAJO

Contenido

Acerca de los autores	XV
Prólogo	XVII
Introducción	XX
Referencias	XXII

Capítulo 1

Evolución histórica de la toxicología **3**

Objetivos de aprendizaje	3
Introducción	5
El origen de la vida y del tóxico	6
De la farmacología a la medicina	8
La Edad Media: de los venenos y sus antídotos a los envenenamientos	10
Edad Moderna: la toxicología como ciencia	11
Edad Contemporánea: del estudio de los tóxicos al consumo ilegal	13
Términos clave	15
Estudio de caso	16
Resumen	18
Cuestionario	19
Referencias	19

Capítulo 2

Conceptos y definiciones **23**

Objetivos de aprendizaje	23
Introducción	25
¿Qué es la toxicología?	25
Áreas de la toxicología	26
Áreas fundamentales	26
Áreas aplicadas	26
¿Qué es un tóxico?	27
¿Qué es una toxina?	28
¿Qué es un contaminante y cómo se diferencia de un tóxico?	32
¿Cómo clasificar los tóxicos?	32
¿Qué es intoxicación?	33
Clasificación general de las intoxicaciones	34
El concepto DL50 y su aplicación en salud ocupacional	36
Factores para una intoxicación	36
Términos clave	38
Estudio de caso	39

Resumen	40
Cuestionario	41
Referencias	43

Capítulo 3

Clasificación toxicológica de los agentes químicos

45

Objetivos de aprendizaje	45
Introducción	47
Clasificación de las sustancias tóxicas	47
De acuerdo con el uso	49
De acuerdo con su estado físico	51
De acuerdo con las condiciones para etiquetado	55
Según los peligros para la salud derivados de sus propiedades toxicológicas	56
Toxicidad aguda	56
Corrosión cutánea	57
Lesiones oculares graves	57
Sensibilización respiratoria o cutánea	57
Mutagenicidad en células germinales	58
Carcinogenicidad	58
Toxicidad para la reproducción	58
Toxicidad específica de órganos diana	58
Peligro por aspiración	59
De acuerdo con los peligros físicos	59
De acuerdo con los efectos sobre el ecosistema	60
Términos clave	38
Estudio de caso	39
Resumen	40
Cuestionario	41
Referencias	43

Capítulo 4

Rutas y vías de ingreso de las sustancias tóxicas

69

Objetivos de aprendizaje	69
Introducción	71
La tríada toxicológica	71
Factores que alteran la toxicidad	72
Vías y rutas de exposición al agente tóxico	75
Tipos de ambientes	76

Rutas de exposición	77
Descripción de la ruta de exposición	78
Vías de ingreso	80
Tipos de exposición	81
Términos clave	82
Estudio de caso	83
Resumen	84
Cuestionario	85
Referencias	86

Capítulo 5

Toxicocinética **89**

Objetivos de aprendizaje	89
Introducción	91
Definición de toxicocinética	92
Fases de la toxicocinética	93
Primera fase: exposición	93
Segunda fase: absorción	94
Vías de absorción	95
Vía inhalatoria	98
Vía oral	99
Otras vías de exposición	99
Vía ocular	99
De qué manera la vía afecta la velocidad y el grado de absorción	99
Tercera fase: distribución	100
Cuarta fase: biotransformación	101
Términos clave	102
Estudio de caso	103
Resumen	104
Cuestionario	105
Referencias	106

Capítulo 6

Toxicodinamia **109**

Objetivos de aprendizaje	109
Introducción	111
Toxicidad	112
Fases de la acción tóxica	112
Factores que modifican la toxicidad	113
Definición de toxicodinamia	114
Aplicaciones de la toxicodinamia	114
Mecanismos generales y específicos de toxicidad	115

Mecanismos generales de toxicidad	115
Mecanismos específicos de toxicidad	116
Paso 1. “Distribución”: del sitio de exposición al órgano diana	116
Paso 2. “Reacción del xenobiótico” con la molécula diana	117
Paso 3. “Disfunción celular” y toxicidad resultante	117
Términos clave	118
Estudio de caso	119
Resumen	120
Cuestionario	122
Referencias	123

Capítulo 7

Toxicología regulatoria **125**

Objetivos de aprendizaje	125
Introducción	127
Conceptos generales	127
Agencias responsables y disposiciones sobre regulación de agentes tóxicos	133
Enfoque Estratégico para la Gestión Internacional de Productos Químicos (SAICM)	133
Organización Internacional del Trabajo (OIT)	134
Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias y Preparados Químicos (REACH)	134
Reglamento sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado de Sustancias y Mezclas (CLP)	135
Regulaciones internacionales y nacionales	136
Términos clave	164
Estudio de caso	165
Resumen	167
Cuestionario	168
Referencias	169

Capítulo 8

Agentes tóxicos: metales **181**

Objetivos de aprendizaje	181
Introducción	183
Metales esenciales o traza y metales no esenciales o tóxicos	184
Metales esenciales	184
Metales No Esenciales	186
Metales Esenciales	186
Metales no esenciales o tóxicos	188
Toxicocinética de metales no esenciales	188

Mecanismos de toxicidad de metales no esenciales o tóxicos	190
La quelación	190
Intoxicaciones con plomo (Pb)	191
Intoxicaciones con mercurio (Hg)	192
Intoxicaciones con arsénico (As)	193
Términos clave	194
Estudio de caso	195
Resumen	197
Cuestionario	198
Referencias	199

Capítulo 9

Plaguicidas **201**

Objetivos de aprendizaje	201
Introducción	203
Definición	204
Clasificación	204
Según la acción	205
Según su estructura química	205
Clasificación toxicológica	206
Bases de la clasificación	206
Vías de ingreso de plaguicidas	211
Relación vía de ingreso con exposición	212
Vía digestiva	212
Vía respiratoria	212
Vía cutánea	213
Intoxicación con plaguicidas	213
Mecanismo de toxicidad de los inhibidores de la acetilcolinesterasa	214
Actividad mínima aceptable de la colinesterasa	216
Persistencia de plaguicidas en el ambiente	217
Términos clave	218
Estudio de caso	219
Resumen	221
Cuestionario	222
Referencias	223

Capítulo 10

Gases **227**

Objetivos de aprendizaje	227
Introducción	229
Definición de gas tóxico	229
Gases y vapores tóxicos	231

Gases y vapores asfixiantes	232
Gases y vapores asfixiantes simples	232
Gases y vapores asfixiantes químicos	233
Gases y vapores irritantes	234
Intoxicaciones agudas por gases o vapores irritantes	235
Intoxicaciones crónicas por gases o vapores irritantes	236
Intoxicación por gases corrosivos e irritantes	236
Otros gases y vapores tóxicos	237
Términos clave	238
Estudio de caso	239
Resumen	241
Cuestionario	242
Referencias	243

Capítulo 11

Solventes **245**

Objetivos de aprendizaje	245
Introducción	247
Usos de los hidrocarburos	249
Usos de los solventes	250
Clasificación de los solventes	253
Toxicidad de los solventes	253
Términos clave	257
Estudio de caso	258
Resumen	260
Cuestionario	261
Referencias	262

Capítulo 12

Intoxicación por alcoholes **265**

Objetivos de aprendizaje	265
Introducción	267
Fuentes de alcohol	267
Usos de los alcoholes	268
Intoxicación por alcoholes	270
Intoxicación por alcohol etílico	271
Intoxicación por metanol	273
Intoxicación por alcohol isopropílico	275
Intoxicación por etilenglicol	275
Términos clave	277
Estudio de caso	278
Resumen	280

Cuestionario	281
Referencias	282

Capítulo 13

Compuestos orgánicos de interés mundial por su impacto toxicológico y ambiental **285**

Objetivos de aprendizaje	285
Introducción	287
Definición de los COV	288
Fuentes de COV	289
Definición de los COP	293
Fuentes de COP	293
Efectos de los COP en la salud y el ambiente	296
Compromiso frente a los COV y COP	297
Términos clave	297
Estudio de caso	298
Resumen	299
Cuestionario	301
Referencias	302

Capítulo 14

Definición de límite de exposición ocupacional (LEO) **305**

Objetivos de aprendizaje	305
Introducción	307
Definición	308
Determinación	309
Base	310
Dimensionamiento del valor	311
Consideraciones y limitaciones	312
Guía sin consenso	312
Susceptibilidad de los trabajadores	313
«Opinión científica»	314
Factibilidad técnica y económica	314
Unidades	315
Términos clave	317
Estudio de caso	318
Resumen	320
Cuestionario	321
Referencias	322

Capítulo 15

Clases de límites de exposición ocupacional (LEO)

325

Objetivos de aprendizaje	325
Introducción	327
Clasificación de los LEO	327
A largo plazo	327
TWA - promedio ponderado en el tiempo	327
De corta duración	328
STEL - límite de exposición de corta duración	328
Límite de excursión	329
C - Techo	331
IDLH - inmediatamente peligrosos para la vida y la salud	332
Anotaciones para riesgos especiales	332
Vía dérmica	333
Sensibilizantes	334
Ototóxicos	334
Términos clave	337
Estudio de caso	338
Resumen	340
Cuestionario	342
Referencias	343

Capítulo 16

Referencias internacionales de límites de exposición ocupacional (LEO)

345

Objetivos de aprendizaje	345
Introducción	347
Historia	348
Referentes internacionales	350
Estados Unidos	350
Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)	351
Alianza Ocupacional para la Ciencia del Riesgo (OARS)	353
Unión Europea	353
Comité Científico para los Límites de Exposición Ocupacional (SCOEL)	353
Comisión para la investigación de peligros para la salud de agentes químicos en el lugar de trabajo	354
Ejecutivo de Salud y Seguridad (HSE)	354
Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST)	355

Grupo Experto Nórdico (NEG)	355
Asia	356
Safe Work Australia (SWA)	356
Sociedad Japonesa para la Salud Ocupacional (JSOH)	356
Términos clave	357
Estudio de caso	358
Resumen	360
Cuestionario	361
Referencias	362

Capítulo 17

Medición de la exposición a sustancias tóxicas ocupacionales **365**

Objetivos de aprendizaje	365
Introducción	367
Clases de muestreo para evaluar la exposición	368
Métodos analíticos	368
Instrumento para la toma de muestras	369
Activos	370
Tren de muestreo	370
Bomba de aire y sensores	372
Tubos colorimétricos	373
Pasivos	374
Estrategias de medición	375
Propósito	375
Químicos y trabajadores por medir	376
Duración de la muestra	376
Número de muestras y frecuencia del monitoreo	377
Términos clave	377
Estudio de caso	378
Resumen	380
Cuestionario	382
Referencias	383

Capítulo 18

Prevención y control de las intoxicaciones de origen laboral **385**

Objetivos de aprendizaje	385
Jerarquía de controles	387
Eliminación del riesgo	389
Controles técnicos	389
Sustitución	390

Aislamiento	390
Ventilación	390
Controles administrativos	391
Equipo de Protección Personal (EPP)	393
Guantes	393
Ropa de protección	394
Protección respiratoria	394
Términos clave	397
Estudio de caso	398
Resumen	400
Cuestionario	401
Referencias	402

Capítulo 19

Destino ambiental de los agentes tóxicos 405

Objetivos de aprendizaje	405
Introducción	407
Fuentes, transporte, distribución y eliminación de contaminantes en el ambiente	407
Destino ambiental de los agentes tóxicos más relevantes en América Latina	412
Metales pesados	412
Plaguicidas	414
Solventes orgánicos (incluidos alcoholes)	415
Contaminantes orgánicos persistentes (COP)	415
Compuestos orgánicos volátiles (COV) y gases irritantes y asfixiantes	416
Términos clave	317
Estudio de caso	418
Resumen	420
Cuestionario	421
Referencias	423

Capítulo 20

Gestión integral de residuos 427

Objetivos de aprendizaje	427
Introducción	429
Definición y clasificación general de los residuos	429
Por su peligrosidad	430
Residuos no peligrosos	430
Por su procedencia	431
Por biodegradabilidad	431

Gestión integral de residuos (GIRS)	431
Marco normativo para la gestión de residuos en América Latina	432
Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)	435
Alcance	436
Separación en origen	437
Transporte interno y externo	438
Aprovechamiento	438
Disposición final	439
Gestión integral de residuos peligrosos (Respel)	439
Envasado, almacenamiento y etiquetado de residuos peligrosos	444
Disposición del residuo	444
Plan de gestión integral de residuos hospitalarios y similares (PGIRHS)	446
Términos clave	449
Estudio de caso	450
Resumen	452
Cuestionario	453
Referencias	454
Créditos fotográficos	458
Apéndices	461
Apéndice 1. Abreviaturas, acrónimos, siglas y símbolos	463
Apéndice 2. Glosario	467
Índice analítico	471

Acerca de los autores

Javier Enrique Cortés Amórtegui

Licenciado en Biología; Especialista en docencia e investigación universitaria; Magíster en Microbiología con énfasis en Inmunología y Doctorando en educación e investigación. Docente, Universidad Pedagógica Nacional y Corporación Universitaria Minuto de Dios, Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo. Tutor nacional, asignatura toxicología. Miembro de varios grupos de investigación en educación ambiental. Docente Facultades de Ingeniería, Pedagogía, Psicología, Administración, Regencia en Farmacia, Medicina Veterinaria y Zootecnia. Exdirector de ciencias básicas, de investigaciones relacionadas con la biología, microbiología, medicina e inmunología; asesor y revisor de programas universitarios.

Autor de los capítulos: 1, 4, 7, 8, 9 (en coautoría con Diana Carolina Chaves Silva), 10 y 12.

Diana Carolina Chaves Silva

Química Magíster en Toxicología. Docente de planta, Universidad Nacional de Colombia; Coordinadora Laboratorio de Toxicología, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia; Docente, Universidad Minuto de Dios (Uniminuto UVD), Programa Seguridad y Salud en el Trabajo. Miembro del Organismo Nacional de Acreditación (ONAC), calificada como experta técnica en toxicología. Investigadora, grupos de Colciencias de “Sustancias Psicoactivas” y “TOXICAO”. Directora tesis de maestría y trabajos de grado en toxicología ocupacional, ambiental y analítica.

Autora de los capítulos: 2, 3, 5, 6, 9 (en coautoría con Javier Cortés), 11 y 13.

Eduardo Shaw, MS, CIH, CSP

Experiencia más de 25 años en el campo de la higiene y seguridad ocupacional en Estados Unidos y Latinoamérica en las industrias de petroquímicos, construcción y telecomunicaciones. Conferencista y docente; ha participado en más de 30 congre-

sos, seminarios y cursos internacionales en once países del continente. Líder en proyectos de traducción de textos sobre higiene ocupacional al español para beneficio de colegas de habla hispana. Adicionalmente, autor de artículos sobre temas de higiene industrial publicados en diversas publicaciones y sitios web.

Autor de los capítulos: 14 a 18.

Teresa Rodríguez Altamirano

Doctora en Medicina y Cirugía, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-León). Maestra en Ciencias, especialidad Toxicología, Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional de México. PhD, área de Medicina Ocupacional y Ambiental, Universidad de Uppsala, Suecia. Profesora titular, Facultad de Ciencias Médicas, UNAN-León. Investigadora y miembro de grupos de trabajo, regionales e internacionales sobre evaluación de exposición a sustancias tóxicas.

Autora de los capítulos: 19 y 20.

Este trabajo transdisciplinario es sin duda un texto que deben de leer los profesionales, los estudiantes de pregrado y de posgrado, quienes realizan un diplomado o una especialidad y los profesores relacionados con los temas de toxicología en áreas de seguridad y salud en el trabajo. Estoy seguro que el lector verá enriquecido su acervo de conocimientos, capacidades y competencias. De igual forma tendrá los retos intelectuales que empujen a profundizar en estos fascinantes e indispensables temas de la toxicología y la salud en el trabajo.

Los procesos toxicológicos se desarrollan a partir de mecanismos moleculares básicos, alcanzan el ámbito clínico y tienen una repercusión social; en ellos influye de manera determinante el ambiente que incluye la actividad laboral. Partiendo de estos hechos, el libro genera un balance más que adecuado con una plataforma de comprensión de temas, de por sí complejos, que los autores simplifican, sin detrimento del rigor académico. Se advierte el trabajo editorial y la corrección de estilo.

Todos los capítulos inician con una frase alusiva al tema, adecuadamente seleccionada y que introduce al contenido, a veces con un dejo de sarcasmo y matizado con la cultura histórica, todas las frases son disfrutables.

El propósito y la vocación didáctica se reafirman con los objetivos de aprendizaje y los términos clave que permiten ubicar el sentido, la extensión y la profundidad con que son tratados los conceptos en cada capítulo, abonando de manera determinante al proceso enseñanza-aprendizaje. Ello se cristaliza de manera sobresaliente con un estudio de caso y una sección de preguntas y tareas a realizar, ambas permiten reafirmar los conocimientos y se convierte en un práctico instrumento que somete el lector a ejercicios para repasar y ubicar la importancia de los conocimientos vertidos en el capítulo. Adicionalmente, privilegia el aprendizaje con un mapa conceptual al inicio del capítulo, tablas, esquemas y cuadros sinópticos que resumen conceptos y organizan las ideas que se materializan en sus líneas.

Los temas son manejados de manera sencilla, con lenguaje y conceptualizaciones que pueden entenderse sin ser experto

en el tema, desarrollados para un lector más amplio que el del ambiente médico o de higiene industrial, tanto para estudiantes como profesionales; hace inteligibles los intrincados caminos de la toxicología, siempre estrictamente relacionados con la seguridad y la salud en el trabajo, que son el corazón declarado del libro. La estructura y organización son correctas, sin demeritar el planteamiento teórico, se aleja de la obsesión de presentar temas de investigación avanzada, actualidad o controversia y la de profundizar en las estructuras básicas de la fisiología, la bioquímica, la farmacología, la patología y las matemáticas; en cambio, fluye hacia los temas prácticos y aplicados, que son los objetivos intrínsecos del libro. Es de mucha utilidad para el ávido lector que busca una guía y una referencia sencilla y no un tratado de temas con profundidad y extensión enciclopédica, que se encuentra en otros libros o artículos de revisión.

Al final del capítulo se presenta un número de referencias preciso, que ofrece al lector recomendaciones de lecturas concretas y relevantes y no una infinita cantidad de referencias que se presentan por su naturaleza en revisiones exhaustivas sobre algún tema y que poco ayudan en la orientación a no doctos en el área y a quienes se introducen en esta área del conocimiento.

En el primer capítulo se presenta una reseña de la evolución de conceptos que dan lugar a la toxicología actual, aderezada de acontecimientos históricos, con una presentación breve pero concisa y altamente ilustrativa.

Los capítulos que presentan los conceptos y las definiciones, la clasificación de los agentes químicos, la toxicocinética y la toxicodinámica son tratados con definiciones y términos entendibles, con aplicaciones concretas, demasiado sencillas para especialistas en toxicología, pero suficientes para profesionales y estudiantes de las áreas relacionadas con la seguridad y la salud en el trabajo.

De manera casi imperceptible se llega a la toxicología regulatoria, plantea de manera simple la complicada revisión y comparación de normas, regulaciones y reglamentaciones, necesarias para la gestión en seguridad y salud en el trabajo. En tal contexto, se tratan los ejemplos de grupos químicos y tóxicos, seleccionados por su frecuencia e importancia, y aporta las bases necesarias para integrarlos a los marcos regulatorios e introducir a los límites de concentración, tanto laborales como

ambientales, con ejemplos sobresalientes de toxicología ambiental, que a los autores les interesa resaltar y no sin razón.

En los siguientes capítulos se presentan los elementos básicos para entender los límites de exposición ocupacional, la presentación de la información está desprovista, para bien, de los elementos matemáticos complejos que se tratan a profundidad en los libros especializados en evaluación de riesgo. En cambio, se hace puntual referencia y análisis a los acuerdos nacionales e internacionales sobre los límites de exposición ocupacional. Su tratamiento, por naturaleza, es denso y un poco repetitivo, pero los autores sortean satisfactoriamente el problema ofreciendo cuadros sinópticos y tablas a fin de mejorar su digestión y asimilación. De esta forma se llega a la presentación de sistemas, algorítmicos y técnicos, para medir la exposición a sustancias tóxicas de importancia ocupacional, sin un lenguaje técnico, o sin abusar del mismo, pero conservando los puntos de interés, que permitirán al lector profundizar posteriormente en otras lecturas especializadas. Lo anterior culmina con las bases para la prevención y control de las intoxicaciones de origen laboral, las asienta de manera sólida y ofrece una plataforma de arranque para alumnos y profesionales de las áreas afines.

Finalmente se muestran capítulos con respecto al destino ambiental de los agentes tóxicos y el manejo integral de los residuos tóxicos, con la finalidad de entender la gestión y las directrices generales, que raramente se tratan en trabajos de toxicología clásica.

Analizar críticamente un libro y después escribir y describir el mismo para invitar a los lectores a zambullirse en sus páginas, es una responsabilidad compleja, ante los autores, la editorial y el lector; hacer justicia, ser objetivo y a la vez dar los argumentos que realmente entusiasmen a los lectores, es un reto, más cuando se trate de un libro técnico y que tiene múltiples referentes del tema. Agradezco a la editorial, permitirme leer y prologar este libro, fue un placer y un honor. Estoy seguro que los lectores encontraran en el libro, no solo conocimientos, sino conceptos multidisciplinarios, lo que aumentara sus competencias en las diferentes áreas del conocimiento.

Dr. José Víctor Calderón Salinas
Laboratorio de Bioquímica Médica
Departamento de Bioquímica
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México

Introducción

En el mundo contemporáneo existen miles de sustancias que en dosis suficientes tienen la capacidad de hacer daño; estas pueden estar en el aire, el agua, el suelo e incluso en los alimentos presentes en hogares, escuelas y lugares de trabajo (Mackenzie & Harrison, 2016). Un estudio de la Universidad de Washington (2017) estima que hay más de cien mil sustancias químicas de uso comercial y cada año aproximadamente 2.300 productos nuevos son desarrollados y presentados para su registro. Además, se estima que la carga de enfermedad atribuida a exposición ambiental y manejo de ciertas sustancias químicas asciende a una mortalidad de 4,9 millones de personas (8,3% de la carga global) y 86 millones de *años de vida ajustados por discapacidad* (AVAD) (5,7% del total). Según un estudio previo en 2015 sobre carga de enfermedad, realizado por dicha universidad estadounidense, reportó que 4.866.869 de AVAD se relacionaban con 86.352 muertes por intoxicaciones provocadas por sustancias.

En este marco, la toxicología, como ciencia que consiste en la identificación y cuantificación de todo tipo de efecto adverso que se asocie a la exposición de agentes físicos, sustancias químicas y otras situaciones como consecuencia del desarrollo industrial, se convierte en materia de estudio de alto interés para la comunidad académica. De allí la pertinencia del presente libro, que, sin el rigor de una publicación en el campo de la salud, permite –desde la mirada del administrador en salud ocupacional y otras profesiones afines– comprender e identificar la toxicología, a partir de un lenguaje claro y sencillo, de tal manera que facilite su entendimiento entre estudiantes de pregrado de diversos programas de Seguridad y Salud en el Trabajo o relacionados con dicha profesión.

En el rastreo realizado sobre textos especializados en el tema, se encuentran varios libros específicos en toxicología, pero con temáticas clínicas sobre la intoxicación y efectos en los humanos; de allí el aporte de esta publicación, al convertirse en una de las primeras en presentar un contenido más fácil de comprender, sin perder su esencia técnica y científica, hecho que cobra gran valor para Colombia y Latinoamérica.

La intención de esta publicación no es competir con textos o libros clásicos sobre el tema, a cuyos autores brindamos gran admiración y respeto; por el contrario, pretendemos presentar a consideración una obra que brinde soluciones a las inquietudes de estudiantes y profesionales involucrados directa o indirectamente con temáticas relacionadas con la toxicología, como apoyo a su quehacer diario.

El objetivo principal, por consiguiente, continúa siendo el aprendizaje y la orientación a estos profesionales que en su cotidianidad se ven enfrentados a situaciones que tienen que ver con sustancias tóxicas, no solo con los trabajadores, sino en los espacios laborales en los que la contaminación puede llegar a afectar su entorno inmediato o el mismo medio ambiente.

En esa perspectiva, esta obra es el producto articulado de diferentes expertos internacionales en las áreas de medicina, ingeniería, química, biología y toxicología, de Colombia, Nicaragua y Panamá, hecho que permite que el texto cuente con una concepción interdisciplinaria y global del tema.

Estimado lector, en nuestra obra podrá encontrar desde reseñas históricas hasta el abordaje de cada uno de los agentes tóxicos que se puedan detectar en un ambiente laboral, así como su medición y control. Sin embargo, vale la pena aclarar que en esta primera edición solo se abordan los agentes tóxicos químicos, quedando pendiente los agentes tóxicos biológicos para una nueva publicación de esta colección.

Para facilitar la comprensión de las diversas temáticas abordadas en *Fundamentos de toxicología para la seguridad y salud en el trabajo*, la obra se ha diseñado a partir de un ruta de aprendizaje propuesta por los autores, la cual inicia en su capítulo 1 con los hitos que en alguna medida marcaron el origen, el desarrollo y la historia de la toxicología para el campo de la *salud ocupacional*, mediante la descripción de personajes importantes para esta ciencia y los eventos que ellos generaron en el mundo (Pérez, 2014).

Como aporte adicional, en cada capítulo el lector se encontrará un estudio de caso que le permitirá validar los aprendizajes adquiridos sobre cada una de las temáticas expuestas, así como un resumen y un listado de palabras clave que contribuirán al afianzamiento del conocimiento de la toxicología.

Referencias

Mackenzie Ross S, Harrison V. What's your poison? Neurobehavioural consequences of exposure to industrial, agricultural and environmental chemicals. *Cortex*. Elsevier Ltd; 2016; 74:353–7. Recuperado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0010945215004116>

University Washington Evaluation I for health metrics and. Global burden disease. GBD Result Tools. Poisoning. Recuperado de <http://www.healthdata.org/data-tools>

Fundamentos
de **TOXICOLOGÍA**
para la **SEGURIDAD**
y **SALUD** en el
TRABAJO

El distinguido juez procedió a resumir el caso [...] Las preguntas principales serían, primero, si el difunto había sido envenenado; en segundo lugar, en caso de estar seguros, señalar si el acusado había administrado ese veneno o era causante que fuera administrado.

(Watson, K. 2006)





CAPÍTULO 1

Evolución histórica de la toxicología

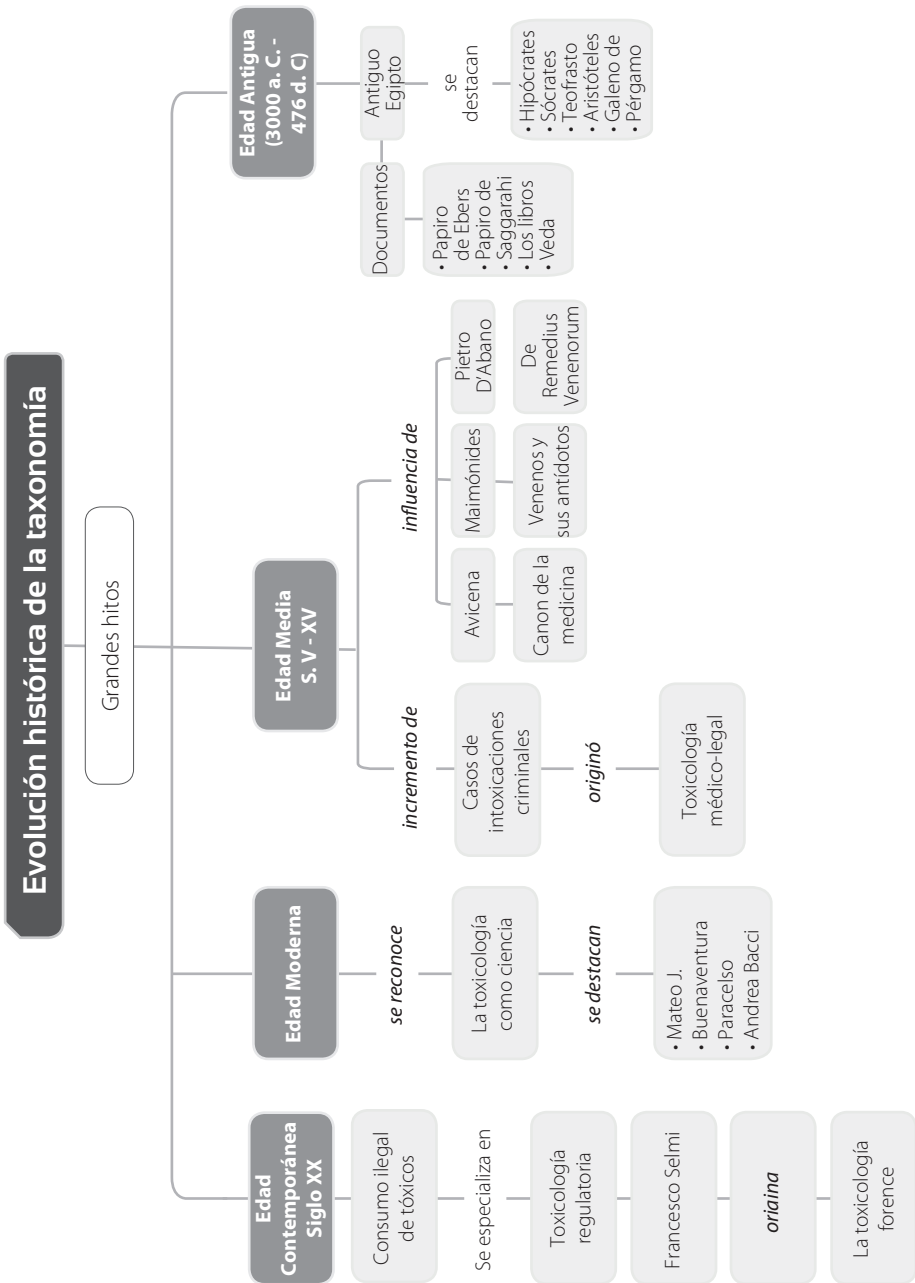
Javier Enrique Cortés Amórtegui

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Identificar los hitos que marcaron la historia de la toxicología.
- Reconocer las interacciones sociales, naturales, culturales, políticas y ambientales que dieron origen a los conocimientos toxicológicos.
- Entender la evolución conceptual de la toxicología, a lo largo de los años.

Figura 1.1 Mapa conceptual sobre la evolución histórica de la toxicología



Introducción

Cuando analizamos la historia de la toxicología, podemos decir que es tan antigua como la presencia del ser humano en el planeta. Los procesos de interacción de la humanidad con el medio donde habitaban, llevaron a los seres humanos a buscar sus alimentos y exponerse a efectos producidos por estos en su cuerpo, lo que propiciaría muchas veces envenenamiento. Muy seguramente, los eventos de ensayo y error que la especie humana tuvo que vivir lo obligaron a adaptarse a su medio, usando sustancias venenosas como arma de caza, de allí el nombre de *toxicología* – arma de caza–, veneno de las flechas o estudio del veneno (del latín *toxicum*, que significa “veneno”, o del griego *toxik*, “veneno de flechas” y *logí* del griego, “estudio”). Desde el Paleolítico se encuentran evidencias del uso de los venenos para la caza, bien sea con sustancias de origen vegetal o animal. Uno de los ejemplos que nos presenta la historia, se encuentra en aquellas sustancias que se introducían muscularmente en los animales, lo que induce bradicardia, hipotensión y detención del corazón (Scarlatto, 2007).

Evidentemente, los usos de las sustancias tóxicas no se quedaron solo para la cacería de animales, también se utilizaron en seres humanos, bien sea con fines criminales o terapéuticos. Entre los innumerables venenos que usó el hombre está el arsénico que fue especialmente notorio en la historia de la toxicología; este fue suministrado en variados compuestos y por diferentes vías de ingreso en organismos vivos como, por ejemplo, el ser humano. En las tablillas de barro en Mesopotamia, tal vez fue la primera vez que se encontraron evidencias de su uso.

Hoy en día, la toxicología presenta un múltiple abanico de servicios para la sociedad, cada uno de ellos con niveles muy altos de especialización, aplicación y resultados. En este momento constituye el reto de las ciencias relacionadas con la seguridad y salud en el trabajo. Esto con el propósito de darle valor a este saber desde el campo del servicio social, la prevención de accidentes y la investigación en diferentes campos.

Desde esta panorámica, este capítulo aborda los hitos que marcaron el origen, desarrollo e historia de la toxicología en el campo de la *salud ocupacional*, mediante la descripción de per-

sonajes importantes para esta ciencia y los eventos que ellos generaron en el mundo (Pérez, 2014).

El origen de la vida y del tóxico

En primera instancia, se puede afirmar que, desde el mismo origen de la vida, los seres vivos han tenido que luchar contra las toxinas, y en esa medida han creado mecanismos para apartarse de sustancias nocivas y soportar los efectos de la selección natural que causan los venenos. Es de suponer que los seres vivos –entre ellos el ser humano–, por instinto, curiosidad y experiencia tuvieron conocimiento de las características que rodean las sustancias biológicas y químicas, como también las de los cuerpos físicos. Sin duda, los aprendizajes que el hombre ha tenido frente a los agentes tóxicos, le han posibilitado sobrevivir y usar el medio a su conveniencia, primero en la caza y la pesca, luego con fines terapéuticos, para terminar, empleándolos incluso con fines delictivos.

Seguramente, las primeras sustancias que manipuló el hombre fueron de origen botánico, y en su entorno encontró plantas que le servirían para preparar alimentos, conservar alimentos o curar algunas enfermedades que impactaban la salud de las personas o de los mismos animales con los que convivían. Asimismo, se conocen varios relatos de cómo los hongos y los moneras sirvieron para curar padecimientos de la humanidad, así como también para crear bebidas que proporcionaban efectos agradables a quien los consumieran. Jiménez y Kuhn (2009) plantean que, de la misma manera, la historia permite reconocer cómo el ser humano usaría compuestos derivados de animales, tales como arañas, serpientes o insectos, para matar o inmovilizar presas. De igual forma, han utilizado productos minerales que, aunque no son saludables, les dan sabor a las comidas. Aguilera (2014) describe que, en algunas viviendas de la Edad de Bronce, en diversos periodos de la prehistoria (1700 a.C. a 800 a.C.) se observan imágenes que demuestran el uso de la dormidera o amapola real (*Papaver somniferum*). En el *Papiro de Ebers* (1552 a.C.), encontrado entre los restos de una momia en una de las tumbas de Assasif, cerca de Tebas, reinado del Faraón Amenhotep I, se describen medicamentos y venenos del anti-

guo Egipto. El *Papiro de Saggarahi* (1500 a.C.), el cual describe las propiedades tóxicas de la almendra amarga, a causa del ácido cianhídrico se convierte en veneno usado en ejecuciones. *Los libros Veda* (libros de la ciencia de la vida, 1500 a.C.) presentan igualmente algunos venenos y sus propiedades terapéuticas, tales como venenos de origen mineral y acciones abortivas. *El Papiro de Hearst*, también conocido como *Papiro médico de Hearst* (encontrado en el antiguo Egipto, en 972 a.C.), hace mención a tóxicos como el cianuro, la cerveza y los venenos de serpientes. La historia menciona igualmente a Hipócrates (460 a.C.), médico de la antigua Grecia, quien hizo énfasis en las propiedades de varios venenos como el plomo e incluyó anotaciones sobre la terapéutica y la sobredosis.

Recordemos, de otra parte, a Sócrates (399 a.C.), quien fue condenado a beber cicuta por los daños que supuestamente le causó a la juventud. Teofrasto (apodo de Tirtamo, 371 a.C.) hizo la primera clasificación sistémica de las plantas según sus propiedades médicas y explicadas en su obra *Sistema Naturae*. Aristóteles (322 a.C.) hizo un ejercicio descriptivo en sus obras relacionadas con el veneno de las víboras. El médico griego Díágoras (300 a.C.), de la isla de Chipre, escribió varios tratados de botánica y las acciones curativas de ellas; en uno de sus trabajos presenta la absorción acelerada de los compuestos tóxicos por la conjuntiva y los efectos generalizados que produce la entrada por esta vía. Nicandro de Colofón (135 a.C.) escribió dos poemas, *Alexipharmaca* y *Therica*; el primero es un tratado sobre los venenos de origen vegetal, mineral y sus propiedades, mientras que el segundo presenta sus antídotos. En el año 81 a.C. se crea la Ley Cornelia en la antigua Roma, pues debido a que había muchas muertes por envenenamiento, se instaura la figura del “probador” o “preguntador”; se trataba de un esclavo encargado de catar las comidas y las bebidas. Pedanio Dioscórides Anazarbeo, en 40 a.C., fue considerado el padre de la farmacología por su manual de farmacopea. Y en el año 30 a.C. encontramos a Cleopatra, reina egipcia, quien puso fin a su vida al dejarse morder por una cobra egipcia.

Sin duda, el punto esencial de esta época constituye el origen de la toxicología a partir de la herbolaria, pues existen evidencias del uso de las plantas con diferentes fines, que luego

se extendió a frutos y sustancias no vegetales mediante usos mágico-científicos. Los resultados de estos hallazgos marcan los primeros conceptos de la toxicología que todavía se conservan en la actualidad; entre ellos, la naturaleza química de los tóxicos, la acción selectiva de las sustancias sobre el cuerpo humano, la relación dosis-tiempo-respuesta y el carácter social sobre el uso de los tóxicos.

De la farmacología a la medicina

Las ciencias antiguas describen, incluso desde la mitología, la historia sobre el uso de variadas sustancias, que tienen su origen en tres grupos de estudio determinado en la naturaleza (animal, vegetal y mineral). Estos grupos podrían tener variados usos que, dependiendo de la dosis, tendrían acciones curativas y terapéuticas de acuerdo con las concentraciones reducidas y apropiadamente preparadas. Por ejemplo, si la exposición y la concentración son excesivas, la acción podría ser letal. Así, es posible entender los fenómenos de envenenamiento que sucedieron en la antigüedad, y posteriores estudios que llevaron al actual conocimiento toxicológico.

Varios ejemplos de uso de los tóxicos en beneficio de la salud humana, los presentó Pedanio Dioscórides Anazarbeo, médico y botánico griego, en el año 40 d.C., considerado el padre de la farmacología por su *Manual de farmacopea*, y también autor de una obra en cinco volúmenes, titulada *De Materia Medica*, precursora de la moderna farmacopea, en donde discutió venenos y sus antídotos. También existen desde la Edad Antigua intentos por proteger al ser humano de las sustancias venenosas, como en el caso de Galeno de Pérgamo (médico, cirujano y filósofo griego en el Imperio romano; 130-210 d.C.), quien creó una sustancia que recomendaba consumir para evitar la acción de los venenos (triacá). En contraposición con los intentos de proteger al hombre, los venenos tuvieron variados usos; en el año 364 hasta el Renacimiento se observan varios casos en que los venenos se utilizan con fines criminales, por ejemplo, siete Papas europeos y nueve sucesores del Imperio Romano Germánico fueron víctimas de homicidio por acción de sustancias tóxicas.

Resulta importante señalar la influencia de los árabes en Alejandría que produjo, entre otras cosas, guerras, hambre y enfermedades, cuyos hechos asimismo marcaron tendencias que se desarrollarían en varias ciencias, en particular en la medicina, ya que grupos religiosos y científicos tenían el deseo de servir a los demás. Recordemos que Pablo de Egina, médico bizantino en el siglo VII aproximadamente, escribió siete libros relacionados con los medicamentos (*Epitomae medicae libri septem*), de los cuales el V libro fue dedicado a los venenos y sus efectos. En esta obra (en 66 capítulos) presenta una de las listas más completas sobre sustancias tóxicas, y describe los elementos encontrados a partir de mordeduras de animales, sustancias de uso cotidiano que podrían afectar al ser humano y otras relacionadas con picaduras.

Para complementar, debemos tener en cuenta que los musulmanes y su florecimiento desde la guerra, la filosofía, las letras y la medicina, impactaron notablemente en los avances de la química, la farmacología y la toxicología., donde se revelan conocimientos importantes sobre los venenos, tal es el caso de Yábir ibn Hayyan, considerado uno de los más grandes alquimistas árabes del siglo IX, a quien se le atribuyen más de 3.000 obras o tratados con temas relacionados con metafísica, lógica, geometría, cosmología, química, música, medicina, biología, toxicología, entre otros. En sus escritos, se observan comentarios relacionados con cómo las emanaciones de oro en la nariz resecan la mucosa y dañan el cerebro; asimismo, este prolífico autor describió los efectos de los ácidos minerales fuertes y los metales en el cuerpo humano.

De otra parte, de los muchos médicos persas que se relacionan de alguna manera con la dominación árabe, recordamos a Abu Bakr al-Razi (865-923 d.C.), quien, junto con Avicena, se consideran los médicos más sobresalientes y asimismo se les atribuyen más de 50 escritos, entre los más importantes está *Continens*, tratado médico usado por muchos años en Europa, que resalta infecciones como la viruela y la escarlatina. Al-Razi estudia las propiedades médicas de algunos fármacos como el almizcle y el alcanfor, además introduce el uso de la piedra bezoar como un potente contraveneno; también describió el comportamiento toxicológico de algunas sales, compuestos minerales y metálicos.

La Edad Media: de los venenos y sus antídotos a los envenenamientos

De la Edad Antigua a la Edad Media, los árabes continúan influenciando en el campo de la medicina, donde se evidencia la preparación y extracción de medicamentos mediante técnicas introducidas por ellos mismos, entre otras: la destilación, la sublimación y la cristalización, al igual que análisis sobre venenos, alquimia y terapéutica. En este periodo se destacan los trabajos de Avicena, Maimónides y Pietro d'Abano. Al respecto, Vallverdú (2005) afirma que Avicena (Ibn Abdullah Ibn Sina, 980-1037) con su libro más famoso, el *Canon de la medicina*, se convirtió en un referente importante para Hipócrates, Aristóteles y Galeno. Este médico, filósofo y científico obtuvo el calificativo de “Líder entre los hombres sabios”; estudió matemáticas, física y lógica, entre otras ciencias. Entre sus escritos relacionados con la toxicología, es importante resaltar su poema didáctico *Urgúza fit-Tibb*, en el cual describe importantes conocimientos farmacológicos, el uso del escalpelo, la teoría médica y dietas, todos ellos escritos en rima para facilitar la lectura y el aprendizaje de 1.313 versos por parte de sus estudiantes. En el libro II del *Canon de medicina* describe en orden los medicamentos simples usados en medicina, y en el libro V menciona tratamientos con algunos medicamentos a partir de una lista de 760 productos farmacológicos compuestos donde a su vez sugiere la forma de administración.

Las enseñanzas árabes en ciencias y la influencia de la religión se constituyeron en parámetros ideales de la época. Maimónides (1135-1204), por ejemplo, como médico, filósofo, teólogo y rabino español de la Edad Media, dejó un notable legado médico en 10 obras donde en forma particularmente novedosa construyó *aforismos médicos* que describen 1.500 ideas sobre medicina. Este escribió igualmente en lengua árabe un tratado sobre medicina y farmacia, *Venenos y sus antídotos*, en el cual es importante observar un sinnúmero de sugerencias para evitar intoxicaciones y, si se presentan, propone un tratamiento para cada una. Algunos acontecimientos científicos importantes de la época, que sin duda marcaron a Maimónides, fueron entre otros la separación de la medicina y la farmacia, mediante edicto de Federico II; para ese entonces hubo un incremento

notable en casos de intoxicaciones criminales y la creación de una toxicología médico-legal.

Alba Aguilera (2017), en su obra, dice que Pietro D'Abano (1250-1316), como doctor, médico, profesor, filósofo y astrónomo, en el siglo XIII se destacó con el libro *De Remediis Venenorum*, en el que modificó las ideas de los árabes sobre los venenos y los dividió en tres clases (animales, vegetales y minerales); es un tratado de venenología de 81 capítulos que escribió al final de su vida, en el cual expone en términos generales los síntomas de las intoxicaciones y los tratamientos para combatirlas.

La Edad Media fue especialmente reconocida en la toxicología por los innumerables casos de envenenamiento y muchos de ellos relacionados con la mujer, entre ellos se destacan los de Lucrecia Borgia y la muerte de sus parejas por envenenamiento. En el siglo XIV, el rey Ladislao de Nápoles murió envenenado por su amante, quien portaba un tóxico en sus genitales; Fernando V de Aragón murió por un brebaje afrodisíaco que —según la historia— fue administrado por su esposa, Germana de Foix. Algunas anécdotas relacionan a otras mujeres con el arte de envenenar, entre ellas: Madame Toffana, Catalina Médicis, la Marquesa de Brinvilliers, La Voisien y La Sichelgarda.

Edad Moderna: la toxicología como ciencia

En la Edad Moderna, la toxicología deja de ser un arte al servicio de la medicina para transformarse en una ciencia, a partir de los trabajos de Mateo José Buenaventura Orfila (1787-1853), médico y químico español. Este personaje publicó los libros *Découvert du pricomel dans les calculs biliaires de l'homme* (*Descubrimientos de los cálculos humanos*) (París, 1812) y *Traité des poisons tirés des trois regnes ou Toxicologie Générale* (*Tratado de los venenos o Toxicología general*) (1814-1815), y con estos se le reconoce como el padre de la toxicología. En este periodo, igualmente, se divulgan las obras de Fernando Panzzeti, Santos de Adonis, Jerónimo Mercurial, entre otros. No obstante, Paracelso (1493-1541) marca un hito para la toxicología; este se consagró como médico y alquimista, por obligación, ya que su entorno no le permitía escoger en donde más desarrollar sus ideas. Entre sus obras: *Von der Pestilenz, au*

die Stadt Sterzingen (1538), *Von den Imposturen von der Aerzte* (1530), *Opus paramirum ad medicam industriam* (1532). Fundó la ciencia *iatroquímica* que luego sería la *farmacología*. Durante su vida hizo afirmaciones como: “[...] las enfermedades se deben a agentes externos del cuerpo y pueden ser combatidas por medio de sustancias químicas”. De igual modo, usó compuestos metálicos como el mercurio para tratar la sífilis; identificó enfermedades producidas por inhalación de metales particulados; propuso tratamientos para la lepra, la hidropesía, heridas, la gota y algunas enfermedades contagiosas. En 1564 dio a conocer uno de sus planteamientos más importantes: “¿Hay algo que no sea veneno?”, en el cual presenta su más importante idea sobre la dosis, al revelar que todas las sustancias son tóxicas. Otras de sus propuestas conceptuales terminaron convirtiéndose en cánones de la toxicología:

- **Primero:** la observación de la respuesta experimental a los tóxicos (en animales).
- **Segundo:** diferenció los resultados de una sustancia en el cuerpo humano en dos posibilidades, terapéuticas y tóxicas.
- **Tercero:** propuso el concepto de dosis para establecer el grado de toxicidad de una sustancia.

Vale la pena, asimismo, hacer referencia a Ulrich Ellembog (1440-1499), quien fue uno de los primeros en articular la toxicología con la *salud ocupacional*; escribió un libro en el campo laboral en el cual manifiesta el riesgo de los trabajadores de la orfebrería con el uso del mercurio y el plomo, además describió varias plantas procedentes de América con propiedades curativas, entre ellas, guayacol o palo santo (*Bulnesia sarmientoi*), azañar de la China (*Pittosporum tobira*), coca (*Erythroxylum coca*), tabaco de Virginia, petén o hierba santa (*Nicotiana tabacum*) y la zarzaparrilla o zarza morisca (*Smilax aspera*, *S. divaricata*).

Bacci Andrés (1524-1600), por su parte, fue otro autor importante que articuló la toxicología con la botánica, hizo estudios de algunas sustancias provenientes de plantas y produjo los libros: *Tabula simplicium medicamentorum* (Roma, 1577), *Tabula de theriaca quae ad instituta veterum Galeni atque Andromachi inventa fuit* (Roma, 1582) y *De venenis et antidotis prolegomena* (Roma, 1586).

La obra *Acerca de la materia medicinal y de los venenos mortíferos*, constituye quizá el tratado científico más usado durante los siglos XVI al XVIII. Su autor, Dioscórides, fue un médico griego del siglo I, cuya obra fue traducida por Andrés Laguna (1499-1559), humanista español del siglo XVI; médico, profesor de botánica y farmacología, quien se dedicó a la tarea de estudiar los venenos y los reclasificó en minerales, animales y vegetales; además, creó dos subcategorías de los venenos animales, los que producen muerte por ponzoña y aquellos que son ingeridos.

En ese orden histórico, aparece Tachenius Otto (1644-1699), quien estudió los efectos del mercurio y describió la preparación y las propiedades del sublimado de mercurio, conocido veneno de la época; también describió los efectos del arsénico, ya que lo probó en sí mismo. En su informe escribió que “[...] calentó en un vaso un poco de arsénico y luego lo aspiró, describió un sabor dulce y malestar en el estómago [...] convulsiones de todo su cuerpo, dificultad respiratoria y orina sanguinolenta”.

Bernardo Rammazzini (1633-1714), por otra parte, fue uno de los primeros médicos que se dedicó a la medicina laboral, ya que articuló aspectos de la medicina con procesos laborales y con efectos de los tratamientos que dividió en curativos y preventivos. Por tal razón, se le considera el padre de la “medicina del trabajo”; su obra: *Discurso sobre las enfermedades de los trabajadores*; estudió patologías de pintores, mineros, alfareros y tejedores, las cuales describió como enfermedades profesionales.

Un poco más adelante, en el siglo XVIII, nace la toxicología judicial o forense, ya que en ese entonces se incrementaron los casos de envenenamientos y los peritos judiciales tuvieron que especializar las técnicas analíticas, con lo que se dio origen a la *toxicología analítica*.

Edad Contemporánea: del estudio de los tóxicos al consumo ilegal

En esta época, gracias a los grandes desarrollos tecnológicos y los avances de la ciencia, se posibilita un estudio importante sobre aquellas sustancias que de una u otra manera afectan al ser humano junto con el análisis de las interacciones humanas que

permiten la difusión de variados tóxicos en todos los niveles de la sociedad (Sánchez y Nieto-Galán, 2006). Los representantes de la toxicología en el mundo, inician sus estudios desde la fisiología, la patología y terminan aplicando a variados niveles de especialización; entre estos se destacan: Mateo Orfila, James Marsh, Francesco Selmi y Jean-Servais Stas.

En la gran dinámica que se vive en el siglo xx, globalmente la población de la tierra se ve impactada por la Segunda Revolución Industrial, problemas de los sistemas y gobiernos que se relacionan con la producción, aplicación y movimientos de nuevos materiales con variados productos químicos, los cuales desencadenan ilegalmente aplicaciones descontroladas en el entorno ambiental generando nuevas y abundantes descargas de contaminantes (Silbergeld, 2001). Estos acontecimientos motivan a los estudiosos de la toxicología a concentrar sus esfuerzos en una especialización que recibe el nombre de *toxicología regulatoria*.

Uno de los médicos que impacta en la sociedad desde la Edad Moderna hasta la Contemporánea, es precisamente Mateo Orfila (1787-1853), quien con sus trabajos sobre venenos (*Tratado de venenos*, 1814), es el primero en clasificar estas sustancias desde su origen, bien sea animal (por mordedura de serpiente), vegetal (por una belladona) y mineral (por mercurio y sulfato de plomo) (Silbergeld, 2001). En esa obra demuestra que el tóxico no se queda en el sistema digestivo, sino que se mueve dentro del cuerpo y llega a diferentes órganos, dejando en claro, el principio de las fases de la acción tóxica, en este caso la toxicocinética.

Para profundizar, Sánchez y Nieto-Galán (2006) retoman datos y estudios de Orfila, y ponen en el escenario a James Marsh (1794-1846), químico-analítico británico, que realizó variadas investigaciones con el arsénico, tóxico que para la época se relacionó con varios homicidios. Otro de los discípulos de Orfila, Jean-Servais Stas (1813-18919; médico y químico analítico, nacido en Bélgica) determinó los pesos moleculares de varios elementos químicos usando la masa del oxígeno como elemento patrón o estándar. En 1850, su cuñado murió en el castillo de Bitremont; las extrañas condiciones de su muerte ocasionaron que se hiciera una investigación, lo que hizo que Stas muy jo-

ven en ese entonces desarrollara un método para identificar la nicotina en muestras de una persona fallecida (Roque, 2016).

Vallverdú (2005), por su parte, agrega que los estudios y hallazgos de esa época le dieron un fuerte impulso a la toxicología que se hizo cada vez más importante en los ambientes académicos. Tal fue el caso de Francesco Selmi (1817-1881), quien fue docente en 1870 de toxicología y farmacología en la Universidad de Bolonia, descubrió las tomaínas o ptomaínas, cuyas sustancias nitrogenadas provienen de la putrefacción bacteriana sobre los cadáveres, su estructura es parecida a los alcaloides y daba falsos positivos por la presencia de venenos o tóxicos durante los análisis legales o judiciales; por ello, estos estudios dieron origen a la *toxicología forense*.

Gilbert (2017) concluye que durante la historia y hasta nuestros días la toxicología se ha relacionado con otras ciencias; en primera instancia tuvo una notable dependencia de la medicina, para luego ser utilizada mediante análisis químico en los estudios legales de homicidios, luego fortaleció los desarrollos de la farmacología con las investigaciones bromatológicas, convirtiéndose en pieza fundamental de la regulación normativa de los procesos sanitarios y de la cualificación del trabajo seguro. En la actualidad, constituye una ciencia particular del conocimiento y como parte de la medicina se ocupa del estudio y los efectos de sustancias o productos venenosos o tóxicos en organismos.

Términos clave



- Antídotos
- Arsénico
- Envenenamiento
- Farmacología
- Letal
- Papiro
- Picaduras
- Sobredosis
- Tóxico
- Venenos



La extraña muerte de un granjero inglés

Corría el año de 1833, las autoridades en Liverpool intentaban esclarecer las causas de la muerte de un granjero acaudalado de esa región. Este señor, quien para ese entonces era un anciano, arrendaba parte de sus propiedades a viajeros o comerciantes de paso en la comarca. La tragedia se propició seguramente cuando aquel viejo arrendatario decidió cambiar las condiciones de su testamento, en el cual su hijo perdía la mayoría de sus privilegios y los debía ceder a su hermana ciega y al yerno del granjero, quienes necesitaban el apoyo económico que les solucionaría la herencia. Un día, toda la familia insólitamente amaneció enferma, al igual que varias personas cercanas que colaboraban en la granja; lo más grave fue que el viejo granjero, quizá por su edad, estaba agonizante. El médico de cabecera que los asistía, fue urgentemente hasta allí, los examinó y concluyó que no reconocía los síntomas de la extraña enfermedad, pero por sus características y la presencia de estos en varias personas a la vez, sugirió que se trataba de un envenenamiento.

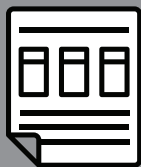
Asimismo, los datos recopilados por las autoridades de la aldea de Greendale, en inmediaciones donde habitaba la familia, describieron una serie de indicios y acontecimientos que ayudaron a esclarecer el caso. En efecto, con base en las declaraciones de algunos, esa mañana, al igual que todos los días, el granjero se levantó y tomó café junto con su esposa; de esa misma cafetera se sirvieron tres mujeres que laboraban para la familia, así como una de las hijas de una de las empleadas y siete hijos de otra de ellas. Puesto que el café preparado era insuficiente, hirvieron un poco más, con una adición de agua y otra dosis de café. Al examinarlos, todos los que tomaron la bebida revelaron un aliento cuyo olor era similar al del ajo; asimismo, presentaron lesiones en la comisura de los labios, náuseas, vómito, dolor abdominal, cólico, diarrea con presencia de sangre, síntomas acompañados de hormigueo en manos y pies, calambres musculares y convulsiones. Lamentablemente, el granjero que había repetido quizá dos o tres tazas de café, finalmente falleció.



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles fueron las razones por las cuales el médico que atendió a la familia, presupuso que era un envenenamiento?
2. Según su criterio, ¿cuál de los metales estudiados en este capítulo fue el que produjo la intoxicación? Justifique su respuesta.
3. Después de analizar el caso y de determinar el origen de la intoxicación, describa la regulación que existe en su país frente a este tipo de tóxico.



RESUMEN

Hablar de toxicología en términos históricos, es tan cercano como abordar la vida del ser humano en este planeta. En este capítulo se describieron los acontecimientos e hitos marcados por personajes importantes de la toxicología en la humanidad. El hombre como especie tuvo que desarrollarse y poblar el planeta; en ese recorrido buscó diferentes alimentos y su experiencia le dijo qué podría consumir o no, y así conoció de manera práctica y experimental los efectos de un envenenamiento. Así, ese acercamiento espontáneo en la caza y en la pesca, por ejemplo, le permitió usar experiencialmente variados productos como venenos, de allí una de las acepciones de la toxicología: *flecha envenenada*.

En términos generales, durante este proceso descriptivo histórico, se observan los diferentes usos dados a los tóxicos en la evolución del hombre en pro de la sociedad desde diferentes ópticas como la medicina, la botánica, la religión y la misma política; así, se destaca el paso empírico de la toxicología como arte hasta convertirse en una rama de las ciencias biológicas.



CUESTIONARIO

1. Elabore una infografía sobre las etapas de la historia de la toxicología.
2. Algunos aspectos esenciales de la toxicología moderna son los parámetros de seguridad de las sustancias químicas. Esta acción requiere conocer varios conceptos relacionados con el procedimiento preventivo. Descríbalos.
3. Consulte y describa brevemente la prueba de Marsh.
4. ¿Cuáles fueron las razones para que Mateo Orfila fuera reconocido como el padre de la toxicología?
5. La toxicología ocupacional o laboral ha sido influenciada por varios procesos que la han llevado actualmente a un nivel de especialización. Teniendo en cuenta los aspectos históricos descritos en este capítulo, elabore una lista de los acontecimientos que dieron origen a esta rama de la ciencia.
6. ¿Cuál es el propósito de hacer ensayos toxicológicos?
7. Consulte y explique un ensayo de toxicidad en animales de experimentación.
8. Consulte, profundice y explique brevemente la relación dosis-respuesta/efecto y sus tipos.

Referencias

- Aguilera, A., Montonza, M., Olaya, N., Gómez, R. (eds) (2015), *Actas de las II Jornadas Predoctorales en Ciencias de la Antigüedad y de la Edad Media (Universitat Autònoma de Barcelona, 19-21 de noviembre de 2014)*, Oxford, Archaeopress.
- Aguilera Felipe, A. (2017). *El Tractatvs de venenis de Pietro d'Abano. Estudio preliminar, edición crítica y traducción*. Tesis doctoral. Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona. Recuperado de <https://www.tdx.cat/handle/10803/462190>, pp. 425.
- Gilbert, S.G. (2017). Una pequeña dosis de la historia de la toxicología. Seattle, WA 98115. Institute of Neurotoxicology & Neurological Disorders (INND), pp. 7.
- https://www.academia.edu/5283381/Los_venenos_en_la_Antigüedad_Corpus_Toxicologicum, pp. 32.
- Jiménez, M.R. & Kuhn, G.R. (2009). *Toxicología Fundamental. Desarrollo y evolución histórica de la Toxicología*. 4ª. Ed. Sevilla, España: Ediciones Díaz de Santos, pp. 1-19.
- Marsh, J. (1836). Relato de un método para separar pequeñas cantidades de arsénico de las sustancias con las que se pueden mezclar. En *Edimburgo Nuevo Diario Filosófico*. 21: 229-236. Recuperado de <https://archive.org/details/edinburghnewphil21edin/page/118>
- Pérez, L. et. ál. (2014). Origen e historia de la toxicología. En *Revista Cubana de Medicina Militar*, 43(4): pp. 499-514. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/mil/v43n4/mil09414.pdf>
- Roque, C.I. (2016). Lo que se debe saber acerca de... la Toxicología Forense. En *Revista de Ciencias Forenses de Honduras*, Vol. 2, N° 1, pp. 63-67.
- Sánchez, J.R. y Nieto-Galán, A. (2006). Entre la ciencia y el crimen: Mateo Orfila y la toxicología en el siglo XIX. En *Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve*, N° 6. Barcelona: Prous Science. pp. 55-72.
- Scarlato, E. (2007). Cuando hablar de toxicología equivalía a andar tirando flechas. En *Boletín de la Asociación Toxicológica de Argentina*. 21(77). Recuperado de <http://www.fmvuba.org.ar/comunidad/toxicologia/Venenos/Flechas.htm>
- Silbergeld, E.K. (2001). Toxicología. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, Cap. 33, Tomo 1. Madrid, España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Subdirección General de Publicaciones.

- Vallverdú, J. (2005). La evolución de la toxicología: de los venenos a la evaluación de riesgos. En *Revista de Toxicología*, Vol. 22, No. 3, cuatrimestral, Pamplona, España: Asociación Española de Toxicología Pamplona, pp. 153-161.
- Watson, K. (2006). El envenenamiento criminal en Inglaterra y los orígenes del ensayo de Marsh para detectar arsénico. Cuadernos de la fundación Dr. Antonio Esteve nº 6. Recuperado de: <https://www.raco.cat/index.php/QuadernsFDAE/article/download/277895/365806>



Todo es veneno y nada es veneno.

La dosis sola hace el veneno.

Theophrastus Paracelsus



CAPÍTULO 2

Conceptos y definiciones

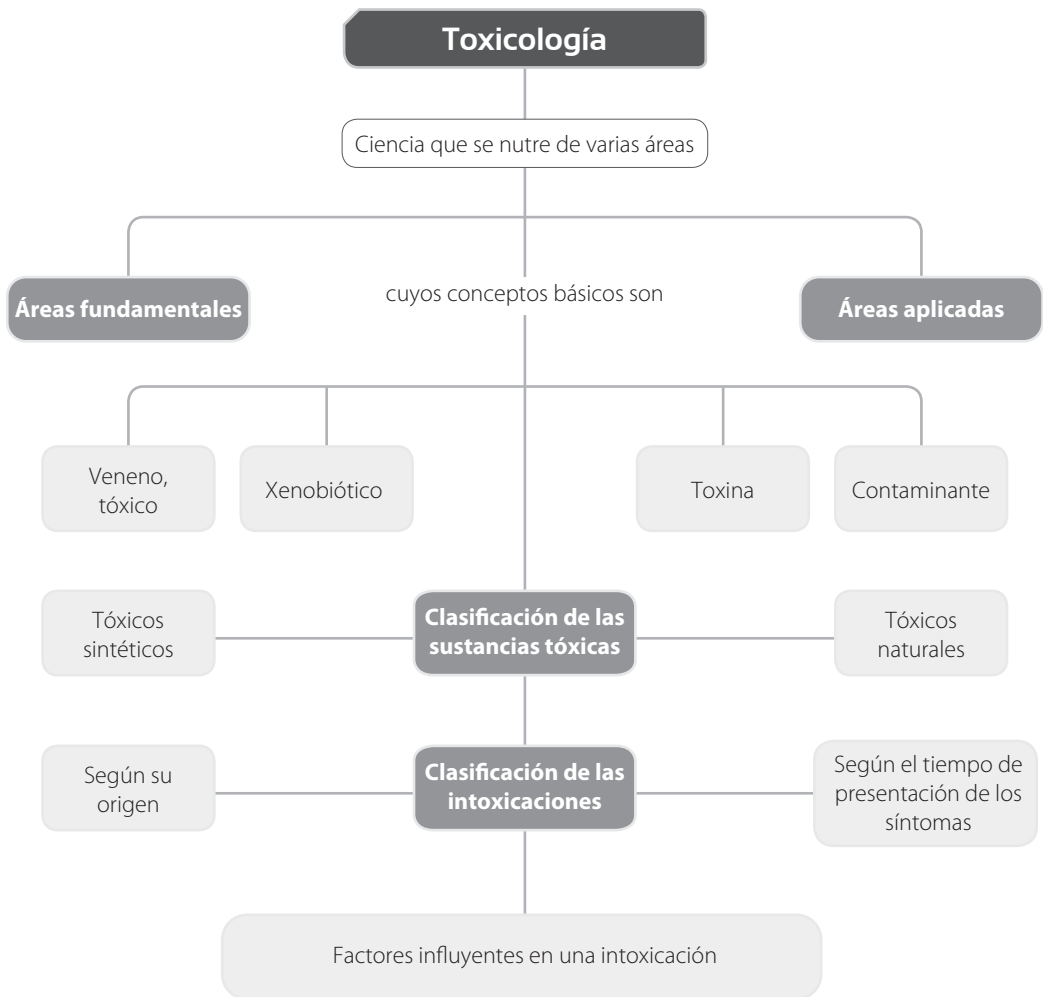
Diana Carolina Chaves Silva

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Definir la toxicología y los términos más utilizados.
- Reconocer las aplicaciones de la toxicología.
- Diferenciar entre intoxicación y contaminación.
- Reflexionar sobre la importancia de aplicar conceptos en la comunidad a partir de ejemplos cotidianos.

Figura 2.1 Mapa conceptual sobre conceptos y definiciones de toxicología



Introducción

Este capítulo presenta las definiciones y términos más empleados en toxicología, y su integración en diferentes áreas fundamentales y otras áreas aplicadas. Estos incluyen conceptos, tales como tóxico, veneno, xenobiótico, contaminante, y toxinas, así como ejemplos de mayor presencia de toxinas en México, Perú, Brasil y Colombia, como ejemplos de países con condiciones geográficas favorables para el desarrollo de algunas especies de animales ponzoñosos. En este capítulo también se mencionan las clases de sustancias tóxicas, intoxicación y clasificación de intoxicaciones según el tiempo de presentación de los síntomas, y según el contexto social, ocupacional, ambiental, accidental suicida, criminal, entre otras.

Asimismo, se tratará la toxicología relacionada con las sustancias químicas. Esto debido a que los efectos sobre la salud, ocasionados por ondas como radiaciones y sonido, se entienden en el campo de la salud ocupacional como riesgos físicos, aunque se tratan por su naturaleza desde la física en conjunto con la medicina. Actualmente existe la física médica, que aborda el tema en profundidad.

¿Qué es la toxicología?

La toxicología se puede definir como una ciencia que estudia los efectos adversos ocasionados por sustancias químicas o agentes físicos como las radiaciones en los organismos vivos. Córdoba y Guerrero (2006), en su disertación, la determina asimismo como el conjunto de conocimientos que estudian el comportamiento, el metabolismo, los mecanismos de acción, las lesiones, la acumulación, la eliminación y el tratamiento, todo ello derivado de una intoxicación.

De otra parte, esta ciencia se nutre de ciencias básicas, tales como química, biología, fisiología, farmacología, bioquímica y matemáticas. Según Díaz y Lozano (2006), la toxicología tiene áreas fundamentales y otras áreas aplicadas, las cuales se presentan a continuación.

Áreas de la toxicología

Es importante comprender que, aunque la toxicología tiene un concepto central, sus aplicaciones son diversas y estas han generado áreas de estudio, a saber, fundamentales y aplicadas, como se detalla en los siguientes apartados.

Áreas fundamentales

Como indican las palabras, las áreas fundamentales son aquellas que plantean lo básico para el conocimiento de la toxicología y estudian los conceptos relacionados con la toxicología, entre ellas:

- **Toxicología analítica:** cuantifica e identifica las moléculas o metabolitos que producen efectos adversos en los organismos vivos.
- **Toxicología clínica:** diagnostica y trata las intoxicaciones que ocurren en seres vivos.
- **Toxicología experimental:** experimenta con modelos biológicos para encontrar los efectos adversos causados por la exposición a una sustancia tóxica.
- **Toxicología general:** disciplina que estudia las bases de la toxicología y sus conceptos.

Áreas aplicadas

Una vez reconocidas las bases conceptuales de la toxicología, de forma interdisciplinaria se realiza la aplicación, bien sea para resolver la causa de muerte de un individuo propio de la toxicología forense o para averiguar el agente causante de una intoxicación alimentaria.

- **Enseñanza de la toxicología:** aplicación de modelos pedagógicos a la enseñanza de la toxicología en programas como medicina, química, farmacia, biología, salud ocupacional, entre otras.
- **Toxicología alimentaria:** estudia la presencia de tóxicos en los alimentos, así como sus efectos nocivos.
- **Toxicología forense:** área de la toxicología que ayuda a las investigaciones médico-legales en muertes o intoxicaciones, casos en los cuales los informes de laboratorio se pueden emplear en las cortes. Incluye, por ejemplo, grado de alco-

holemia, abuso de drogas y sustancias en fluidos biológicos como sangre, orina, entre otras.

- **Toxicología ocupacional:** estudia los efectos en la salud que produce la exposición a sustancias químicas en el lugar de trabajo; también previene accidentes y enfermedades que tienen origen en sustancias tóxicas.
- **Toxicología ambiental:** estudia los contaminantes ambientales y efectos nocivos en los seres vivos y su relación con el ecosistema.
- **Toxicología regulatoria:** área de la toxicología que se encarga de evaluar, estudiar, proponer y apoyar el desarrollo de normas toxicológicas a fin de reducir la exposición y posibles efectos sobre la salud.
- **Toxicología computacional:** área de la toxicología que permite predecir valores de toxicidad humana o medioambiental mediante el uso de modelos informáticos.
- **Toxicogenómica:** estudia la respuesta genómica de los organismos expuestos a agentes químicos. Según Capó & Frejo (2007), estos incluyen fármacos, contaminantes ambientales, aditivos alimentarios, drogas de abuso, entre otros. Esta área de la toxicología explica el papel de las interacciones entre genes y ambiente y el desarrollo de enfermedades.

Ahora bien, según Torres (2006), la combinación de la toxicología con otras ciencias básicas ha derivado otras áreas como la *toxinología* que se refiere al estudio de las sustancias tóxicas de origen biológico. Asimismo, existe la *neurotoxicología* que se encarga de estudiar las sustancias tóxicas que producen efectos adversos en el sistema nervioso, mientras que la *hepatotoxicología* estudia las sustancias que tienen efecto adverso en el hígado, y la *inmunotoxicología* se concentra en el sistema inmune, entre otras.

¿Qué es un tóxico?

Después de reconocer las áreas de la toxicología, resulta importante enfatizar en dos palabras utilizadas con frecuencia en salud ocupacional, las cuales son *tóxico* y *veneno*. En primer lugar, *veneno* es “[...] una sustancia que, introducida en un ser vivo, es capaz de producir graves alteraciones funcionales e incluso

la muerte” (Real Academia Española, 2018). Según Córdoba y Guerrero (2006) y la RAE, *tóxico* es lo mismo que *veneno*, sustancia que puede ser sólida, líquida o gaseosa que al ser absorbida por un organismo vivo puede ocasionar graves alteraciones funcionales hasta la muerte. De hecho, una sustancia al ser transformada en procesos industriales puede estar transitoriamente en el entorno en forma de vapor, humo, rocío, neblina, aerosol, entre otras formas naturales, y cuando entra en contacto con un organismo vivo a través de las diferentes vías de ingreso puede producir una intoxicación.

De otra manera, un *xenobiótico* (según las raíces griegas, «xeno», extraño y «bio», vida) es toda sustancia externa que ingresa al organismo, tales como algunos medicamentos, metales, micotoxinas, etc. La diferencia entre tóxico y xenobiótico radica en que la sustancia tóxica puede ser un metabolito que se haya formado en algún órgano o sistema por reacción química con otra molécula después de ser metabolizada, mientras que xenobiótico se le denomina a la sustancia externa que al ingresar al organismo produce un efecto adverso.

¿Qué es una toxina?

Tal como plantean Díaz y Lozano (2006), en su obra *Introducción a la toxicología veterinaria*, *toxina* se refiere a un grupo de sustancias tóxicas de origen biológico que también se conocen como biotoxinas y se clasifican en:

- **Fitotoxinas:** aquellas de origen vegetal, por ejemplo, cicuta, belladona, ricino, hiedra, entre otras. La hiedra se cultiva en jardines y parques, trepa por las paredes y los árboles. Existen reportes de intoxicaciones de trabajadores de jardinería en Estados Unidos que mencionan efectos de irritación dérmica.

La belladona es una planta que pertenece al grupo de los neurotóxicos; se consume a veces de forma recreativa, produce alucinaciones, pero su intoxicación puede ser mortal, ya que contiene escopolamina.

La cicuta es una planta parecida al perejil y al hinojo con la diferencia de un aroma desagradable.

- **Zootoxinas:** se refiere a toxinas de origen animal, por ejemplo, las toxinas de pez globo, medusas, rana, arañas, serpientes, escorpiones, hormigas, abejas, entre otras. En la figura 2.2 (véanse páginas 30 y 31), se pueden observar imágenes de animales venenosos de mayor importancia en salud, como la serpiente coral *micrurus*.
- **Toxinas microbianas:** se refieren a toxinas de bacterias, algas y hongos. Las que producen algunos hongos se denominan micotoxinas. En el Mar Caribe en algunas temporadas de marea roja se encuentra la “cigua” que genera la enfermedad de la ciguatera por su consumo. En cuanto a las micotoxinas más conocidas son aflatoxinas y tricoticenos que se encuentran principalmente en maíz y trigo y los productos alimenticios elaborados con estos cereales.

Las zootoxinas son aquellas a las que se les ha dado mayor importancia por el número de reportes que ha ido aumentando a nivel mundial especialmente con animales ponzoñosos. De acuerdo con Vargas & Rodríguez, (2012) el mayor número de casos por mordedura de serpientes y picaduras de escorpiones se dan principalmente en África, Asia y América Latina. El reporte mundial de intoxicaciones por animales venenosos ocupa el tercer lugar en importancia, y de estas ocupa el primer lugar la mordedura de serpiente seguido por picadura de escorpiones y arañas.

En lo que respecta a Latinoamérica, el reporte anual sobre el mayor número de casos en orden decreciente por país es como sigue: Brasil, Panamá, Ecuador, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Nicaragua, Venezuela, Uruguay, Belice y el Salvador. En estos países predominan los accidentes causados por mordedura de serpiente *bothrops*.

Los escorpiones existen en todos los continentes; no obstante, las especies relacionadas con intoxicaciones habitan en Latinoamérica, en especial, en México y algunos países de Suramérica como Ecuador, sur de Colombia y norte de Perú.

La picadura de arácnidos presenta mayor número de reportes en Brasil, Perú, Chile y Argentina. En Brasil está aumentando, se presenta principalmente en zonas rurales y los afectados son hombres en edad productiva.

Figura 2.2 Imágenes de algunos animales venenosos



Araña viuda negra (*Latrodectus mactans*)



Rana dardo dorada (*Phyllobates terribilis*): una de las más venenosas del mundo



Lagarto venenoso Monstruo de Gila (*Heloderma suspectum*)



Serpiente cascabel (*Crotalus molossus*)



Serpiente coral (*Micrurus lemniscatus*) de la región amazónica



Escorpión (*Tityus serrulatus*)

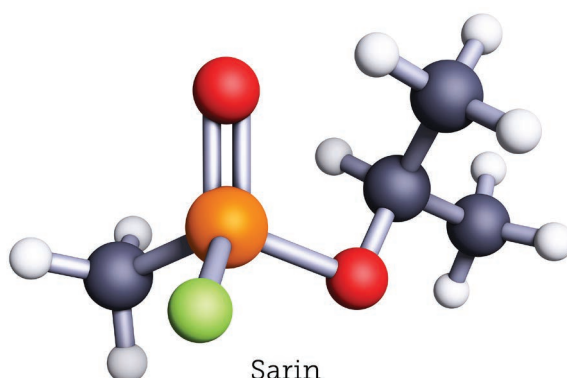
¿Qué es un contaminante y cómo se diferencia de un tóxico?

Cuando se menciona la palabra «tóxico» se refiere a la sustancia causante de un efecto adverso en un organismo vivo, mientras que si se habla de “contaminante” se refiere a una sustancia tóxica que tiene efectos nocivos en el ecosistema; por ejemplo, es correcto decir: el agua de un río están contaminadas con cadmio y que sus peces se intoxicaron con este metal. Por consiguiente, las intoxicaciones se relacionan con los seres vivos. Más adelante se abordará la definición de intoxicación y clases de intoxicación, aunque es imprescindible primero revisar la clasificación de sustancias tóxicas.

¿Cómo clasificar los tóxicos?

En este punto, resulta importante diferenciar una intoxicación, producto de una sustancia de origen natural y otra de origen sintético. Las sustancias *sintéticas* son aquellas fabricadas, extraídas o procesadas por el hombre o generadas en un proceso industrial, las cuales se clasifican en inorgánicas y orgánicas. Mientras que las sustancias tóxicas *inorgánicas* se encuentran como sales, metales, ácidos, gases y radicales libres. En el cuadro 2.2 se presenta algunos ejemplos relacionados con sustancias tóxicas sintéticas y naturales.

Figura 2.3 Molécula de la sustancia tóxica sintética gas sarín, utilizada con fines bélicos en diferentes países



Sarin
 $C_4H_{10}PO_2F$
Acetylcholinesterase inhibitor
and chemical weapon

Cuadro 2.2 Ejemplos de clases de tóxicos

Nombre	Clases de tóxicos	Ejemplo
Sustancias tóxicas sintéticas	Inorgánicas <ul style="list-style-type: none"> • Metales • Gases • Ácidos • Bases • Sales Orgánicas <ul style="list-style-type: none"> • Plaguicidas orgánicos • Polímeros • Complejos • Solventes 	<ul style="list-style-type: none"> • Insecticida Zyklon B que contenía ácido cianhídrico (HCN). • Plaguicidas organoclorados empleados como insecticidas, ahora prohibidos en la mayoría de países. • Gas sarín, utilizado con fines bélicos en diferentes países. (véase figura 2.3). • Cloruro de vinilo, empleado en la inyección de plásticos; el estireno usado en la fabricación de plásticos.
Sustancias tóxicas naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Minerales • Gases volcánicos • Biológicas (microorganismos, plantas y animales ponzoñosos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de volcanes. • Minerales hallados en minas. • Toxina botulínica causante de intoxicaciones alimentarias.

¿Qué es intoxicación?

Una intoxicación se presenta cuando se han agotado las defensas del cuerpo para luchar contra un xenobiótico. En esencia, se trata de una reacción fisiológica de un organismo vivo ocasionada por una sustancia tóxica o un veneno; de hecho, el agente tóxico puede introducirse en forma oral, inhalatoria, dérmica u ocular, entre otras. No obstante, el ser humano puede contrarrestar una intoxicación mediante “enzimas” que realizan la biotransformación del xenobiótico en uno menos tóxico y soluble, que se pueda eliminar fácilmente a través de la orina, sudor, leche materna, heces, entre otros fluidos corporales. Asimismo, cuenta con “antioxidantes” para reducir químicamente agentes tóxicos y eliminar radicales libres, al igual que proteínas plasmáticas que se unen a los tóxicos en plasma sanguíneo obstruyendo su paso hacia los tejidos.

Por ejemplo, cuando se presenta intoxicación con fenol (com-

ponente en plásticos, desinfectantes o productos cosméticos, tales como enjuague bucal, o medicamentos), se detoxifica inicialmente por reacción química a sulfatación por medio de la enzima «arilsulfatasa» y por formación de glucuronidos a través de la enzima «glucuronidasa», pero si se agota la formación de estas dos moléculas, el fenol se acumula y se distribuye hacia su órgano o sistema blanco que, en este caso, es la médula ósea, sitio donde produce su respuesta tóxica (The University of Arizona, 2018).

Clasificación general de las intoxicaciones

De acuerdo con Córdoba & Guerrero (2006), las intoxicaciones se clasifican según su *origen*, en:

- **Intoxicaciones recreativas:** por diferentes aspectos culturales, sociales y religiosos, algunas personas consumen sustancias con efectos psicoactivas que pueden generar intoxicaciones agudas y crónicas; por ejemplo, el consumo de alcohol, tabaco, marihuana, cocaína, éxtasis, yagé, etc.
- **Intoxicación laboral:** aquella que sucede al trabajador que se expone a sustancias químicas para realizar un proceso en la industria.
- **Intoxicación alimentaria:** ocurre por el consumo de un alimento contaminado. Estas sustancias pueden ser adicionadas intencionalmente o no al alimento, también se pueden formar en el proceso de producción, almacenamiento o transporte; por ejemplo, las sales de nitritos que contienen algunos embutidos para conservar el color rojizo; el arsénico en agua de algunos pozos, el mercurio en algunos peces provenientes de aguas contaminadas.
- **Dopaje:** intoxicación por el consumo de sustancias químicas que incrementan el rendimiento deportivo, por ejemplo, anabolizantes o algunos medicamentos, metabolitos o marcadores, reconocidos como sustancias prohibidas en el cuerpo de un atleta.
- **Intoxicaciones homicidas:** sustancias cuya intención consiste en causar perjuicio y muerte a un individuo o a un grupo de ellos.

- **Intoxicaciones suicidas:** cuando una persona o grupo de individuos por diversas razones emplea una sustancia tóxica con el fin de quitarse la vida; por ejemplo, en la historia de la humanidad ha habido rituales en los que grupos de personas buscan salvarse espiritual o religiosamente y consumen sustancias de bajo DL50.
- **Intoxicación accidental:** una de las más preocupantes en el mundo ya que afecta a población vulnerable y casi siempre ocurren por descuido o desconocimiento; por ejemplo, la intoxicación con medicamentos de niños menores a cuatro años, o en casos de trabajadores de joyerías que emplean sales de cianuro en uno de sus procesos y preparan soluciones en botellas de gaseosas y no las rotulan.
- **Intoxicación ambiental:** de acuerdo con la Organización de Naciones Unidas Villemain, Cyril (2018) en Latinoamérica cada habitante genera aproximadamente un kilo de basura por día y la región 541.000 toneladas, que representa 10% de la basura mundial. En la región, Brasil y México son los países que más desechos producen, y dentro de estos desechos están los denominados residuos peligrosos.

Este cúmulo de sustancias presentes en el ambiente junto con los contaminantes generados por fuentes móviles y domésticos pueden producir efectos adversos para la salud, de acuerdo con la concentración y medio en que se encuentren, que en la mayor parte de los casos ingresan por vía inhalatoria.

También se pueden clasificar las intoxicaciones según el *tiempo de presentación de la sintomatología*, así:

- **Intoxicación aguda:** conjunto de síntomas generados por la absorción de una sustancia tóxica, que genera manifestaciones entre las primeras 24 horas y pueden llevar a la muerte. En caso de ocurrir en el sitio de trabajo, se considera accidente laboral. De acuerdo con el INS (2018) se considera que estas intoxicaciones generan 19% de la carga de enfermedad en niños y producen 30.000 muertes en el lugar de trabajo.
- **Intoxicación crónica:** de acuerdo con el Ministerio de la Protección Social (2018), la sintomatología aparece entre 30

y 90 días, la dosis es baja pero acumulativa. La mayoría de intoxicaciones crónicas se producen en el lugar de trabajo.

El concepto DL50 y su aplicación en salud ocupacional

El concepto de DL50 es el resultado de un experimento de laboratorio en el cual se expone a una población de animales, e.g. ratones, a una sustancia química y se desea conocer sus efectos tóxicos agudos. El valor de la concentración de la sustancia tóxica que genera la muerte a 50% de la población expuesta experimentalmente se conoce como DL50 (mg/kg de peso corporal) y según la vía de ingreso probada, se determinan valores de DL50 oral o dérmico, entre otros; también es importante conocer el estado físico de la sustancia por probar, es decir, si es sólido, líquido o gas. En el caso de gases, el término es concentración letal50 (CL50). Este valor indica la toxicidad de una sustancia que, aunque probada en experimentación con animales, son modelos aproximados del comportamiento de una sustancia en mamíferos.

La utilidad de este concepto radica en comparar la toxicidad aguda por vía oral y dérmica de varias sustancias según su valor de DL50. Así lo hace la clasificación toxicológica de los plaguicidas emitida por la OMS y adoptada por diferentes países, la cual identifica los plaguicidas como Ia “extremadamente peligrosos”, Ib “altamente peligrosos”, II “moderadamente peligrosos”, III “ligeramente peligrosos” y U “poco probable que presenten un peligro agudo”. Los primeros son los que tienen un valor de DL50 más bajo cercano a 5 mg/kg y los últimos tienen un DL50 superior a 2.000 mg/kg. Este tema se revisará en el capítulo de plaguicidas.

Factores para una intoxicación

Existen factores que influyen en la toxicidad y permiten hacer comparaciones entre sustancias e individuos:

- **Propios de la sustancia tóxica:** se refiere a las propiedades fisicoquímicas de la sustancia; por ejemplo, acidez, solubilidad, volatilidad, densidad, punto de fusión, punto de ebu-

llición, punto de ignición, reactividad, compatibilidades e incompatibilidades, entre otras.

- **Generados por el ambiente:** se relacionan con la temperatura y humedad del ambiente en el cual se da la exposición, así como la presión atmosférica puede ser determinante para aumentar o no la exposición a una sustancia tóxica. No es lo mismo una exposición de un trabajador que manipula éter etílico en Bogotá (humedad 60%, temperatura 16°C y presión atmosférica 0,74 atm) o en Barranquilla (humedad 81%, temperatura 30°C y presión atmosférica 0,99 atm).
- **Dados en el individuo:** en este caso, entran en juego: edad, raza, sexo, estado de salud, etc.

Adicionalmente, Miguel Ángel Torres (2006) menciona cinco factores que también determinan la intoxicación de un individuo, entre ellos:

- **Duración:** se relaciona con el tiempo en minutos, horas o días que dura la exposición a una sustancia tóxica; por ejemplo, la limpieza de tanques que realiza un trabajador los viernes de 10:00 a.m. a 10:30 a.m. En este caso, la duración es de 30 minutos y la frecuencia es semanal.
- **Frecuencia:** se refiere a cuántas veces por semana, mes o año, tiene exposición el trabajador a la sustancia tóxica, tal como se observa en el ejemplo anterior.
- **Dosis o concentración:** se refiere a la cantidad de sustancia tóxica que recibe el individuo, ya sea en el lugar de trabajo, ambiente u hogar, dependiendo de las circunstancias; por ejemplo, la concentración de cromo hexavalente en trabajadores de empresas cromadoras de piezas metálicas, quienes se exponen a una dosis alta de cromo VI en caliente a través de los vapores.
- **Vía de exposición:** las principales en salud ocupacional son dérmica, respiratoria y ocular, aunque también existen oral, parenteral e intravenosa. Por ello, el interés de enfatizar el uso de los elementos de protección individual en cada operación, pues por sencilla que parezca genera riesgo.
- **Biotransformación:** existen sustancias que se transforman en otras menos tóxicas y solubles para facilitar su eliminación,

mientras que en otros casos existen sustancias que por su complejidad estructural se biotransforman en otras sustancias más tóxicas, a esto se le conoce como bioactivación. Por ejemplo, el acetaminofén cuando se consume por encima de la dosis recomendada, produce intoxicación debido a que su molécula no se puede eliminar generando una menos tóxica que sea soluble y se excrete a través de la orina; por el contrario, reacciona produciendo un metabolito más tóxico, el cual se acumula y es hepatotóxico. Asimismo, pasa con otras sustancias que aunque el organismo tienda a eliminarlas por reacciones químicas para solubilizarlas, se generan activaciones mediante la unión con otras moléculas vitales en el organismo como el ADN, las proteínas y los lípidos.

Términos clave



- Contaminante
- Dosis letal 50 (DL50)
- Intoxicación accidental
- Intoxicación aguda
- Intoxicación ambiental
- Intoxicación crónica
- Intoxicación laboral
- Tóxico
- Toxicología
- Toxina



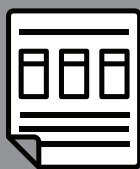
ESTUDIO DE CASO

Intoxicación por plomo

Roberto Azor, de 25 años de edad, trabaja desde hace un año manipulando baterías de plomo-ácido en la sección de mantenimiento de una empresa electromecánica. En su sección hay almacenadas más de 300 baterías usadas y casi no hay espacio disponible para los trabajadores. En el área de mantenimiento se presentan constantes derrames de líquido de las baterías y, en esa medida, hay emanación de vapores. Desde hace tres meses, Roberto se queja con frecuencia de dolor abdominal y mareos ante sus compañeros de trabajo, quienes le aconsejaron asistir al servicio médico, donde –al conocer sus antecedentes– en un laboratorio de toxicología analítica le practicaron exámenes para reconocer los niveles de plomo en la sangre. El resultado fue 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (microgramos por decilitro), lo cual supera al valor de referencia establecido en 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$, por lo que le iniciaron tratamiento de desintoxicación. Al cabo de un mes, Roberto fue dado de alta y reubicado en la empresa.

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. Describa qué tipo de intoxicación se presentó según:
 - El tiempo de presentación de los síntomas.
 - El sitio donde Roberto se expuso al xenobiótico.
2. ¿Cuál fue el principal síntoma que presentó Roberto? ¿Cómo se denomina la enfermedad laboral relacionada con ese xenobiótico?
3. En grupos respondan: ¿en qué actividades laborales los trabajadores se exponen al plomo? Propongan una forma de reducir la exposición al plomo en espacios de mantenimiento de vehículos.



RESUMEN

En este capítulo se abordaron los conceptos, definiciones y términos más empleados en toxicología, y su integración en diferentes áreas fundamentales y otras áreas aplicadas. Estos incluyen conceptos como *tóxico* junto a la definición de la *toxicología* como ciencia que estudia los efectos adversos de sustancias en organismos vivos con las cuales se tiene potencial contacto en diferentes ambientes. Esta ciencia, a su vez, se nutre de otros campos básicos e interactúa con diferentes disciplinas. Gracias a la interacción con otras profesiones afines se ha subdividido en diferentes áreas, tales como toxicología alimentaria, toxicología ocupacional, toxicología forense, toxicología ambiental, entre otras. Con el avance de la ciencia y de las tecnologías poco a poco aparecen nuevas áreas que responden a las necesidades de cada época.

También se dejó clara la diferencia entre *tóxico* y *contaminante* y el contexto de uso de cada término, así como las clases de sustancias tóxicas con el fin de que el lector las ubique en el contexto de la toxicología ocupacional y pueda identificar no solamente sustancias químicas sintéticas que están presentes en el ambiente laboral, sino igualmente sustancias químicas de origen natural y otras de origen biológico que también son causantes de intoxicaciones en América Latina, producto de actividades laborales en áreas rurales que favorecen la presencia de especies tóxicas, bien sea plantas, animales, insectos o microorganismos.

Por último, junto a la definición de “intoxicación” y clases de intoxicaciones, se revisó el tema relacionado con el tiempo de presentación de los síntomas, según el ámbito en el que se generen, para finalizar con los factores presentes en un caso de intoxicación.



CUESTIONARIO

1. Escriba al frente de cada enunciado si corresponde a una intoxicación ambiental o laboral.

- Colegiales en jornada académica expuestos a fumigación con plaguicidas.
- Docentes de un colegio expuestos a fumigación con plaguicidas.
- Jardinero que realiza la fumigación en el colegio.

2. Marque F o V.

- Toxinología es lo mismo que toxicología
- La palabra tóxico es lo mismo que veneno
- La toxicología alimentaria es un área fundamental
- La toxicología analítica es un área aplicada
- La cicuta es un ejemplo de micotoxina

3. Escriba al frente de cada enunciado si corresponde a una intoxicación aguda o crónica

- Trabajador que hace mantenimiento a vehículos desde hace tres años y presenta ribete de Burton y saturnismo.
- Empleada doméstica que llega a la unidad de cuidados intensivos de un hospital por inhalación de líquido desengrasante.

4. Escriba al frente de cada ejemplo si se trata de un tóxico natural o sintético:

- Gases volcánicos
- Veneno de serpiente coral
- Insecticida
- Ácido nítrico
- Tabaco



CUESTIONARIO

5. Mencione dos ejemplos de sustancias tóxicas que se encuentren en diferentes sitios de trabajo, diligenciando el cuadro para cada tipo de tóxico:

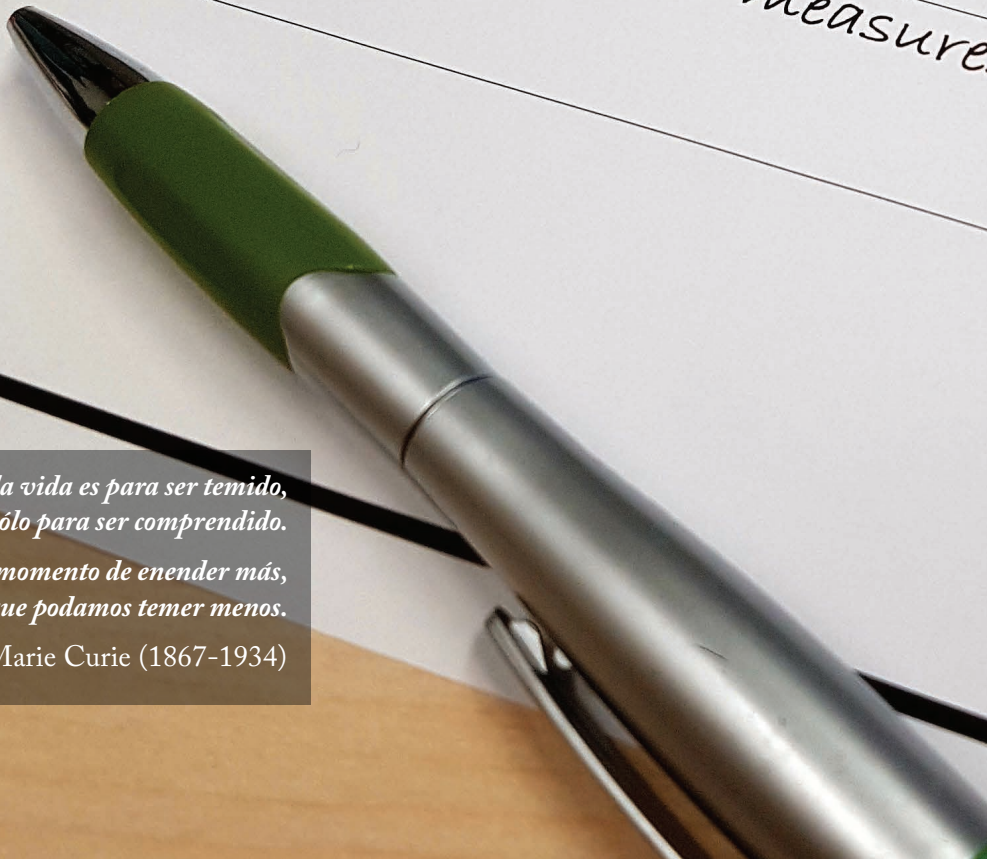
Tóxico	Ejemplo de sustancia o especie	Labor específica del trabajador en contacto con la sustancia o especie
Zootoxina		
Fitotoxina		
Tóxico sintético de tipo gas		
Tóxico natural de tipo gas		
Toxinas microbianas		

Referencias

- Capó, M.A., & Frejo, M.T. (30 de 10 de 2007). Toxicogenómica: Una nueva rama de la toxicología. En *Medicina Balear*, 22(3). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2555755.pdf>
- Córdoba, D. y Guerrero J. M. (2006). *Toxicología* (5 ed.). (D. Córdoba, Ed.) Bogotá: Manual Moderno.
- Díaz, G.J. y Lozano, M.C. (2006). *Introducción a la toxicología veterinaria*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Instituto Nacional de Salud (13 de octubre de 2018). Recuperado de http://www.saludcapital.gov.co/CTDLab/Publicaciones/2018/Protocolo_Intoxicaciones_Sustancias_Quimicas.pdf
- Ministerio de la Protección Social (12 de 10 de 2018). *Guías para el manejo de urgencias toxicológicas*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Guía%20de%20Manejo%20de%20Urgencias%20Toxicológicaas.pdf>
- Net, A. & Marruecos, L. (2006). *Intoxicaciones agudas graves*. Barcelona: Ars Medica.
- Real Academia Española (30 de 10 de 2018). *Real Academia Española*. Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=bWvfiZ>
- The University of Arizona (06 de 11 de 2018). Bioactivación. En *Superfund Research Program*. Recuperado de <https://superfund.arizona.edu/content/2343-bioactivaci%C3%B3n>
- Torres, M.A. (2006). *Principios de toxicología en la formación farmacéutica*. Bogotá: Unibiblos.
- Vargas, A. & Rodríguez J. (2012). *Comportamiento general de los accidentes provocados por animales venenosos en Colombia entre 2006 y 2010, atendidos en el Centro de Investigación, Gestión e Información Toxicológica de la Universidad Nacional de Colombia*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Villemain, Cyril. (12 Octubre 2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible Naciones Unidas*. Nueva York. Noticias ONU. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>

WHMIS SA

✓	Hazardous materials work procedures
✓	Products are labeled
✓	Safety Data Sheets
✓	Products are stored properly
✓	Education and training employees
✓	Appropriate control measures in place



*Nada en la vida es para ser temido,
es sólo para ser comprendido.*

*Ahora es el momento de enender más,
de modo que podamos temer menos.*

Marie Curie (1867-1934)

The background features a safety checklist on the left with handwritten text: "Safety checklist:", "Materials policy and safe", "are in place", "led properly", "are available", "perly", "provided to", "S are in". On the right, there are two hazard symbols: a flame in a red diamond and a starburst in a red square.

CAPÍTULO 3

Clasificación toxicológica de los agentes químicos

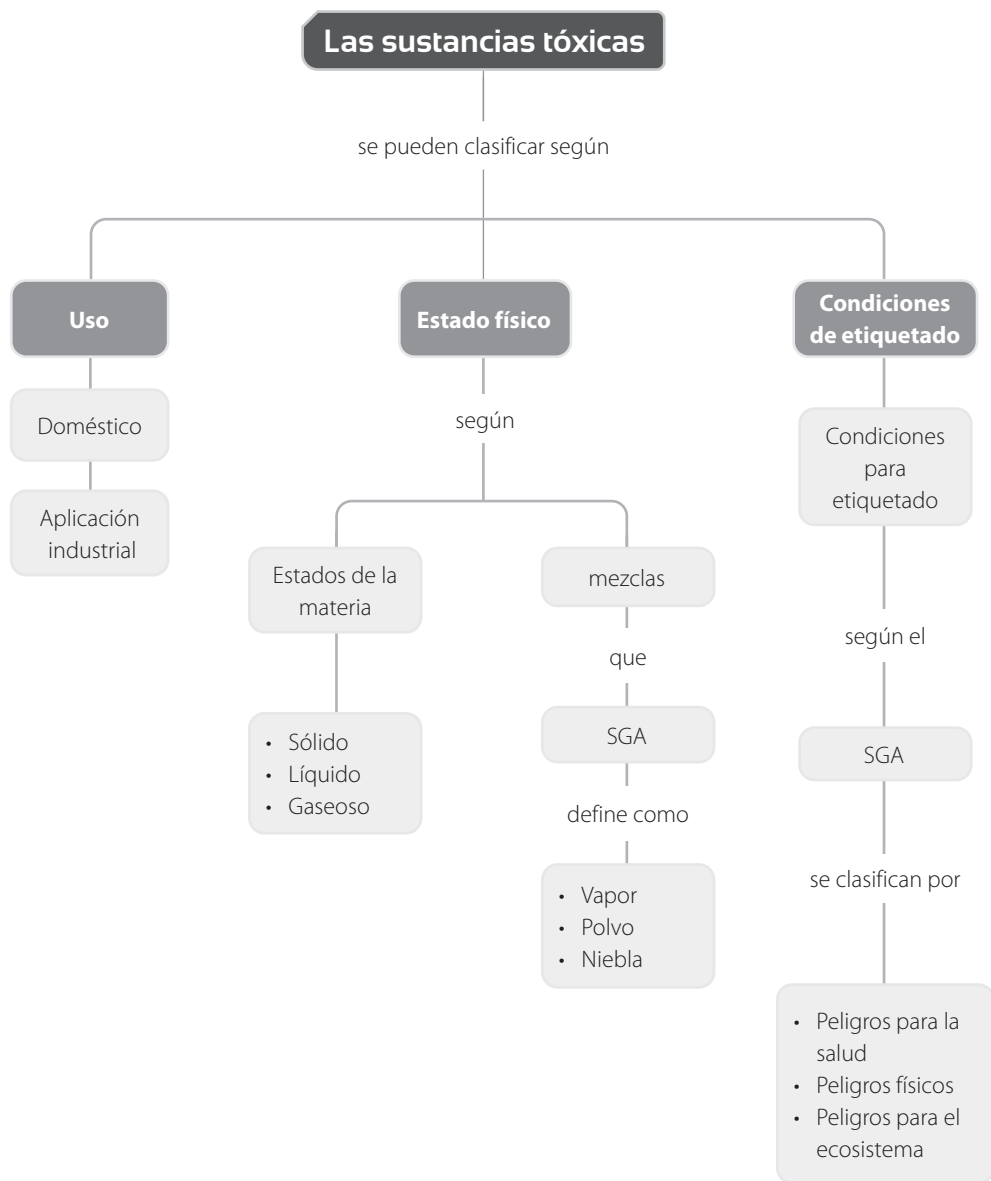
Diana Carolina Chaves Silva

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Reconocer el uso de las sustancias químicas en la vida cotidiana.
- Conocer la clasificación de las sustancias tóxicas.
- Articular las diferentes formas de clasificación de sustancias tóxicas a un caso de seguridad y salud en el trabajo.
- Reflexionar sobre la importancia de asumir un comportamiento seguro en cuanto al uso y aplicación de sustancias químicas en el hogar y en el trabajo.

Figura 3.1 Mapa conceptual sobre la clasificación toxicológica de las sustancias químicas



Introducción

Antes de mencionar la clasificación de las sustancias tóxicas es importante reconocer que, así como se definió en el capítulo 2 de este libro, se trabajen las sustancias químicas excluyendo las radiaciones y la toxinología, ya que se tratan en los cursos de riesgo físico y riesgo biológico, respectivamente. Asimismo, tal como se mencionó en dicho capítulo, los tóxicos pertenecen a dos grandes clases: origen sintético y origen natural. Las sustancias sintéticas son aquellas fabricadas, extraídas o procesadas mediante actividad humana o en procesos industriales; estas se clasifican en inorgánicas y orgánicas. Entre las primeras, se encuentran sales, metales, ácidos, gases y radicales libres; mientras que las naturales son, por ejemplo, gases de emisiones volcánicas y minerales, entre otros.

En este capítulo se aborda la clasificación de sustancias sintéticas orientadas a la identificación en uso cotidiano por parte de trabajadores en diferentes industrias. Se debe tener en cuenta siempre que las sustancias químicas y su papel en el desarrollo industrial han facilitado en muchos aspectos la vida humana y es cuestión de manejar el potencial peligro de estas en los diferentes escenarios, tal como mencionó alguna vez Marie Curie: “Nada en la vida es para ser temido, es sólo para ser comprendido. Ahora es el momento de entender más, de modo que podamos temer menos” (Xirau, 2019). De hecho, este apartado constituye una invitación para dar una mirada objetiva y de confiabilidad al uso de las sustancias químicas, a partir de la clasificación, el etiquetado y el estado físico, cuyas particularidades se desarrollarán a lo largo de este capítulo.

Clasificación de las sustancias tóxicas

Las sustancias químicas de origen sintético están presentes en muchas actividades cotidianas del ser humano. Si el lector trae a su mente en este momento la clase y el nombre de los productos químicos que ha utilizado durante toda su vida, quedaría impactado al revelarse que no ha pasado un solo día en su vida sin el uso de estas, pues se encuentra con productos para el hogar, la limpieza de superficies (por ejemplo, desinfectantes, detergentes, jabones, desengrasantes, aromatizantes, blanquea-

dores, suavizantes, acondicionadores de telas, disolventes, ácidos desincrustantes, álcalis, ceras, etc.), al igual que otros para mantenimiento como aceites lubricantes, pegantes, sellantes, limpiadores de equipos de tecnología. Igual sucede para jardinería, por ejemplo, fertilizantes y plaguicidas (que también se usan para el cuidado de mascotas junto con medicamentos y jabones); para la protección contra insectos, plaguicidas en diferentes presentaciones como pastillas que desprenden vapores por calentamiento, aerosoles, o líquidos, dependiendo del tipo de plaga para aplicar en físico (tema ampliado un poco más en el capítulo de plaguicidas).

Asimismo, cada integrante del hogar hace uso innumerable de sustancias químicas para el cuidado personal, por ejemplo medicamentos (entre ellos productos en aerosol como inhaladores, líquidos como jarabes y sólidos como pastillas), plaguicidas de uso doméstico, como insecticidas de uso tópico, comercializados en forma de lociones, cremas, jabones, etc. En cuanto a la limpieza y el embellecimiento se dispone de varias opciones para el cuidado de cada parte del cuerpo: champúes, tratamientos, acondicionadores, lacas, tinturas, perfumes, cremas, cosméticos, esmaltes, quitaesmaltes, labiales de larga duración, espumas de afeitar, antibacteriales, entre otros.

De igual manera, para el mantenimiento de vehículos se dispone de una variedad de sustancias que van desde aceites, combustibles (gas, gasolina, diesel), aditivos para gasolina, champúes, antiempañantes, anticongelantes, ceras, aromatizantes, entre otros. Fuera del hogar se emplean miles de productos a diario, por ejemplo, para mantenimiento de las vías, luminarias, pavimento, solventes para limpieza de fachadas, pinturas, entre otros. Para la erradicación de plagas también se emplean plaguicidas (raticidas, insecticidas, etc.).

Por otra parte, no solo se cuenta lo que se usa, también lo que genera usar los productos químicos fuera del hogar y dentro de este, por ejemplo, externamente el uso de combustibles para automotores genera gases, como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, los cuales pueden producir efectos nocivos en la salud humana y animal. En el caso de fundición de metales, se producen humos tóxicos en los que se encuentra el metal en forma de vapor, que ingresa con mayor facilidad en el organismo humano por inhalación. Las sustancias tóxicas se

pueden clasificar así: de acuerdo con el uso, estado físico, condiciones para etiquetado, propiedades toxicológicas, efectos sobre el ecosistema y toxicidad aguda.

De acuerdo con el uso

El uso de sustancias químicas crece exponencialmente así como el potencial peligro de exposición para los seres humanos y ecosistema en general, hecho que no solo sucede tan pronto se adquiere un producto y se utiliza, sino que esta circunstancia se puede presentar a lo largo de los años, dependiendo de las características de las sustancias. En el caso de los metales, por ejemplo, se ha estudiado en gran medida la exposición al plomo proveniente de pinturas de fachadas aplicadas hace más de 20 años, y al remodelar y tratar de rasparlas se presenta un nuevo riesgo de exposición. En una situación como esta, por ejemplo, los niños —en la mayoría de los casos— se constituyen en una población muy vulnerable debido a que están en la etapa de gateo y exploración, pues pueden entrar en contacto y llevarse a la boca pequeñas cáscaras que caigan al piso y queden a su alcance.

Para realizar una clasificación general de sustancias tóxicas según el uso, es importante basarse en la aplicación industrial y clases de sustancias químicas. Entre ellas, es posible encontrar las siguientes: metalúrgicas, petroquímicas, química (ácidos, álcalis, solventes, resinas, polímeros, aditivos), al igual que para construcción e industria automotriz, como aceites y combustibles, y otros sectores como aeronáutica, alimenticia, tabacalera, electrodomésticos, farmacéutica, agroquímica (fertilizantes, plaguicidas), biotecnología, textiles y marroquinerías. En la figura 3.2 se presentan ejemplos de productos de uso doméstico que contienen sustancias químicas. También es posible clasificarlas por el uso doméstico en actividades como limpieza, cosméticos, arte (pinturas de óleo, acrílicos, vitrales, etc.) y mantenimiento.

Una vez identificada la sustancia, que puede ser una mezcla de varias sustancias; por ejemplo, champúes para vehículos que contienen en promedio 10 sustancias químicas, es importante explorar las características de cada uno de sus componentes para reconocer el riesgo al cual se expone el organismo humano. Por ejemplo, en sustancias tóxicas de uso doméstico se encuentran desengrasantes para cocina, donde existen una variedad de com-

Figura 3.2 Contenido de sustancias químicas en productos de uso doméstico




Productos para la limpieza del hogar que pueden contener:

- Alcoholes
- Solventes
- Corrosivos alcalinos
- Corrosivos ácidos
- Amoníaco

Productos para la construcción que pueden contener:

- Cal viva CaO
- Cal apagada Ca(OH)_2
- Asbesto
- Solventes
- Pegantes
- Cromo (III)
- Cromo (VI)



Medicamentos que pueden contener:

- Acetaminofén
- Tiroxina
- Ibuprofeno
- Anticoagulantes

Pinturas que pueden contener:

- Compuestos de plomo usados como pigmentos, anticorrosivos y brillo
- Solventes: xileno, tolueno, benceno
- colorantes azóicos



ponentes, como ácidos orgánicos de cadena larga (entre otros, ácido dodecibenceno sulfónico, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio y fenol). De estos componentes se identifican las bases inorgánicas (NaOH y KOH) como las más peligrosas debido a sus propiedades de corrosividad y reactividad. Estas propiedades inciden directamente en la salud cuando hay mal manejo al generar intoxicaciones por inhalación, contacto dérmico u ocular, no solamente a quien las aplique, también a quienes estén en el mismo entorno, afectando a los más vulnerables como niños y adultos mayores (incluidas mascotas).

De acuerdo con su estado físico

Una sustancia química se puede encontrar principalmente en tres diferentes estados: sólido, líquido y gaseoso; también conocidos como estados de agregación o estados físicos de la materia. Un cuarto estado es el plasma y sus características que, por ser tan diferentes, no es posible clasificar por su forma y volumen, tal como se hace con los otros tres.

Una sustancia se encuentra en estado sólido cuando tiene forma y volumen propios y no puede comprimirse; por ejemplo, una barra de hierro, una barra de soldadura, azúcar, sal, etc. Algunos sólidos por sus fuerzas intermoleculares, dureza y ductilidad pueden conducir corriente eléctrica; por ejemplo, metales como cobre, oro y plata. Una sustancia en estado líquido toma la forma del recipiente que la contiene; al igual que los sólidos no pueden comprimirse; por ejemplo: mercurio, desengrasante, pintura, limpiadores de pantallas y celulares, líquido de encendedores, etc.

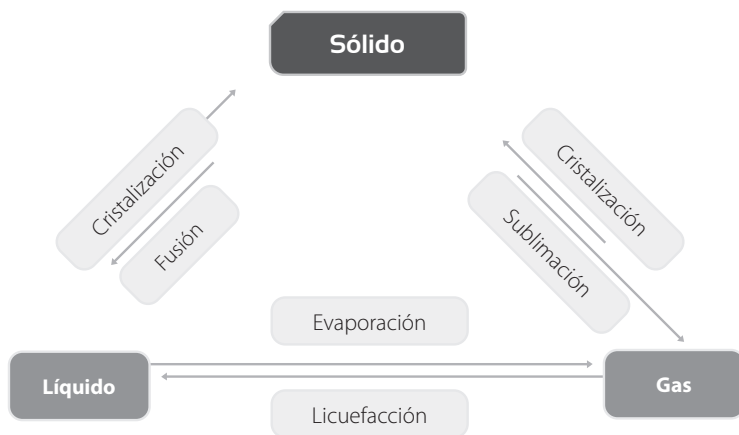
En cuanto a los gases, son fácilmente expandibles y a diferencia de sólidos y líquidos, pueden comprimirse; por ejemplo: aire, gas propano, oxígeno, helio, cloro, argón, nitrógeno, etc. Los gases se comprimen de acuerdo con la necesidad de uso; por ejemplo, las vacunas se conservan en nitrógeno líquido, y para ello el gas se comprime a alta presión hasta cambiar el estado físico a líquido.

En determinadas condiciones de presión y temperatura, una sustancia se puede encontrar en cierto estado físico, pero al modificar las condiciones, esta puede pasar a un nuevo estado. En la figura 3.3 se presentan los cambios de estado, los cuales es necesario tener en cuenta cuando se analiza un caso de toxicología

ocupacional para saber a qué sustancia o mezcla de ellas se expone el trabajador y qué condiciones tiene el proceso que lleva a cabo, como temperatura, humedad y presión para conocer cómo se transforma la sustancia empleada y a qué estado se convierte.

Por ejemplo, en soldadura se emplean barras que contienen diferentes metales y aleaciones, como estaño, plomo, óxidos de hierro, manganeso, dióxido de titanio, celulosa, los cuales se encuentran en estado sólido, pero al calentarse cambia su estado a gas y generan por reacción de combustión otros componentes como gases monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua. La constitución y cantidad de humos y gases de soldadura dependen de varios factores, como el tipo de alambre, el metal que se esté soldando y los procedimientos utilizados. En otros procesos como, por ejemplo, en el pulimento de joyas en oro el cianuro de sodio tiene estado físico sólido, pero en una solución acuosa en calentamiento y a pH bajo, se transforma en cianuro de hidrógeno que es un gas altamente tóxico.

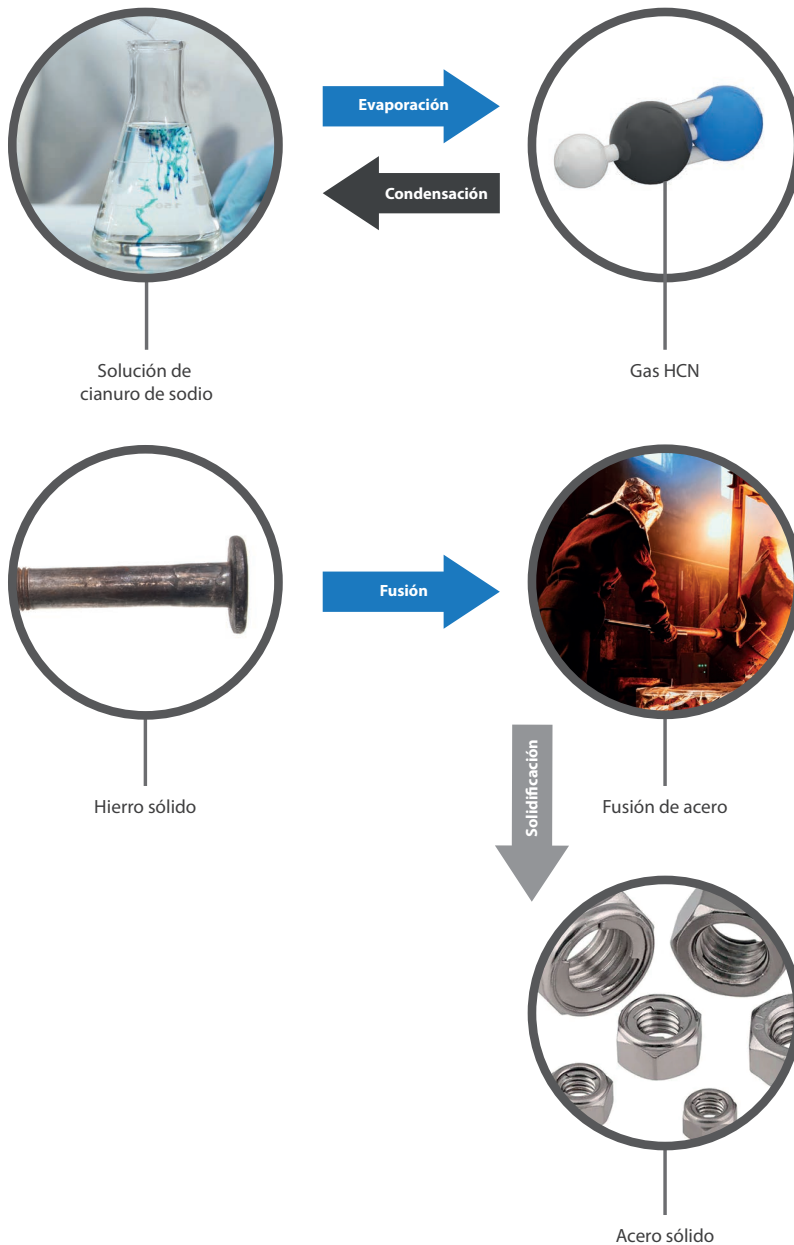
Figura 3.3 Estados de la materia y sus cambios



Por otro lado, en siderúrgicas, en el proceso de producción de acero, confluyen todos los estados de la materia y sus transformaciones sucesivas. Por una parte, se utiliza material metálico como chatarra y aleaciones ferrosas en estado sólido; una vez pasan por el horno y adicionándoles otros reactivos, como cal, en presencia de oxígeno y alta temperatura, pasan a estado líquido llamado fusión. Posteriormente, a este se le eliminan las impurezas y se procede a ajustar su composición al cual se adicionan otros reactivos constituidos principalmente por metales como molibdeno,

vanadio, cromo y níquel; luego se adicionan en un molde para su solidificación. En la figura 3.4 se presentan ejemplos de cambios de la materia aplicados a la ocupación.

Figura 3.4 Cambios de estado de la materia en procesos industriales



Ahora bien, es importante diferenciar entre cambios físicos y químicos. Cuando se utiliza cianuro de sodio en solución para joyería ocurre transformación química y física, debido a que la especie química obtenida en el estado gaseoso es diferente de la que se tenía en solución. Al ser diferentes, las sustancias también cambian sus propiedades toxicológicas.

En contraste, en la producción de sal de cocina por evaporación de agua y sucesivas cristalizaciones para eliminar impurezas, no hay transformación química, pues el agua que se encuentra unida a la sal de cocina, en estado cristalizado, pasa a gaseosa por calentamiento, y la sal (NaCl) sigue siendo la misma, pero con mayor pureza. En procesos, como cromado, niquelado o cincado, para mejorar el aspecto de artículos metálicos (como herrajes o partes de bicicletas, griferías, entre otros), los metales de transición, como el cromo, se encuentran en su máximo estado de oxidación como ácido crómico (cromo VI) y por procesos de electrodeposición con calentamiento y medio ácido se reduce a cromo cero. En estos procesos confluyen cambios químicos porque existe exposición a diferentes especies químicas y cambios físicos, puesto que la sustancia puede cambiar de líquido a gas y condensarse para luego solidificarse.

Las sustancias químicas en un proceso de producción se presentan en dichos estados mencionados y también en mezclas que SGA define así:

- **Vapor:** forma gaseosa de una sustancia o mezcla liberada a partir de su estado líquido o sólido.
- **Polvo:** partículas de sustancia o mezcla en suspensión en un gas (en el aire, por lo general).
- **Niebla:** gotas líquidas de una sustancia o mezcla en suspensión en un gas (en el aire, por lo general).

El polvo generalmente se forma por proceso mecánico; las nieblas, por condensación de vapores supersaturados o por fraccionamiento físico de líquidos. El tamaño de polvos y nieblas oscila con frecuencia entre valores que van desde menos de 1 μm hasta alrededor de 100 μm .

Esta presentación de las sustancias químicas también se define en la guía técnica GTC 45 2012 (Icontec, 2012), que

menciona una lista de peligros químicos y la forma como se presentan en los lugares de trabajo: polvos, fibras, líquidos (nieblas y rocíos), gases y vapores, humos metálicos y no metálicos, y material particulado.

De acuerdo con las condiciones para etiquetado

Antes de contar con el documento del SGA, en la década de los 80 existían reglamentos en diferentes países aplicados a sustancias químicas peligrosas empleadas en los lugares de trabajo, transporte. La reglamentación más común en varios países se relacionaba con plaguicidas, ya que han sido las sustancias químicas de mayor producción, comercialización y transporte y manipulación.

A raíz del aumento de la accidentalidad reportada por el uso de productos químicos en sus diferentes etapas, en 1996 la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), estableció seis áreas de trabajo para lograr una gestión ecológicamente racional de los productos químicos, una de ellas consistió en Armonización de la clasificación y el etiquetado de los productos químicos.

La armonización inició con la revisión y el acople de diferentes normativas como el programa de la OECD para las sustancias químicas, los instrumentos de la OIT para la seguridad en el uso de sustancias químicas, las recomendaciones para el transporte de mercancías peligrosas de la ONU, las recomendaciones FAO para plaguicidas y las directivas de la UE para la clasificación y etiquetado de sustancias y preparados peligrosos.

El documento del sistema globalmente armonizado se adoptó por primera vez en diciembre de 2002 y se publicó en 2003. Desde este año se ha actualizado cada dos años, la versión más reciente es la séptima revisión y fue publicada en 2017.

Las sustancias químicas también se clasifican según el Sistema Globalmente Armonizado (SGA; 7a. Revisión, Naciones Unidas, 2017) conocido como Libro Púrpura, en peligros para la salud y peligros físicos. En cuanto a los primeros, las sustancias por etiquetar, según la regulación de cada país (por ejemplo, para plaguicidas), se deben realizar ensayos experimentales in vitro o in vivo según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), con el propósito de determinar la categoría a la

que corresponda según el daño generado en el organismo a partir del ensayo.

La clasificación, según el SGA para etiquetado, se presenta a continuación.

- Según los peligros para la salud derivados de sus propiedades toxicológicas.
- Según los peligros físicos.
- Según los efectos sobre el ecosistema.

Según los peligros para la salud derivados de sus propiedades toxicológicas

Se trata de aquellas sustancias que al contacto con el usuario puede generar efectos nocivos, entre otros: toxicidad aguda, corrosión/irritación cutánea, lesiones oculares graves/irritación ocular, sensibilización respiratoria o cutánea, mutagenicidad en células germinales, carcinogenicidad, toxicidad para la reproducción, toxicidad específica de órganos diana (exposición única), toxicidad específica de órganos diana (exposiciones repetidas) y peligro por aspiración.

Toxicidad aguda

Definida como los efectos evidenciados en 24 horas a una exposición por vía oral, cutánea de una sola dosis o de múltiples dosis o por inhalación durante cuatro horas.

La forma de clasificar las sustancias se ha realizado, según SGA en cinco categorías de peligro, según la vía de exposición y de acuerdo con los valores de DL50 (para ingestión, absorción cutánea) o CL50 (para inhalación), donde la categoría 1 es la sustancia más peligrosa por tener el menor valor de DL50 (5 mg/kg) y la categoría 5 es la menos peligrosa para la salud por tener valores de DL50 de 2000 a 5000 mg/kg para determinada sustancia. Sin embargo, aunque las sustancias clasificadas en categoría 5 producen peligro bajo de toxicidad, pueden suponer peligro para poblaciones vulnerables; por ejemplo, el cianuro de sodio utilizado en joyería tiene un DL50 según su hoja de seguridad de 6,44 mg/kg oral (CTR Scientific, 2019), que lo ubica en categoría de peligro 1 por tener un valor tan bajo de DL50, mientras la deltametrina (componente principal

de insecticidas de uso doméstico) tiene un CL50 de 2,2 mg/l y se presenta en forma de vapor, por tanto se clasifica como categoría de peligro 2.

Corrosión cutánea

Esta se explica por la formación de una lesión irreversible en la piel, como necrosis visible desde la epidermis hasta la dermis. Mientras que la irritación cutánea se refiere a una lesión reversible en la piel. Las dos por exposición a sustancias químicas entran en contacto con la piel, bien sea por salpicaduras o su vapor; por ejemplo, ácidos fuertes y bases fuertes producen corrosión al contacto con la piel debido a que su pH es extremo (< 2 para ácidos y > 11 para bases) y su reactividad muy alta. Las sustancias que producen irritación como salpicaduras con hipoclorito de sodio diluido generan enrojecimiento en la piel o brote leve que desaparece con el tiempo.

Lesiones oculares graves

Estas se refieren a degradación severa de la vista, como consecuencia de la aplicación de una sustancia en la superficie anterior del ojo, y no son totalmente reversibles. La irritación ocular consiste en la aparición de lesiones oculares, y son reversibles en los 21 días siguientes a la aplicación. Las sustancias se clasifican asimismo como categorías 1 o 2, así: categoría 1 (lesiones oculares graves) o categoría 2 (irritación ocular); por ejemplo, si un trabajador tiene un accidente por salpicadura con hidróxido de sodio en sus ojos, puede ocurrir una lesión irreversible, que dependerá del tiempo de exposición y cantidad de sustancia, así como las medidas tomadas en primeros auxilios. En muchas ocasiones, una vez hecho daño en un ojo por sustancia tóxica, puede ser reversible, pero por mal manejo (por ejemplo, aplicación de otra sustancia química para “neutralizar”) puede generar una lesión grave.

Sensibilización respiratoria o cutánea

Se refiere a hipersensibilidad tipo IV, Esta ocurre cuando un trabajador se expone a una sustancia cuya inhalación da lugar a hipersensibilidad en las vías respiratorias. Un sensibilizante cutáneo es una sustancia que genera respuesta alérgica por contacto con la piel; por ejemplo, algunos tipos de guantes producen der-

matitis alérgica por contacto, y a nivel respiratorio, la exposición a ciertos solventes producen sensibilización respiratoria y neumonitis química. De otro lado, los efectos en la salud, generados por exposición crónica a determinadas sustancias químicas se clasifican según el daño en: mutagenicidad en células germinales, carcinogenicidad y toxicidad para la reproducción.

Mutagenicidad en células germinales

Esta clase de peligro se refiere a productos químicos capaces de inducir mutaciones en las células germinales humanas transmisibles a descendientes. Asimismo, se ha determinado que algunos plaguicidas, de acuerdo con ensayos de laboratorio, producen mutagenicidad.

Carcinogenicidad

Esta se refiere a la propiedad de sustancias o mezclas que inducen cáncer o aumentan su incidencia. La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) publica en su página web los listados de sustancias que se clasifican como cancerígenas de acuerdo con evidencias de estudios científicos y reportes de diagnóstico de cáncer con demostración causa-efecto (IARC, 2018).

Toxicidad para la reproducción

Esta se define como los efectos adversos sobre la función sexual y la fertilidad de hombres y mujeres adultos, junto con los efectos adversos sobre el desarrollo de descendientes. Por ejemplo, existen sustancias que tienen efectos adversos comprobados sobre los espermatozoides que afectan su función y, por ende, imposibilitan la concepción. Asimismo, hay sustancias que producen abortos espontáneos y otras que cuando la madre lactante se ha visto expuesta, afectan al recién nacido porque absorbe sustancias y metabolitos transmitidos por la madre desde la gestación.

Toxicidad específica de órganos diana

Esta clase se refiere a los efectos nocivos de una sustancia a los cuales se haya expuesto un trabajador y haya generado daño en un órgano específico. Existen sustancias tóxicas proclives por un órgano o sistema que producen directamente daño, por

ejemplo, las hepatotóxicas y nefrotóxicas, que afectan hígado y riñón, respectivamente.

Peligro por aspiración

Este corresponde a la introducción de un producto químico (líquido o sólido) directamente por boca o nariz, o indirectamente mediante vómito en la tráquea o vías respiratorias inferiores. La toxicidad por aspiración puede generar graves efectos agudos, tales como neumonía química, lesiones pulmonares e incluso la muerte después de la aspiración. Por ejemplo, hasta hace un tiempo existía una mala práctica en algunos laboratorios químicos en que los analistas succionaban solventes o reactivos con la boca por falta de equipos pipeteadores o por costumbre, lo cual no solamente generaba lesiones cutáneas, sino que había riesgo de aspiración, y adicionalmente se convertía en exposición crónica si se realizaba varias veces a la semana a lo largo de la vida laboral.

De acuerdo con los peligros físicos

Estos se describen como propiedades fisicoquímicas de las sustancias que las hacen menos o más peligrosas en determinada situación; se clasifican como:

- explosivos,
- inflamables (sólidos, líquidos, gases o aerosoles),
- aerosoles,
- comburentes (líquidos y sólidos),
- mezclas que reaccionan espontáneamente,
- pirofóricos (sólidos y líquidos),
- sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo,
- mezclas que en contacto con el agua desprenden gases inflamables,
- peróxidos orgánicos, sustancias y mezclas corrosivas para metales, y
- explosivos insensibilizados.

De acuerdo con los efectos sobre el ecosistema

Estos se describen, según SGA (Naciones Unidas, 2015), como sustancias peligrosas para el medio acuático y aquellas que representan peligro para la capa de ozono. La clasificación de sustancias peligrosas para el entorno acuático contempla los siguientes ensayos recomendados por la OCDE (2013):

- **Toxicidad acuática aguda:** medida en peces como CL50 en 96 horas según ensayos de OCDE.
- **Toxicidad acuática crónica:** medida como inhibición de crecimiento de algas.
- Potencial de bioacumulación o bioacumulación real.
- Degradación (biótica o abiótica) en el caso de productos químicos orgánicos.

Finalmente, para profundizar en los temas desarrollados en este capítulo, en el cuadro 3.1 se presentan los enlaces de algunas instituciones gubernamentales y académicas donde se encuentra disponible información confiable sobre el uso de sustancias químicas, su clasificación y recomendaciones para aplicar en el hogar y en entornos laborales.

Cuadro 3.1 Sitios web con información sobre el uso adecuado de sustancias químicas y recomendaciones

Institución	URL
Chemical Hazards and Toxic Substances	https://www.osha.gov/SLTC/hazardoustoxicsubstances/
The American Chemical Society	https://www.acs.org/content/acs/en/about/governance/committees/chemicalsafety/publications.html
Centers for Disease Control and Prevention “Chemicals: Managing Chemical Safety in the Workplace”	https://www.cdc.gov/niosh/chemicals/default.html?CD_C_AA_refVal=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov%2Fniosh%2Ftopics%2Fchemical-safety%2Fdefault.html
CDC–The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)	https://www.cdc.gov/niosh/npg/mobilepocketguide.html

Continúa cuadro 3.1

Institución	URL
NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards Mobile Web Application	https://www.cdc.gov/niosh/npg/mobilepocketguide.html
Academia Americana de Pediatría: el cuarto de lavandería, los detergentes y la seguridad	https://www.healthychildren.org/spanish/safety-prevention/at-home/paginas/laundry-room-and-detergent-safety.aspx
Academia Americana de Pediatría: productos de limpieza, higiene y desinfección. Recomendaciones	https://healthychildren.org/spanish/health-issues/conditions/prevention/paginas/cleaners-sanitizers-disinfectants.aspx

Términos clave



- Corrosivos
- Gas
- Humo
- Inflamables
- Líquido
- Niebla
- Peligros físicos
- Peligros para la salud
- Sólido
- Vapor



Intoxicación con plaguicidas

En una vereda con condiciones ambientales de 70% de humedad y 40°C de temperatura ambiente, se cultiva algodón de manera extensiva y poco tecnificada todos los años en verano. Esta labor la desempeñan hace quince años seis trabajadores con edades entre 35 y 45 años, de manera informal, dado que no están afiliados al sistema de salud, distribuidos así: tres fumigadores, un capataz, un administrador y un mezclador, quienes recorren diferentes fincas donde preparan las mezclas y aplican los plaguicidas para la cosecha.

Debido a lo anterior, no cuentan con unas instalaciones aptas para consumir alimentos y lavarse las manos. Esto los obliga a lavar los envases de los plaguicidas con el fin de usarlos como recipientes para consumir bebidas refrescantes.

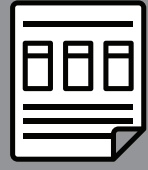
En el desarrollo de sus actividades, cada fumigador aplica herbicidas y fungicidas; es decir, plaguicidas organofosforados, piretroides y carbamatos a los cultivos con bomba de espalda en 5 hectáreas. Una de las bombas presentaba un escape, pero el trabajador no le informó al capataz sobre el desperfecto; no obstante, les comentó a sus compañeros que tenía un brote en la entrepierna y picazón constante en la zona genital.

En una ocasión se reunieron a la hora del almuerzo y uno de los fumigadores quiso compartir una bebida fermentada artesanal con sus compañeros, en envases de plaguicidas que reutilizaban. Solo dos trabajadores aceptaron probar la bebida, quienes a los 30 minutos comenzaron a presentar síntomas negativos como dolor de cabeza, vómito y convulsiones.

Al llevarlos al servicio médico, se les diagnosticó “intoxicación aguda con plaguicidas inhibidores de la colinesterasa”. Por los efectos de la intoxicación, uno de ellos falleció a 5 horas después de su ingreso al servicio de urgencias.

Con base en este caso, reflexione y responda las preguntas:

1. Reflexione acerca de la relación entre la ocupación de los trabajadores y su intoxicación.
2. ¿Cuáles fueron las actividades con mayor riesgo de intoxicación?
1. ¿Qué medidas implementaría?

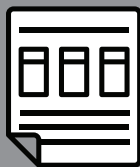


RESUMEN

En este capítulo se abordó el tema de la clasificación de sustancias químicas más aplicadas en el mundo actual, que comienza por el uso, bien sea industrial o doméstico. En esta clasificación se hizo énfasis en artículos empleados en sitios de trabajo, hogares y, en general, en la cotidianidad, que al final han facilitado la vida contemporánea. Asimismo, se detallaron las clases de sustancias por estado físico con ejemplos cotidianos que pueden cambiar de estado según las condiciones a las que sean sometidas, como temperatura o presión. En diversos sitios de trabajo, en procesos de producción confluyen tres estados de la materia y en el ambiente es posible encontrar una sustancia sólida, parte vapor y parte condensada. Adicionalmente, se reflexionó sobre las especies químicas que se pueden generar, es decir no solamente un cambio físico puede producir un cambio de líquido a vapor conservando la identidad de la sustancia, pues también se produce en muchos casos un cambio de estado acompañado de una reacción química por combustión, oxidoreducción o síntesis que genera otra especie química.

Una sustancia química en condición natural se presenta en estado definido; por ejemplo, los metales son sólidos (excepto el mercurio, que en condiciones normales se encuentra en estado líquido), y cuando hay transformaciones por cambios de temperatura y presión se puede generar no solamente un cambio de estado, sino también una modificación en la presentación de la sustancia de acuerdo con los equipos de producción utilizados que podrían facilitar la exposición y absorción por parte de los usuarios de ellas; por ejemplo, nieblas y aerosoles formados por sustancias líquidas, aunque por el tamaño de la gota en presencia de aire adoptan forma diferente con mayor capacidad de penetración a través de vías respiratorias, oculares y dérmicas, principalmente.

En cuanto a la clasificación por etiquetado, es la más amplia actualmente aplicada en Colombia y en muchos otros países que deben realizar una clasificación de sustancias, como plaguicidas, mediante estudios de toxicidad y fisico-



RESUMEN

químicos para identificar peligros y establecer las categorías que propone el SGA. Asimismo, se hizo énfasis en la clasificación toxicológica de sustancias, que no debe hacerse solamente con datos de toxicidad aguda como el DL50, pues hay varios aspectos por considerar de salud como irritación, lesión, sensibilización, daños en células germinales, cáncer, entre otros.

Por último, es importante tener en cuenta que las sustancias también se deben clasificar según el daño que produzcan a componentes del ecosistema. Desde la perspectiva de SGA, se consideran la toxicidad acuática y el daño a la capa de ozono. Igualmente, según reportes, existen otras sustancias que evidencian efectos nocivos en abejas, mariposas y otras especies fundamentales para mantener el equilibrio en el medio ambiente.



CUESTIONARIO

1. En grupos, elabore un video de un sitio de trabajo que presente los aspectos más representativos en cuanto a la clasificación toxicológica de los agentes químicos vistos en este capítulo.

2. Indique el nombre del cambio de estado de las siguientes sustancias:

- a. Hierro sólido a líquido
- b. Aire atmosférico a aire líquido
- c. Alcohol etílico líquido a vapor

3. Desde el punto de vista de la toxicología las sustancias químicas se pueden clasificar de acuerdo con:

- a. Su uso, estado físico y etiquetado.
- b. Su uso, estado físico y propiedades químicas.
- c. Su color, etiquetado y estado físico.
- d. Ninguna de las anteriores.

4. De acuerdo con la clasificación de las sustancias por el etiquetado y según el sistema globalmente armonizado, las sustancias químicas se clasifican así:

- a. Peligros para la salud, peligros físicos y peligros para el ecosistema.
- b. Peligros químicos, peligros físicos y peligros biológicos.
- c. Peligros para la salud, el agua y el aire.
- d. Ninguna de las anteriores.

5. Enumere 10 sustancias químicas que se encuentren en su hogar y clasifíquelas según su uso, estado físico y revise si la etiqueta advierte algún peligro físico como la inflamabilidad, o algún peligro para la salud.

.....

.....

.....

.....

Referencias

- American Academy of Pediatrics (2016). El cuarto de lavandería, los detergentes y la seguridad. Recuperado de <https://www.healthychildren.org/spanish/safety-prevention/at-home/paginas/laundry-room-and-detergent-safety.aspx>
- American Academy of Pediatrics (2016). Productos de limpieza, higiene y desinfección. Recuperado de <https://healthychildren.org/spanish/health-issues/conditions/prevention/paginas/cleaners-sanitizers-disinfectants.aspx>
- American Chemical Society.(2019) Safety Resources from ACS's Chemical & Engineering News. Recuperado de <https://www.acs.org/content/acs/en/about/governance/committees/chemicalsafety/publications.html>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2017). Chemicals: Managing Chemical Safety in the Workplace. U.S. Department of Health & Human Services. Recuperado de https://www.cdc.gov/niosh/chemicals/default.html?CDC_AA_refVal=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov%2Fniosh%2Ftopics%2Fchemical-safety%2Fdefault.html
- Occupational Safety and Health Administration. (2019). Chemical Hazards and Toxic Substances. United States Department of Labor. Recuperado de <https://www.osha.gov/SLTC/hazardoustoxicsubstances/>
- CTR Scientific (08 de 01 de 2019). Hoja de datos de seguridad. Cianuro de sodio. Recuperado de <https://www.ctr.com.mx/pdfcert/Cianuro%20de%20Sodio.pdf>
- IARC (09 de 11 de 2018). IARC. Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. Recuperado de <https://monographs.iarc.fr/monographs-and-supplements-available-online/>
- Icontec (22 de 12 de 2012). GTC 45. Guía técnica colombiana. Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Bogotá: Icontec. Recuperado de https://www.disanejercito.mil.co//recursos_user///DISAN%20EJERCITO/SALUD%20OCUPACIONAL/SISTEMA%20DE%20GESTION%20SST/NORMATIVIDAD/GTC%2045%202012.pdf
- Naciones Unidas (2017). Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). Séptima Edición. Recuperado de https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev07/Spanish/ST-SG-AC10-30-Rev7sp.pdf

OCDE (26 de 07 de 2013). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. Effects on Biotic Systems. Recuperado de https://www.oecd-ilibrary.org/fr/environment/test-no-210-fish-early-life-stage-toxicity-test_9789264203785-en

Xirau Manuel (2019). Frases inspiradoras de grandes científicos. En Forbes. Recuperado de <http://forbes.es/life/4052/frases-inspiradoras-de-grandes-cientificos/>



Tendría lugar lo mismo si el ácido
arsenioso estuviera mezclado con
vino, café, caldo, etc.

Mateu Orfila, abril de 1813



CAPÍTULO 4

Rutas y vías de ingreso de las sustancias tóxicas

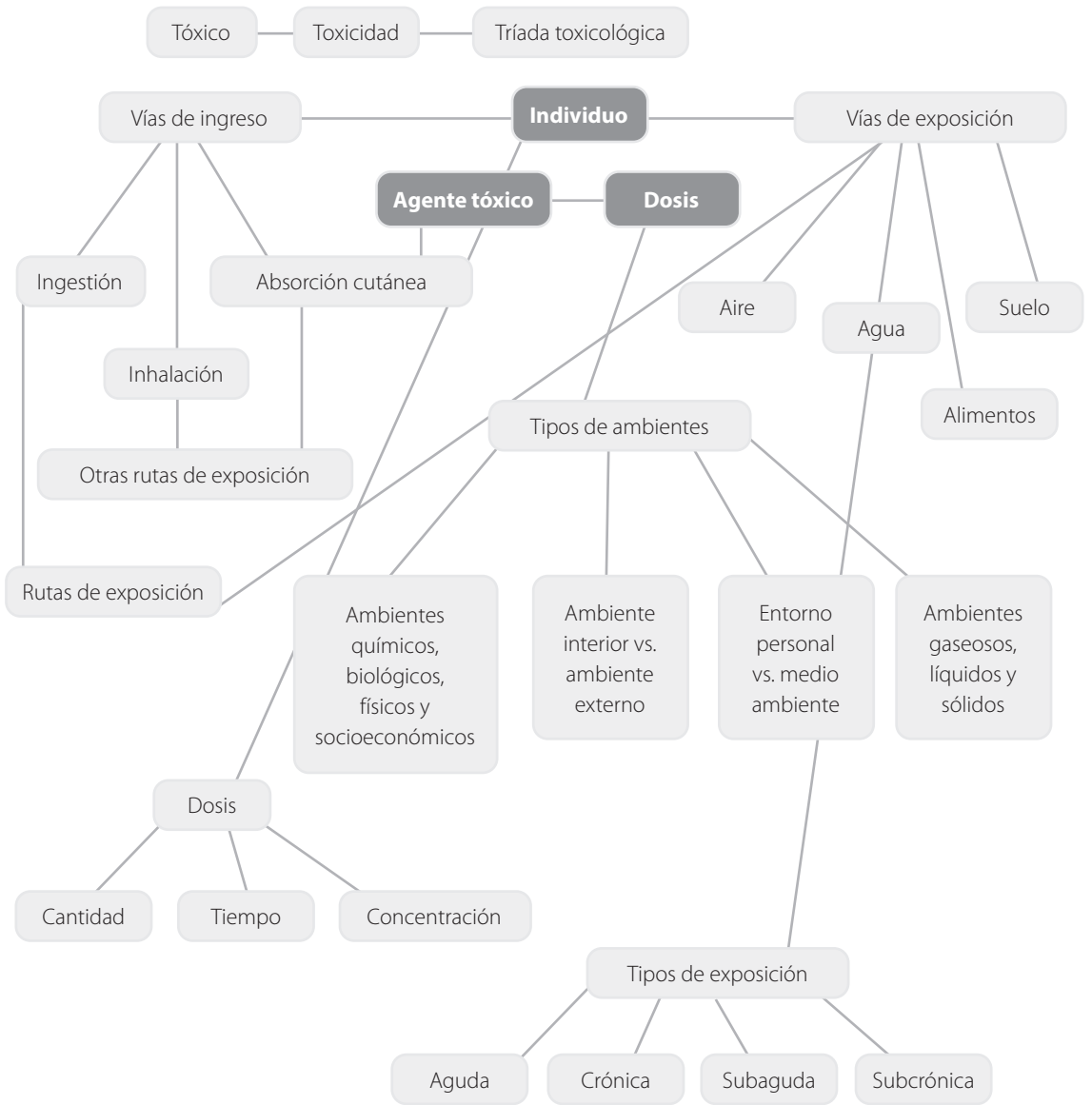
Javier Enrique Cortés Amórtegui

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Entender la relación entre el individuo, el agente tóxico y la dosis durante un proceso de intoxicación.
- Analizar los factores que alteran el curso de una intoxicación.
- Identificar los mecanismos y elementos que interactúan en el desarrollo de una exposición a agentes tóxicos.
- Reconocer los diferentes conceptos y usos relacionados con las vías y rutas de exposición a agentes tóxicos que podrían afectar la seguridad y la salud en el entorno de trabajo.

Figura 4-1 Mapa conceptual sobre las rutas, vías, ambientes y tipos de exposición a sustancias tóxicas



Introducción

Los agentes tóxicos y sus derivados, al igual que muchas otras cosas, hacen parte de la vida del hombre y sus costumbres. Su uso no sólo se hace directamente, pues eventualmente también se emplean subproductos como plásticos, pinturas, disolventes, pegantes, tinturas, plaguicidas, pigmentos, combustibles, aceites, comestibles, entre otros, los cuales hacen parte del progreso y de la comodidad de la humanidad.

La composición, las propiedades físicas y químicas de los agentes tóxicos y los cambios que tienen en el ambiente natural o en las industrias, corresponden a estudios que se hacen a nivel técnico. Asimismo, en otros campos se analizan para aprovechar los adelantos comerciales, al igual que sus beneficios para la economía. No obstante, durante su uso, manipulación, almacenamiento y transporte pueden causar impacto en la salud de los seres humanos o, en otros casos más delicados, producir accidentes laborales o enfermedades profesionales.

Los expertos en seguridad y salud en el trabajo de cada empresa utilizan sus conocimientos para prevenir, proteger y crear estrategias con el fin de mitigar el riesgo a las sustancias que rodean a los trabajadores. Por ello, el conocimiento de las vías y rutas de entrada de las sustancias tóxicas al organismo, facilitan en gran medida el manejo y la prevención de riesgos laborales, el desarrollo de hábitos de trabajo seguro, y en caso de que ocurran accidentes, permite su evaluación e implementación de estrategias para mitigar una complicación o daño potencial. Los estudios que se realizan en el campo relacionado con la exposición a sustancias tóxicas, tienen un fuerte ingrediente morfofisiológico; por ello, es necesario que quienes se preparan en el área de *seguridad y salud en el trabajo* reconozcan los pormenores del ingreso de sustancias al organismo humano, y este capítulo constituye un buen inicio para ello.

La tríada toxicológica

La tríada es un grupo de tres factores que se interrelacionan entre sí, de manera intrínseca y extrínseca; por ello, la vinculación de estos elementos constituye un modelo que permite

comprender procesos biológicos, al igual que las condiciones de salud de los seres humanos y la aparición de cualquier tipo de anormalidad. En realidad, la expresión tríada toxicológica no existe, ya que el verdadero término es tríada ecológica. Este modelo fue usado desde su inicio para enfermedades de tipo infeccioso, pero ahora se utiliza con diferentes agentes, como son los físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales.

Siendo prácticos, es lógico que en toxicología se emplee este término para explicar. En la figura 4.2 se muestran las relaciones entre *individuo*, *agente tóxico* y *dosis*, factores que impactan en la producción de enfermedades de origen toxicológico o afectaciones a la salud (Ibarra, 2013).

Figura 4.2 La tríada toxicológica



Factores que alteran la toxicidad

Los componentes que afectan una intoxicación también se conocen como *factores de riesgo*; éstos son comportamientos, características y condiciones que aumentan la predisposición a sufrir una enfermedad o tener una lesión. Cuando se analizan estos factores, en la realidad es muy difícil encontrarlos en forma aislada; la mayoría de las veces se presentan en grupo e interactúan entre sí, por ejemplo, la obesidad, el alcoholismo, la diabetes, el asma y la presencia de un agente tóxico determinado, son componentes que potencian la probabilidad de un accidente o enfermedad y quizá la muerte.

Teniendo en cuenta el análisis de la interacción de los componentes de la tríada toxicológica, es posible decir asimismo que existen:

1. Factores que dependen del individuo: edad, masa, estado de salud, estrato social, género, formación académica, procesos dietéticos conductuales y genética. (Supervía Caparrós, *et. ál.*, 2017).

2. Factores que dependen del agente tóxico: concentración, composición, dosis (tiempo y cantidad), propiedades, rutas de exposición, metabolismo del tóxico y la complejidad de la molécula.
3. Factores que dependen del ambiente: altitud, latitud, temperatura, presión atmosférica y ocupación.

El comportamiento de los seres humanos frente a las sustancias tóxicas tiene amplias diferencias en respuesta a éstas, además la susceptibilidad varía en cada etapa de su vida; esto es posible a diferentes factores como la velocidad de absorción, la transformación y la eliminación de la sustancia tóxica (Ruíz, 2001). Igualmente, hábitos alimenticios, consumo de alcohol, cigarrillo, drogas, lugares que se frecuentan y ejercicio físico desempeñan un papel preponderante.

El componente de la edad desempeña un papel importante durante una intoxicación; por ejemplo, en el caso de niños de corta edad, que son más susceptibles a la intoxicación química, ya que los volúmenes de inhalación de estas sustancias y la absorción gastrointestinal son mayores a los de los adultos, debido a la mayor permeabilidad de la mucosa intestinal, además los procesos enzimáticos que les ayudan a detoxificar aún son inmaduros y la velocidad de eliminación en ellos es relativamente lenta. En esa misma medida, los adultos mayores podrían ser igualmente o más susceptibles, ya que durante su vida han estado expuestos a diferentes sustancias químicas y poseen concentraciones considerables de sustancias xenobióticas en su organismo, donde también entran en juego determinados hábitos alimenticios, el consumo de alcohol o drogas e interacciones con contaminantes ambientales, además la disminución de las funciones de detoxificación y la reducción de la eliminación de sustancias tóxicas, los hacen asimismo susceptibles.

El género es un factor que se debe tener en cuenta en el momento de una intoxicación. En la literatura se encuentran aproximadamente unas 200 sustancias que manifiestan susceptibilidades diferentes, dependiendo del género en la cual inciden. Parece ser que los hombres son más sensibles a las toxinas renales y las mujeres a las toxinas hepáticas. Las explicaciones sobre este comportamiento se relacionan con conductas fisiológicas diferenciales, tal vez, por los diferentes parámetros fi-

siológicos que afectan la absorción, distribución, metabolismo y eliminación; es el caso del tamaño corporal, la expulsión de algunas sustancias tóxicas en la menstruación y en la leche materna que transfiere a hijos lactantes, componentes que también se relacionan con depósitos de grasas relativamente mayores en las mujeres que permiten mayor acumulación de tóxicos lipófilos como los disolventes orgánicos y algunos fármacos.

Sin duda, los hábitos de alimentación intervienen en los niveles de susceptibilidad a la toxicidad química, ya que una apropiada nutrición redundaría en un saludable estado de los sistemas de defensa y detoxificación. Además, es importante entender que la diversidad de componentes, como también la cantidad pueden intervenir en la absorción gastrointestinal de algunos agentes tóxicos. De hecho, las condiciones alimentarias se cumplen cuando se incorporan comportamientos relacionados con el ejercicio físico y el cuidado de las tensiones psicológicas.

Por último, frente a los factores relacionados con el individuo, es importante tener en cuenta las vías de administración del tóxico, ya que este aspecto modula los potenciales de toxicidad de una sustancia química, pues esto altera el comienzo, la intensidad y la duración del efecto tóxico. La ruta de entrada permite conocer el grado de toxicidad y los órganos afectados.

Por otro lado, factores ambientales como la altitud y la latitud del planeta afectan la toxicidad de los agentes químicos; por ejemplo, el caso de la temperatura ambiental que modifica la velocidad de las reacciones químicas que son termo dependientes y, adicionalmente, modifican la dilatación o contracción de los vasos sanguíneos con lo que se altera el volumen de sangre circundante y, por consiguiente, la cantidad de tóxico que llega a las células diana. Del mismo modo, la temperatura puede modificar la absorción, la repartición y el impacto del tóxico en el cuerpo; por ejemplo, la absorción de la piel, intestinos y mucosas se ve alterada por la temperatura, además el aumento de la velocidad del metabolismo y el paso entre las membranas celulares. Otro aspecto ambiental es la actividad lumínica o el tiempo de exposición al sol, que tiene acciones sobre los agentes químicos (actinismo); por ejemplo, en el verano se incrementan los trastornos como el saturnismo, o se pueden crear reacciones fotoalérgicas o fototóxicas como con las tetraciclinas o compuestos aromáticos. La presión de la atmósfera es un factor que

actúa en la toxicidad de un agente químico, cuya explicación sostienen las leyes de Dalton y Henry y la ley de Le Chatelier que dice que la presión de la atmósfera que se encuentra alrededor de un organismo intervendrá en la absorción de los gases y/o vapores. Asimismo, alterará la velocidad de las reacciones químicas según sea la presión –alta o baja–; por ejemplo, el consumo de alcohol en diferentes alturas geográficas, pues a mayor altura, mayor grado de embriaguez.

Con respecto a los análisis que se pueden hacer al agente tóxico, primero se debe tener en cuenta si la sustancia en cuestión es *pura*, o si el agente tóxico es un grupo de sustancias que actúan en el organismo de manera diferente (vehículos, coadyuvantes y excipientes); por ejemplo, en el uso de plaguicidas el 2,4,5 –T (2,4,5 – ácido triclorofenoxiacético), es un compuesto realmente tóxico, pero a este se le agregan derivados del petróleo como vehículos, que aumentan sustancialmente la toxicidad.

Asimismo, hay que tener en cuenta que la toxicidad es afectada por la concentración y la dosis del agente tóxico en el momento de la exposición; es decir, cuanto mayor sea la concentración, mayor será la velocidad de absorción; del mismo modo, a dosis altas en intoxicaciones agudas se modifican los procesos de eliminación, ya que hay saturación de éstos. Del mismo modo, cuando el cuerpo recibe la estimulación de varios agentes tóxicos al mismo tiempo, la acción de estas sustancias puede alterar el organismo (sinergismo, potenciación, antagonismo, etc.).

Por último, en los agentes tóxicos, la velocidad de administración obviamente varía la velocidad de absorción, ya que la intoxicación será dependiente de la cantidad de agente que pueda entrar en organismo en un breve tiempo; por ejemplo, la hidratación parenteral, en algunos casos se coloca con microgoteo y otras con macrogoteo, con resultados que se verifican en el transcurso del tiempo (Instituto Nacional de Salud, 2017).

Vías y rutas de exposición al agente tóxico

Para entender las vías y rutas de exposición, en primera instancia se debe comprender la definición de *ambiente* en el contexto de la toxicología: “Lo que rodea o cerca. Conjunto de todas las

condiciones e influencias externas a la que está sometido, en un determinado momento, el sistema sujeto a estudio” (ISO, 1975). Asimismo, resulta necesario abordar las tipologías de ambiente, que se describen en el siguiente apartado.

Tipos de ambientes

Para entender los conceptos de rutas y vías de entrada, se requiere comprender el concepto de ambiente y los campos que este abarca y sus características.

Los tipos de ambientes se clasifican en cuatro clases, cuyas características son las siguientes:

1. **Ambientes interno y externo:** en relación con el contexto de la toxicología, el ser humano se comporta como un ambiente, en este caso será el ambiente interno, mientras que el ambiente fuera del cuerpo es el ambiente externo.
2. **Las barreras biológicas del cuerpo** protegen el ambiente interno, ellas son: la piel, el sistema gastrointestinal, las membranas pulmonares, entre las más importantes; sin embargo, estas barreras pueden sufrir daños, lo que permitiría que agentes tóxicos ingresen en el organismo.
3. **Ambiente personal y entorno (medio ambiente):** el personal (higiene, régimen alimentario, prácticas sexuales, ejercicio físico, consumo de tabaco, drogas y alcohol) corresponde al ambiente que el ser humano puede controlar, mientras que el entorno –en este caso, el laboral– es el que la persona no puede dominar.
4. **Ambientes que dependen de los estados de la materia** (gaseosos, líquidos y sólidos), sobre los cuales la persona interactúa todo el tiempo y son los que permiten analizar las puertas de entrada de los agentes tóxicos.

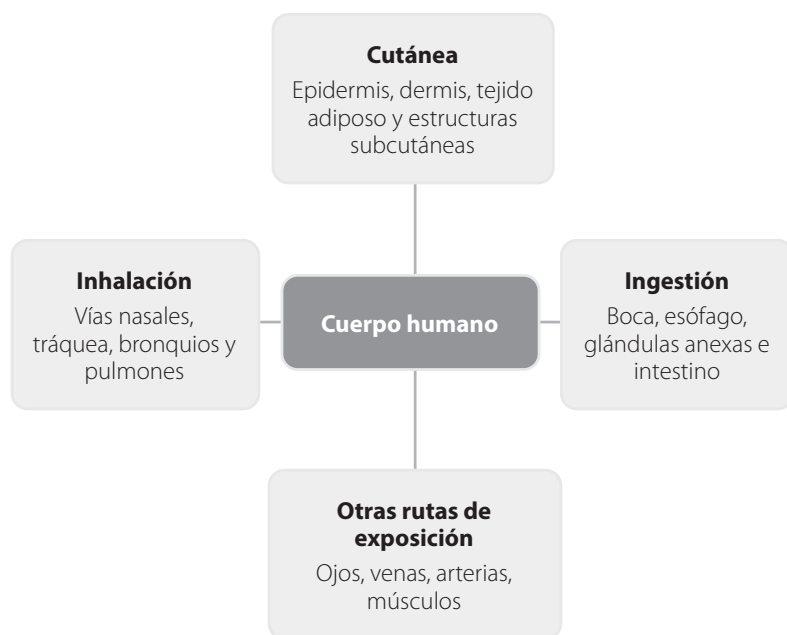
Ambientes socioeconómicos, físicos, biológicos y químicos: se refiere al entorno donde la persona habita y en particular, los laborales. El socioeconómico, por ejemplo, permite reconocer las características sobre el *modus vivendi* de las personas, sus formas de alimentación, convivencia con familiares y allegados, lugares donde vive, entre otras. En general, los entornos socioeconómicos bajos presentan mayor riesgo y posibilidades de sufrir enfermedades relacionadas

con agentes químicos. El ambiente físico, por su parte, explica estados naturales extremos como temperatura, ruido y radiación, mientras que el ambiente biológico corresponde a la interacción con otros organismos como animales, plantas, hongos, bacterias y virus. Finalmente, los ambientes químicos referencian las interacciones del ser humano con agentes químicos, tales como productos de limpieza, maquillaje, pesticidas, conservantes y elementos de la industria.

Rutas de exposición

En la figura 4.3 se ilustran las diferentes rutas de exposición al tóxico, el estudio de estas permite comprender el posible ingreso de sustancias tóxicas en el organismo humano.

Figura 4.3 Rutas de exposición



De una forma más detallada, las rutas de exposición se podrían caracterizar así:

1. Exposición cutánea, que se ve afectada por:
 - Estado de la piel: actúa como barrera y capa selectiva de las sustancias que entran en el organismo humano.

- Propiedades de la sustancia: se sabe que los compuestos inorgánicos no se absorben con facilidad, mientras que los compuestos orgánicos como derivados del petróleo, pesticidas, entre otros, si sí ingresan en el cuerpo humano.
 - Aumento en la concentración, cantidad de sustancia o tiempo de exposición que modifican la absorción del agente tóxico.
2. Exposición respiratoria, se ve afectada:
 - Por el estado de la sustancia, la concentración de la misma, su solubilidad, el tamaño de la partícula tóxica, el tiempo de exposición, el estado de las barreras que recubren el pulmón y la cantidad de aire que ingresa a los pulmones.
 3. Exposición digestiva, se ve afectada:
 - Por la estructura física del agente tóxico, el tiempo de exposición, la concentración y el estado en que se encuentre la sustancia. Cuando el agente tóxico entra en el sistema digestivo, la sustancia pasa a la sangre donde es transportada hacia los órganos diana.

Descripción de la ruta de exposición

La ruta de exposición en cada intoxicación tiene los mismos elementos ya que estos son factores comunes que facilitan el estudio, la identificación de los factores de riesgo, la intervención, la prevención y el control de las mismas.

1. Fuente: en el desarrollo de la Seguridad y Salud en el Trabajo, los componentes esenciales de esta son la localización y los mecanismos de emisión. La localización hace referencia a los lugares donde se libera o se espera se liberen los tóxicos, reconociendo todos los posibles procesos de liberación y los receptores; por ejemplo, un tanque de combustible (fuente) y unas posibles fisuras en la estructura del tanque (procesos de liberación), que podrían verterse en el suelo de una fábrica (receptor), y la emisión que explica quien produce o arroja el agente tóxico al medio.

2. Transporte y destino: después de que un agente tóxico se libera, puede suceder que:

- La sustancia puede acumularse en el medio o en el receptor.
- Se transporte mediante corrientías de agua, donde se disuelve o viaje suspendida.
- Se transporte en el viento, en forma de gas, vapor o material particulado.
- Se transforme físicamente en procesos de volatilización o precipitación.
- Se transforme químicamente en procesos de fotólisis, hidrólisis, óxido-reducción, biodegradación, biomagnificación o bioacumulación.

Para entender los mecanismos o procesos de distribución de un agente tóxico, es importante estudiar sus propiedades físicas y químicas junto con las características del medio donde se transporta y/o se transforma. De esta manera, se evalúan las variaciones de la concentración del tóxico durante su recorrido de la fuente al receptor. Con estos modelos, entonces, se pueden predecir las exposiciones futuras y desarrollar mecanismos de prevención.

3. Punto de exposición: se refiere a un contacto o cualquier posible contacto entre el receptor y un medio contaminado en un determinado punto de exposición. La importancia de este lugar de exposición se incrementa cuando la concentración de la sustancia es mayor y la población receptora es un grupo sensible a ésta exposición. Una exposición potencial de un punto de exposición es cuando:

- Si el lugar se encuentra en uso por la población.
- El acceso a este lugar no está restringido o limitado a otras poblaciones.
- Si el contacto con el agente tóxico se puede presentar por otro ambiente (suelo, aire, agua).

Ahora bien, en potenciales puntos de exposición, se supone que la concentración del agente tóxico será mayor en los puntos

cercanos al lugar de origen de la fuente, mediados por la altitud y las direcciones del viento. En algunos casos –como en los plaguicidas– se puede encontrar el agente tóxico muy concentrado a grandes distancias de la fuente, debido a que se bioconcentra, por el desplazamiento por diferentes medios; por ejemplo, peces que hayan recibido un contaminante y éstos se desplazan por un cuerpo de agua, para luego ser consumidos por una población a gran distancia.

Vías de ingreso

Los contaminantes químicos pueden ingresar o ser absorbidos por varios puntos de acceso, llamados vías de ingreso o entrada al cuerpo humano.

1. **Respiratoria:** es la más importante por el contacto que tiene con el medio ambiente, pues rodea a trabajadores que respiran el aire del entorno y asimismo con este pueden ingresar todo tipo de sustancias. Los agentes tóxicos pueden ser retenidos en la nariz, tráquea, bronquios o en los pulmones, teniendo en cuenta propiedades físicas (tamaño de las partículas) y químicas (reacciones que puedan tener durante el recorrido). En algunas ocasiones, las partículas pueden llegar hasta los alvéolos y pasar al torrente sanguíneo.
2. **Dérmica:** después de la respiratoria es la vía que sigue en importancia, pues las propiedades químicas del agente tóxico (liposoluble), la superficie total expuesta y el estado de la piel son elementos que desempeñan una función esencial en la absorción de la sustancia. Existen sustancias que son absorbidas por la piel, sin provocar daño, para luego ser distribuida por el torrente sanguíneo en todo el organismo.
3. **Digestiva:** es una entrada poco corriente, ya que es poco posible que se introduzcan sustancias de trabajo en la boca, aunque es probable que éstas lleguen al tracto digestivo cuando se consumen alimentos durante la actividad laboral, o en ocasiones se fume, se beba o cuando no hay un lavado adecuado de las manos después de la actividad laboral.
4. **Parenteral:** es la entrada del tóxico directamente a la sangre; se puede producir a través de una herida o una úlcera existente o inducida por la pérdida de la continuidad de la piel o mucosas.

Tipos de exposición

Un agente tóxico en el ambiente donde se encuentre un organismo puede ocasionar una exposición al contaminante. El resultado de esta exposición externa es que la sustancia puede ser absorbida por el individuo, causándole variados efectos. La exposición en relación con la magnitud presenta dos elementos fundamentales: la concentración del contaminante en el ambiente y el tiempo de exposición; según estos factores, se puede decir que existen tres tipos de exposiciones: agudas, subagudas y crónicas.

Si la exposición externa produce una absorción del tóxico, se produce una exposición interna, dependiendo de la cantidad de tóxico. En este caso, la cantidad de agente tóxico que se absorba en el organismo, se denomina *dosis absorbida* o *dosis interna*. En esa medida, la dosis que llegue a un órgano específico, se llama *dosis local*, y ésta será la que cause la sintomatología en el órgano afectado. Las características de cada exposición son las siguientes:

- **Aguda:** se presenta por una exposición de corta duración, por uno o repetidos contactos, donde el agente químico o físico ingresa en el individuo velozmente; puede ser en una o varias dosis, aunque en un tiempo inferior a 24 horas. Los síntomas aparecen de manera inmediata (Miranda Arto, et. ál., 2014).
- **Subaguda:** se origina por exposiciones repetidas, durante un periodo de varios días o semanas. Los síntomas aparecen de forma retardada.
- **Subcrónica:** es ocasionada por exposiciones repetidas, durante un periodo de tiempo menor a tres meses y mayor a un mes. Los síntomas aparecen de forma relativamente distante.
- **Crónica:** por exposiciones repetidas, durante un periodo relativamente largo (meses o años); las dosis suministradas son bajas y los efectos que un tóxico pueden causar, dependen del entorno o contexto (lugar o sitio donde ocurra), es decir, el individuo convive con el agente en cuestión.
- **Efecto local:** este relaciona el punto o área de contacto sobre el individuo. El sitio, punto o área pueden ser la piel, las mu-

cosas nasales, las mucosas oculares o los órganos del sistema digestivo o respiratorio.

- **Efecto sistémico:** es decir, se disemina por todo el organismo, pues no sólo afecta un órgano o conjunto de órganos (sistemas), sino a todo el individuo (Silbergeld, 2012).

Términos clave



- Absorción
- Agudo
- Composición
- Concentración
- Crónico
- Dosis
- Eliminación o excreción
- Exposición al tóxico
- Factores ambientales
- Factores de riesgo
- Susceptibilidad al tóxico



ESTUDIO DE CASO

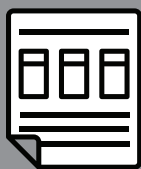
El trabajo que enfermó a la señora Rosa

Este es el caso de una mujer de 45 años que trabaja en la división de servicios generales de una prestigiosa universidad. Durante los últimos 13 años ha estado asignada para hacer la limpieza en los baños de mujeres en tres de los nueve pisos de la institución. En el reporte clínico que ella hace al control médico, manifiesta que en las horas de la mañana alista todos los materiales necesarios para la limpieza, aseo y desinfección de los baños. Una de sus labores consiste en preparar el hipoclorito de sodio, instrucción recibida en los cursos de seguridad laboral: tiene que preparar al 5% y eso significa que debe usar 5 gr de hipoclorito de sodio en polvo por cada 100 ml de agua, es decir en 1.000 ml. Como el recipiente que utiliza es de 10 litros, entonces, coloca 50 gr de dicha sustancia, aunque asegura que con 55 o 60 gramos, el proceso de aseo es mucho más sencillo y las grasas salen fácilmente.

En los últimos 8 años, declara que ha venido presentando irritación en las mucosas de ojos, nariz y garganta. En un principio, pensaba que tal vez era por alguna contaminación de bacterias o virus residentes en los baños, pero en los últimos tres años se ha presentado dolor mucho más agudo, acompañado de vómito, dificultad para respirar, erupciones en casi todo el cuerpo (parecidas al acné) y dificultad en la visión. Asimismo, comenta que decidió asistir al médico por dolores abdominales y sangrado en las heces.

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. Identifique los elementos de la tríada toxicológica, los factores que alteran la toxicidad, las vías y rutas de exposición al agente tóxico, los tipos de ambientes, al igual que la descripción de la ruta de exposición y el tipo de exposición en el caso de la señora Rosa.
2. Durante la intoxicación de la señora Rosa, en el caso presentado, describa los factores que alteran el curso de la intoxicación.
3. ¿Qué papel desempeña el ambiente durante la intoxicación por cloro de la señora de servicios generales de la universidad en cuestión?



RESUMEN

En este capítulo es importante resaltar que los riesgos producidos por la exposición a agentes tóxicos, no son semejantes para todos los individuos de una población, pues todos los seres humanos u organismos no tienen la misma vulnerabilidad a las sustancias. Esta variable se explica por las diferencias en el comportamiento social, el estrato social, la formación, la conformación genética, la edad y el sexo. Así, se observa que la escala de vulnerabilidad se transforma de niños a adultos, donde los niños son más susceptibles a la exposición ya que la absorción en los infantes es mayor y su defensa ante las sustancias externas aún no se ha desarrollado; lo mismo ocurre con los adultos mayores, porque a medida que pasa el tiempo se reduce su capacidad de defensa, al igual que las mujeres en gestación, sobre todo en la etapa de 5 a 6 meses, donde se podrían presentar más los efectos teratógenos, carcinogénicos y mutagénicos.

Es importante recordar que los efectos a los agentes tóxicos son multifactoriales, es decir, la toxicidad depende de:

- La dosis a la cual se expone el individuo.
- La ruta y la vía de exposición.
- El número de dosis en el tiempo.
- El daño que pueda causar el agente tóxico.
- El tiempo de exposición.
- Los biotipos de los diferentes individuos expuestos.



CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es la diferencia entre exposición y dosis?

2. ¿Cuáles podrían ser los efectos de la exposición a un agente tóxico a corto y a largo plazos?

3. Construya un mapa conceptual sobre la “evaluación de la relación dosis-respuesta”.

4. Explique las curvas dosis-efecto; es decir, la dosis del agente tóxico y la magnitud del efecto producido en un individuo.

5. ¿Cuál es la relación entre los elementos de la triada toxicológica durante un proceso de intoxicación?

Referencias

- Guerrero, L.I. (2011). Cuadernillo de apoyo para la asignatura de toxicología. División de ingeniería ambiental. México: Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México, pp. 1-77.
- Ibarra, E.J. (2013). Toxicología en Salud Ocupacional. *En Temas de salud ocupacional*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores, pp. 64-148. Disponible en http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/insat/temas_de_salud_ocupacional.pdf
- Instituto Nacional de Salud (2017). *Informe del evento. Intoxicaciones por sustancias químicas*. Colombia 2017, pp. 2-16. Disponible en <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/INTOXICACIONES%202017.pdf>
- Miranda Arto, P. et. ál. (2014). *Intoxicaciones agudas en pacientes mayores de 65 años*. Navarra. En *Anales Sis San Navarra*. Vol.37 no.1, pp.99-108. ISSN 1137-6627. <http://dx.doi.org/10.4321/S1137-66272014000100011>
- Repetto, M. y Sanz P. (1995). *Glosario de términos toxicológicos*. España: Asociación española de toxicología, pp. 175. Disponible en <http://busca-tox.com/05pub/Glosario%20terminos%20toxicologicos%20toxicologia%20Repetto.pdf>
- Ruíz, J.D. (2001). Factores fisiológicos que modifican la acción de los fármacos en medicina veterinaria. En *Rev. Col Cienc. Pec*. Medellín, Colombia: Corporación de Ciencias Básicas Biomédicas, Universidad de Antioquia, A.A. 1226, Vol. 14: 1, 200136, pp. 36-48.
- Silbergeld, E.K. (2012). Toxicología. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. OIT: España, pp. 33.1-33.83. Disponible en <https://higieneyseguridadlaboralcv.s.files.wordpress.com/2012/04/oit-enciclopedia-de-salud-y-seguridad-en-el-trabajo.pdf>
- Supervía Caparrós, A. et. al. (2017). Características diferenciales de las intoxicaciones en los pacientes ancianos atendidos en un servicio de urgencias. Barcelona, España: *Emergencias*. 2017 Oct.; 29 (5):335-338.



*«Para cada acción hay siempre una
reacción opuesta equivalente».*

Isaac Newton (1642-1727)



CAPÍTULO 5

Toxicocinética

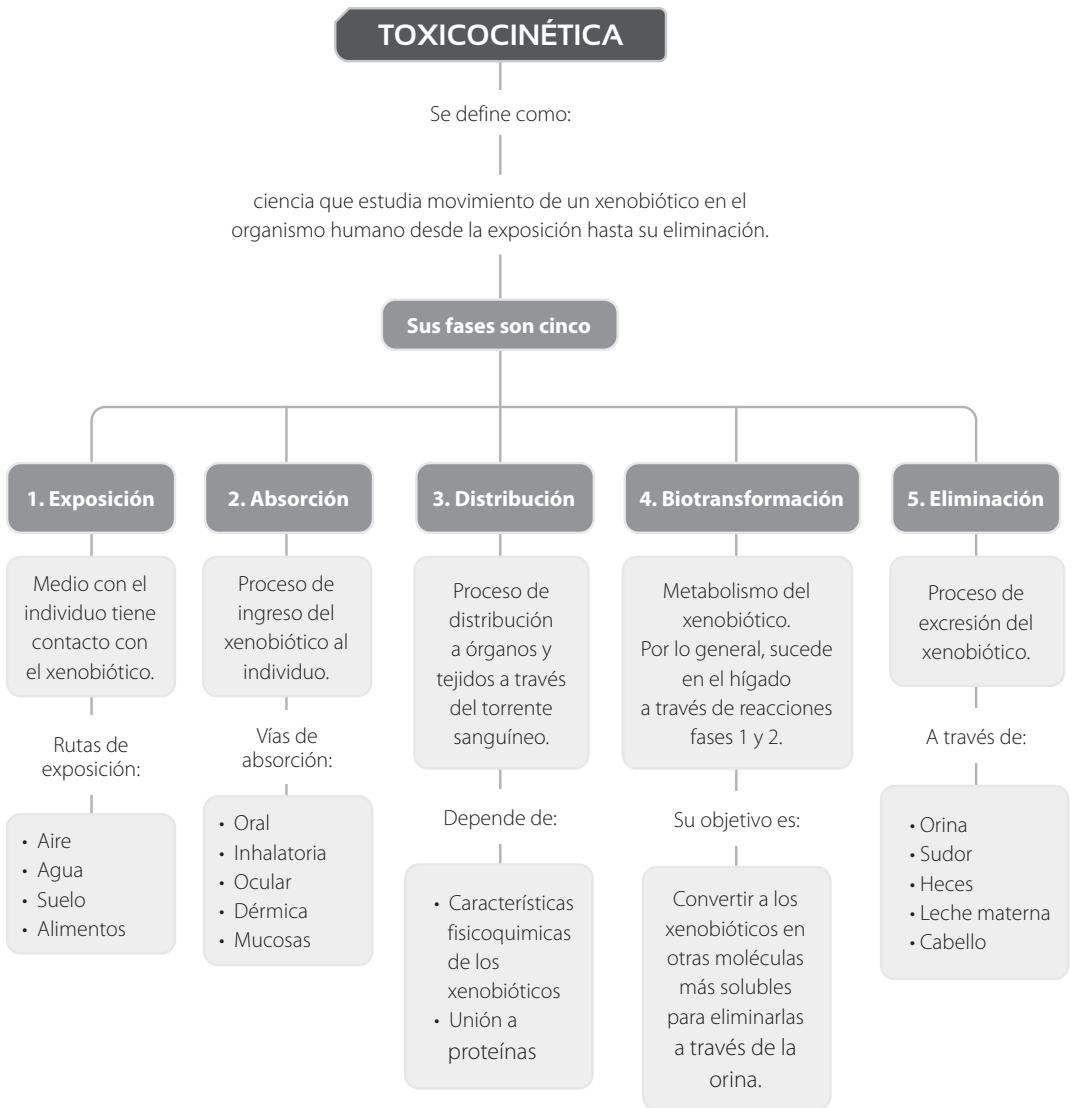
Diana Carolina Chaves Silva

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Reconocer el concepto de toxicocinética.
- Conocer las fases de la toxicocinética.
- Explorar los factores que inciden en cada una de las etapas de la toxicocinética.
- Aplicar los conceptos de toxicocinética en la interpretación de un caso de intoxicación.

Figura 5-1 Mapa conceptual sobre la definición de toxicocinética y sus fases



Introducción

El profesional en áreas afines a la seguridad y salud en el trabajo debe saber cómo se podría exponer una persona a una sustancia química y qué factores intervienen en esa exposición. Así, quien esté en contacto directo con un trabajador mediante visitas, capacitaciones e inspecciones, es el profesional que tiene el desafío de conformar un equipo interdisciplinario para abordar los potenciales casos en el ámbito laboral, cuya responsabilidad es importante para identificar adecuadamente el peligro.

Aunado a lo anterior, en cuanto al tema de la minería nacional, es común escuchar a los mismos trabajadores que se enferman por exposición a determinada sustancia sin reconocer en realidad la multiplicidad de factores que intervienen y las potenciales sustancias presentes en el entorno del trabajador (aire, agua y suelo) con las cuales tiene contacto. Tampoco es fácil identificar si una intoxicación en determinada empresa se debe a sustancias en el ambiente que rodea la industria o específicamente en el sitio donde se desarrollan actividades laborales cotidianas.

Por lo expuesto, en este capítulo se abordará la toxicocinética desde un enfoque práctico, mencionando cada etapa que pasa una sustancia tóxica, desde la exposición hasta la eliminación, haciendo énfasis en la exposición y la absorción, momentos críticos para determinar posteriormente el metabolito excretado y la forma como se produce que, por lo general, es orina, aunque también se explican otros medios para eliminar, tales como aire exhalado, leche materna, bilis, etc.

La toxicocinética, según su raíz es el movimiento o serie de fenómenos que experimenta una sustancia tóxica desde que se expone el organismo humano hasta que se elimina. En todo momento se debe tener en cuenta entonces que las moléculas se encuentran en constante movimiento, dividido en etapas, tales como exposición, absorción, distribución, biotransformación y eliminación; y una vez que la sustancia ingresa en el organismo se mueve a través de este constantemente, eventualidad que refleja la actividad constante de los xenobióticos en el organismo.

Definición de toxicocinética

La toxicocinética es la ciencia que estudia el movimiento de un xenobiótico en el organismo humano, cuyas etapas son exposición, absorción, distribución a órganos y tejidos mediante el torrente sanguíneo y su disposición final, previa biotransformación. De acuerdo con Casarette & Doull (2008), esta ciencia estudia la relación que tiene el movimiento del xenobiótico a través del organismo y el efecto que produce. El estudio toxicocinético de un xenobiótico se basa en un modelo matemático de disposición del tóxico en función del tiempo en todo el organismo. En esa medida, la toxicología computacional es una rama derivada que estudia comportamientos de moléculas nuevas a partir de modelos matemáticos para predecir los efectos tóxicos de sustancias químicas en el organismo humano o el medio ambiente, y comprender los mecanismos que generan un proceso adverso mediante absorción, distribución o metabolismo, y como tal se constituye en una aplicación de estudio.

Otra aplicación de la toxicocinética es la toxicología experimental, que emplea modelos animales como ratas, conejos y perros, o modelos de microorganismos para que mediante la aplicación del xenobiótico al animal, por ejemplo, por vía inhalatoria, se pueda estudiar cuál es el movimiento de la molécula, cuánto tiempo demora en absorberse y cómo se metaboliza para, finalmente, conocer si se bioacumula en el organismo y cuál es la principal vía de excreción.

La forma más común empleada en estudios de modelos animales es el seguimiento de la trayectoria de la molécula en la sangre, que se mide como concentración del xenobiótico en función del tiempo. De acuerdo con Casarette & Doull (2008), si se asume que el xenobiótico se encuentra en equilibrio en sangre con respecto a los tejidos, entonces los cambios de concentración en sangre reflejan los cambios de concentración en tejidos, así ecuaciones sencillas de cinética pueden describir el comportamiento del xenobiótico en el organismo.

Esta contribución de la ciencia es importante en toxicología ocupacional, puesto que permite predecir a partir de modelos animales cuánto tiempo demora eliminar una sustancia, y si

es posible encontrarla en orina o en qué matriz biológica para seleccionar de manera adecuada el biomarcador, la matriz y el tiempo de análisis para realizarlo en laboratorio y así encontrar con mayor certeza un metabolito a fin de relacionarlo con la exposición al agente tóxico.

Fases de la toxicocinética

Tal como se mencionó, la toxicocinética estudia el movimiento del xenobiótico a través del organismo, y para estudiarla se utiliza un modelo sencillo que permite explicar la trayectoria del xenobiótico; es decir, las fases de toxicocinética, i.e. exposición, absorción, distribución, biotransformación o metabolismo y eliminación o excreción, que ocurren en orden cronológico. A continuación, se amplía el concepto de cada una.

Primera fase: exposición

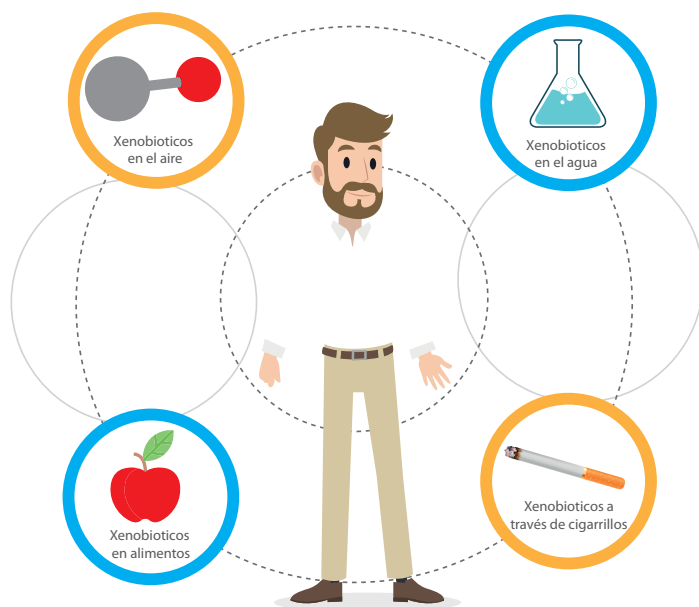
Esta fase es determinante para estudiar una intoxicación; es necesario conocer el medio donde se encuentra el paciente, por ejemplo, lugar de trabajo, vía pública u hogar. Luego, se define con qué sustancia química entra en contacto y se determina la ruta de exposición. Las rutas de exposición son, por ejemplo, alimentos, agua, aire o suelo. De acuerdo con Córdoba & Guerrero (2006), «[...] el individuo está expuesto cuando el tóxico se encuentra en la vecindad inmediata a las vías de ingreso del organismo».

Cuando se conoce el espacio donde se encuentra el paciente o trabajador en el momento de la intoxicación, se define el ambiente, que puede ser el ocupacional según el área de trabajo o cualquier otro entorno al que el ser humano podría estar expuesto. En un ambiente laboral o general, los xenobióticos se encuentran suspendidos o disueltos en tres fases: sólida, líquida y gaseosa. En la figura 5.2 se presenta la exposición a sustancias tóxicas que pueden estar en diferentes medios. Por ejemplo, pueden existir partículas de metales en el aire en forma gaseosa o sustancias disueltas en agua para consumo, como solventes, o también puede haber liberación de gases tóxicos, tales como monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, entre otros.

Por consiguiente, en la fase en que se encuentre depositado el xenobiótico, el trabajador va a estar expuesto y esto se relaciona estrechamente con la vía de absorción. Por ejemplo, si una sustancia está suspendida en el aire (i.e. el humo que genera la soldadura), esta condición facilita el ingreso principalmente por vía respiratoria y mucosas, pero si se disuelve en agua o alimentos para consumo, podrá ingresar por vía oral.

Adicionalmente a la fase en que se encuentre el xenobiótico, se debe revisar la especie química presente, igualmente si se ha transformado o no, o si debido a las características fisicoquímicas se degrada con los rayos solares. Esto es importante porque en ciertas ocasiones los trabajadores suponen estar intoxicados con determinada sustancia química (por ejemplo, el níquel en minerías), pero no se analiza todo el proceso de producción para determinar qué sustancias y en qué estado de oxidación se encuentran, para establecer si pueden ser más nocivas para la salud.

Figura 5.2 Exposición a xenobióticos en diferentes medios



Segunda fase: absorción

La *absorción* es el proceso mediante el cual el xenobiótico ingresa en el organismo humano, y para que haya efecto adverso,

debe pasar al torrente sanguíneo y distribuirse a su sitio de acción o blanco que puede ser un órgano o sistema (i.e. sistema nervioso central para exposición a solventes).

Ahora bien, tanto la velocidad como el grado de absorción son determinantes en la toxicidad generada por sustancia química. Según Goldfrank (en Hoffman, *et. ál.*, 2006), la velocidad de absorción depende de la forma de dosificación (vía de ingreso), mientras que el grado de absorción (biodisponibilidad) predice la intensidad del efecto.

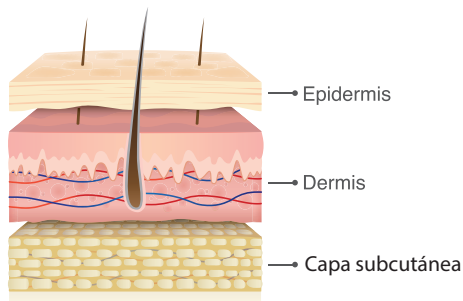
Vías de absorción

El ser humano posee tres barreras protectoras importantes contra contaminantes ambientales externos (piel, sistema gastrointestinal y pulmones), que se relacionan directamente con las vías de ingreso (dérmica, oral e inhalatoria), y a su vez se vinculan con frecuencia con elementos de protección personal diseñados para trabajadores (entre otros, guantes, cofias, batas, overoles, gafas de seguridad, tapabocas industriales, etc.) Aunque estas barreras se han creado para proteger el organismo del ingreso de contaminantes, también son vulnerables a daños y deterioro debido al contacto con sustancias químicas que pueden permear las capas de la piel o la barrera que proteja los demás de órganos (ATSDR, 2018).

La capa de tejidos que cubre y protege el ser humano y otros seres vivos es la *piel*, cuya composición tiene tres capas: *epidermis*, *dermis* y *capa de grasa subcutánea*, tal como se presenta en la figura 3. Según afirman Córdoba & Guerrero (2006), la epidermis es una membrana delgada de aproximadamente 10 mm de espesor y se compone de células queratinizadas. Las sustancias tóxicas pueden atravesar la piel por los folículos pilosos y glándulas sebáceas que pasan por la epidermis hacia la dermis para llegar a los plexos capilares y, finalmente, al torrente sanguíneo; por su condición, el cuero cabelludo se considera vía de absorción dérmica. La absorción cutánea depende de varios factores, tal como se menciona en ATSDR (2018) y se observa en la figura 5.3.

Figura 5.3 Capas de la piel

Las tres capas principales de la piel



- **El estado de la piel:** enfermedades como dermatitis, cortes o descamaciones exponen la epidermis a que el xenobiótico ingrese a la dermis con mayor facilidad y así pasan al torrente sanguíneo para luego transportarse a otras partes del organismo humano.
- **Localización del ingreso del xenobiótico:** las sustancias tóxicas ingresan no solamente a través de las manos del trabajador cuando entra en contacto directo con estas. Por ejemplo, en actividades de preparación de soluciones o fumigaciones, pinturas o soldadura, la sustancia está dispersa por el aire. También hay que tener en cuenta que las sustancias se encuentran distribuidas en equilibrio en todo el entorno laboral y pueden ingresar por todo el cuerpo o el cuero cabelludo, y si no se protege será una vía de absorción mediante la cual las sustancias se adhieren al cabello y posteriormente pueden penetrar por los poros. En la figura 5.4 se presenta, como ejemplo, trabajadores de la rama judicial quienes en los aeropuertos revisan equipajes que potencialmente contienen estupefacientes, en particular cocaína. Al revisar esos paquetes y maletas emplean herramientas como tijeras y alicates, aunque en ocasiones tienen que utilizar serruchos eléctricos para descubrir en qué parte del artículo se podría encontrar camuflado un narcótico o droga prohibida, lo que podría dejar material particulado suspendido en el aire que respiran. Algunos de ellos utilizan elementos de protección, como guantes y tapabocas, pero no cubren el cuero cabelludo, ojos y resto del cuerpo.

Figura 5.4 Funcionarios de la rama judicial en inspección de equipajes



De otro lado, en labores agrícolas, por ejemplo, como se observa en la figura 5.5, el caso de ingreso de sustancias tóxicas a través de los genitales por actividades de fumigación con bomba de espalda, la cual si tiene escape queda con goteo y si el trabajador no cuenta con ropa de protección adecuada, la sustancia puede ingresar directamente a la región lumbar y al escurrir llegaría a los genitales, zona donde hay mayor rapidez de absorción.

Figura 5.5 Trabajador con fumigadora de espalda



- **La composición del xenobiótico:** las sustancias apolares llamadas liposolubles como hidrocarburos penetran con mayor facilidad la piel que aquellas solubles en agua debido a que se disuelven en los lípidos que componen las diferentes capas de la piel. Los metales en estado natural como, por ejemplo, plomo sólido o hierro, no se absorben fácilmente a través de la piel. Los álcalis y los ácidos modifican la queratina de la epidermis ingresando fácilmente y generando el efecto adverso. Los solventes interactúan con los fosfolípidos de la epidermis disolviéndolos lo que facilita la absorción.
- **Aumento de la concentración del xenobiótico o tiempo de exposición:** cuando se usan sustancias químicas concentradas, por ejemplo, en actividades de aseo y limpieza de superficies, se emplea hipoclorito de sodio al 5%, pero este se entrega al trabajador en concentración superior para que prepare soluciones más diluidas, lo que puede generar un accidente o intoxicación si el operario la utiliza en concentraciones superiores a las recomendadas porque aumenta la rapidez de absorción. Asimismo, si el empleado realiza una tarea en 20 minutos que consiste en limpiar una superficie con solvente y, por alguna circunstancia, aumenta el tiempo de contacto con el solvente a 60 minutos, esto incide directamente en la velocidad de absorción incrementando la rapidez de entrada del tóxico al organismo.

Vía inhalatoria

Este es un medio fácil y rápido de exposición a xenobióticos, que se constituye en punto crítico para el ámbito laboral por la afectación al sistema respiratorio, el cual se compone de vías nasales, tráquea, laringe y pulmones. De acuerdo con las recomendaciones de ATSDR (2018), los factores que afectan la absorción de xenobióticos mediante inhalación son:

- Concentración de sustancias tóxicas en la atmósfera.
- Solubilidad de la sustancia en el torrente sanguíneo y en tejidos.
- Tasa respiratoria.
- Duración de la exposición.
- Estado del sistema respiratorio.

- Tamaño de la partícula tóxica y presentación en forma de gases, vapores, polvos, nieblas y aerosoles.
- El material particulado que atraviesa los alvéolos es inferior a 2,5 micras.

Vía oral

Por lo general, la ingesta de sustancias tóxicas es incidental o inadvertida, que afecta el sistema digestivo conformado por boca, esófago (conducto por donde ingresan los alimentos), estómago e intestino (grueso y delgado); la función de este es digerir y absorber los alimentos consumidos.

Factores que afectan la absorción vía oral:

- Características fisicoquímicas del xenobiótico (estructura química, pH reactividad).
- Estado de salud.
- Tiempo de permanencia en el cuerpo de alimentos que contienen sustancias tóxicas.

Después de absorbida la sustancia química en el torrente sanguíneo, se distribuye por todo el cuerpo de inmediato; se traslada de un órgano o tejido a otro (translocación) o se transforma en un nuevo compuesto (biotransformación).

Otras vías de exposición

Vía ocular

La parte inicial de contacto con las sustancias tóxicas es la córnea. Los compuestos ácidos y básicos son los tipos más comunes de exposiciones dañinas. Según el grado de la lesión, la córnea se puede reparar a sí misma. No obstante, existen otras vías para tener en cuenta, entre ellas: intravenosas (en una vena), intramusculares (en un músculo), intraperitoneales (en la cavidad abdominal), intercutáneas (en la piel) y subcutánea (bajo la piel).

De qué manera la vía afecta la velocidad y el grado de absorción

La vía por la cual ingresa el xenobiótico afecta en gran medida la velocidad y el grado de absorción. Goldfrank (en Hoffman, *et. ál.*, 2006), al respecto, plantea el siguiente orden de velocidad de absorción de mayor a menor:

Intravenosa, inhalatoria > intramuscular, subcutánea, intranasal, oral > cutánea, rectal

Por ejemplo, en el caso de consumo de una sustancia tóxica por vía oral tiene una respuesta tóxica más lenta que cuando se presente una exposición por vía inhalatoria. La vía de mayor rapidez de respuesta tóxica es la intravenosa.

En general, esto se aplica en salud ocupacional a accidentes laborales cuando hay pinchazos con jeringas que potencialmente contienen residuos de un medicamento, por ejemplo, por parte de enfermeras y personal de salud o en laboratorios de análisis e investigación donde se utilizan elementos como micropipetas, pipetas y jeringas para succionar soluciones de reactivos.

Tercera fase: distribución

Después de absorbido el xenobiótico, inicia el proceso de distribución por el torrente sanguíneo hacia los demás órganos y sistemas para luego ser metabolizados o biotransformados. El proceso de distribución es bastante rápido, pues aproximadamente en un minuto la sangre recorre todos los órganos y sistemas. Según Córdoba & Guerrero (2006), la distribución de las sustancias tóxicas depende de varios factores, entre ellos:

- Propiedades fisicoquímicas del xenobiótico.
- Características de la molécula: liposoluble o hidrosoluble.
- Unión a proteínas plasmáticas.
- Unión a proteínas de tejidos.

Con base en las características enunciadas, los xenobióticos se pueden fijar a proteínas y generar reacciones químicas irreversibles e iniciar un proceso de bioacumulación, por ejemplo, los metales se depositan en hígado, riñón y bazo. Y a largo plazo, cuando sucede en los huesos, los plaguicidas organoclorados y los denominados compuestos orgánicos persistentes (COP) se acumulan en el tejido adiposo y pueden quedar depositados allí por 10 hasta 20 años. El flúor tiende asimismo a acumularse en dientes; en cuanto al arsénico, al mercurio y al talio, estos se depositan en uñas y cabello.

Hay que tener en cuenta que los agentes tóxicos atraviesan las diferentes barreras que tiene el organismo mediante proce-

sos de transporte por difusión, filtración, endocitosis o difusión facilitada. Así, pasan la barrera hematoencefálica por su liposolubilidad y la barrera placentaria en caso de gestantes. Los tóxicos liposolubles entonces atraviesan la barrera placentaria y llegan al torrente sanguíneo fetal derivado de la circulación materna. Este es el caso de gestantes trabajadoras expuestas a plaguicidas organoclorados y herbicidas, entre otras sustancias, que pueden afectar al feto.

Cuarta fase: biotransformación

Pocas sustancias tóxicas son eliminadas del organismo sin sufrir transformación química. La mayoría se eliminan por proceso de transformación donde el objetivo es generar una molécula menos tóxica capaz de eliminarse en particular a través de la orina. Por esto, en esta etapa se producen reacciones químicas denominadas fase 1 y fase 2, que son mediadas por enzimas y en su mayor parte se encuentran en el hígado. Existe otra posibilidad que es desfavorable, pues en el proceso de biotransformación se puede producir una molécula más tóxica y reabsorberse para seguir generando efectos nocivos.

Las reacciones en la fase 1 principalmente son oxidaciones, reducciones e hidrólisis, en las cuales el xenobiótico se convierte en una sustancia más hidrosoluble capaz de eliminarse por orina. Mientras en la fase 2, las reacciones son de conjugación, en las cuales los productos de reacciones de la fase 1 reaccionan con compuestos endógenos para generar productos menos tóxicos mediante ácido glucurónico, péptido o sulfatos, entre otros. Estos metabolitos generados son más hidrosolubles y se podrán eliminar por vía urinaria.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que las reacciones en las fases 1 y 2 suceden particularmente en el hígado, aunque las de fase 2 también pueden ocurrir en el riñón. Existen factores que inciden en la biotransformación de las sustancias tóxicas, entre ellos: edad, sistema enzimático del recién nacido, diferencia del estado de salud del niño con respecto al de un adulto; por ejemplo, un adulto mayor puede tener deterioro en el sistema enzimático, por tanto, se intoxicaría más rápido. Otra circunstancia podría ser un estado de desnutrición o lesiones hepáticas y renales debido a dietas que afectan la forma como

se metabolizan tóxicos y su depuración. Existen asimismo otras causas genéticas que generan deficiencias en algunas enzimas participantes en el metabolismo de los tóxicos. El consumo de medicamentos o la exposición a múltiples sustancias puede inhibir un proceso de biotransformación de un tóxico específico por competencia con la enzima.

Quinta fase: excreción

A pesar de lo que se cree comúnmente, la eliminación de las sustancias tóxicas en el organismo no es exclusiva por vía urinaria; también están las vías de excreción por bilis, aire espirado, sudor, saliva o leche materna. En la eliminación de tóxicos a través de la orina, el riñón desempeña una función fundamental porque lleva a cabo la filtración glomerular, el transporte pasivo y el transporte activo. Dichos factores influyen en la absorción de tóxicos y son los mismos que posibilitan la eliminación, como tamaño de partícula, pH (si es liposoluble) y grado y capacidad de ionización. Además de los componentes propios de la molécula, también hay que tener en cuenta el estado de salud del individuo afectado y observar si sufre una enfermedad renal que impacte en la velocidad y forma de depuración de tóxicos. Por ello, en algunos exámenes ocupacionales es necesario relacionar no sólo la concentración del metabolito excretado, también la concentración de creatinina. Este parámetro, con base en valores de referencia, indica el funcionamiento de los riñones.

Términos clave



- Absorción
- Biotransformación
- Distribución
- Excreción
- Exposición
- Metabolito
- Reacciones de hidrólisis
- Sustancia hidrosoluble
- Sustancia liposoluble
- Toxicocinética



ESTUDIO DE CASO

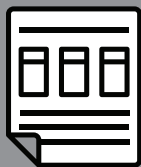
Intoxicación laboral por solventes

Desde hace 15 años, Jorge Matiz, de 53 años de edad, quien trabaja en una fábrica de calzado industrial, realiza las siguientes actividades: limpieza y desengrase de superficies metálicas, vulcanizado de suelas de zapatos, y transvase de pegante de su empaque original de un galón a frascos pequeños de 100 ml.

A partir del año pasado, está siendo tratado por migrañas y refiere un cuadro de mareos aleatorios cada vez más frecuentes, cefalea, malestar general, pérdida de fuerza progresiva en extremidades superiores y alteraciones del humor y sueño. Sin embargo, Jorge mejora su estado de salud en periodos de vacaciones, por eso relaciona sus síntomas con las funciones dentro de la empresa. La sustancia que manipula a diario en un puesto de vulcanizado de suelas es el solvente hexano, el cual es neurotóxico; los elementos de protección que usa regularmente: un overol de tela y tapabocas. El componente principal del pegante que trasvasa es tolueno, un hidrocarburo aromático neurotóxico.

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. En la actividad de trasvasado del pegante a frascos pequeños, ¿qué factores inciden en el aumento de la absorción del tolueno por vía respiratoria, dérmica y ocular?
2. En grupo, hagan una reflexión de la relación entre el estado físico del hexano y la principal vía de ingreso del trabajador.
3. Con base en la reflexión anterior, ¿cuáles elementos de protección se podrían proponer para que el operario manipule hexano y tolueno?



RESUMEN

En este capítulo se expuso el concepto de toxicocinética desde un enfoque práctico que apunta a la ciencia que estudia el movimiento de los xenobióticos desde la exposición hasta la eliminación. Asimismo, se mencionaron las cinco etapas de la toxicología (exposición, absorción, distribución, biotransformación y eliminación) y los factores determinantes en cada una de ellas. El estudio hizo énfasis en la función de las enzimas que desempeñan un papel importante en la biotransformación de los xenobióticos en su mayor parte localizadas en el hígado, y la diferencia en la sintomatología de intoxicación entre dos trabajadores expuestos a la misma sustancia durante el mismo tiempo radica en la genética de cada uno, pues si un organismo no cuenta con un número suficiente de enzimas para realizar el proceso metabólico, o consume medicamentos cuyo metabolismo interfiere en la detoxificación, posiblemente se va a acumular con mayor rapidez el xenobiótico y generar daños a corto o mediano plazo.

Por último, es importante reconocer que las vías de ingreso de los xenobióticos se relacionan con los elementos de protección individual seleccionados y esto, a su vez, impacta directamente en la preservación de la salud del trabajador.



CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es la diferencia entre exposición y dosis?

2. Mencione la fase de la toxicocinética responsable de convertir los xenobióticos en sustancias menos tóxicas para el organismo.

3. Enumere las principales vías de eliminación de los xenobióticos en el ser humano.

4. Mencione tres factores que incidan en la absorción de sustancias tóxicas por la piel.

5. Responda falso o verdadero:

- La toxicocinética es el estudio del movimiento de las sustancias a través del organismo. _____

Justificación _____

- El cuero cabelludo es una vía de ingreso de las sustancias tóxicas.

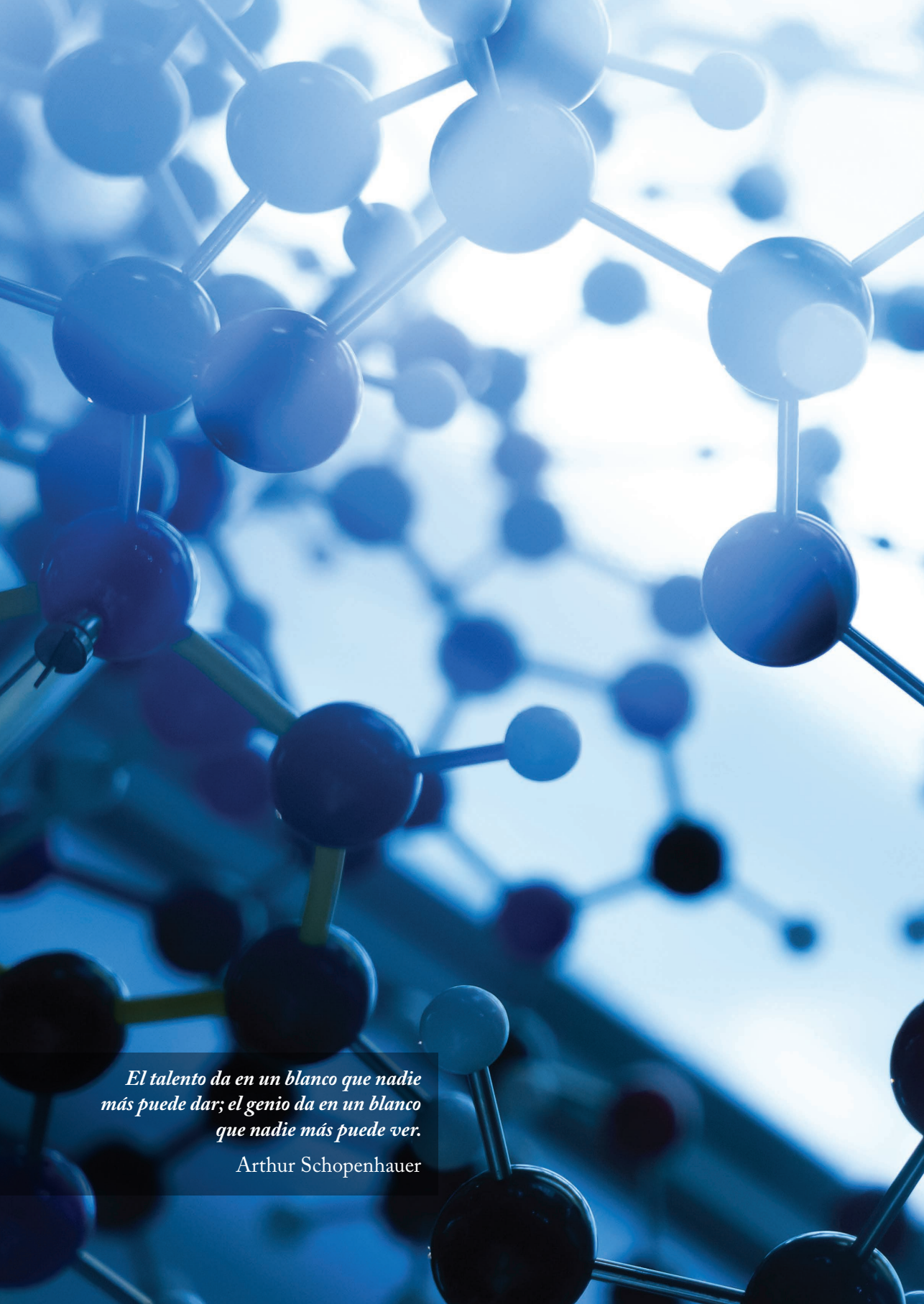
Justificación _____

- La vía inhalatoria tiene mayor velocidad de absorción de xenobióticos con respecto a la vía oral. _____

Justificación _____.

Referencias

- ATSDR (2018). *Curso de toxicología para comunidades*. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/2/es_lecturenotes.html
- Casarette, & Doull's (2008). *Toxicology. The basic science of poisons*. USA: McGraw-Hill.
- Centro informativo científico de Andalucía. (2019) Leyes de Newton. Recuperado de: <https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd98/Fisica/02/leyes.html>
- Córdoba, D. & Galeano, J.M. (2006). *Toxicología* (5 ed.). (D. Córdoba, Ed.) Bogotá: Manual Moderno.
- Hoffman, R. et. ál. (2006). *Goldfrank's Toxicologic Emergencies*. New York: McGraw-Hill.



*El talento da en un blanco que nadie
más puede dar; el genio da en un blanco
que nadie más puede ver.*

Arthur Schopenhauer



CAPÍTULO 6

Toxicodinamia

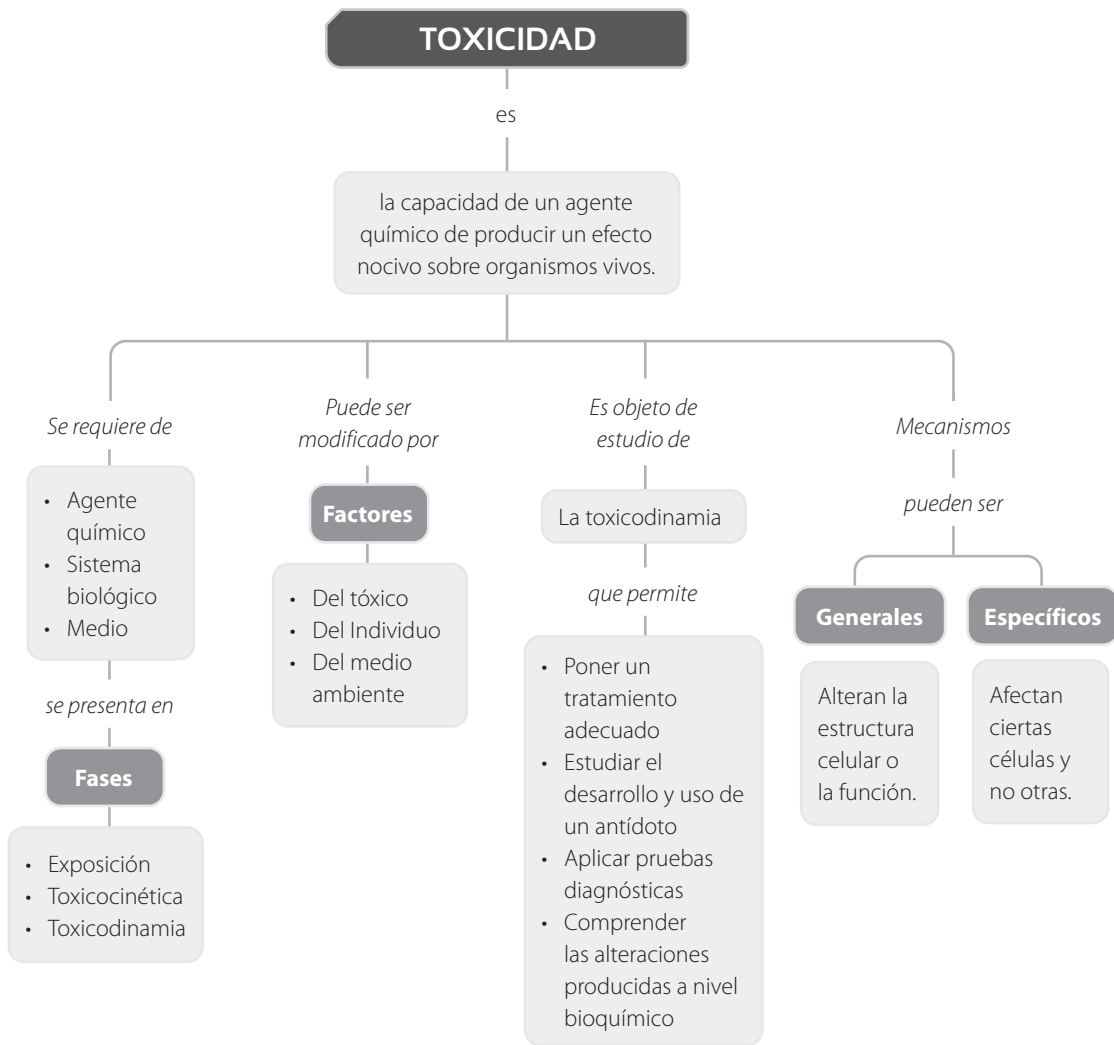
Diana Carolina Chaves Silva

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Reconocer el concepto de toxicodinamia.
- Conocer y comprender los mecanismos generales de daño tóxico en seres vivos.
- Conocer y comprender los mecanismos específicos de daño tóxico en el organismo humano.
- Explorar los factores que inciden en la respuesta tóxica.

Figura 6-1 Mapa conceptual sobre mecanismos generales y específicos de la toxicodinamia



Introducción

Cada día la población está expuesta a un número creciente de sustancias químicas presentes en el hogar, en lugares de trabajo y en el mismo ambiente. A pesar de la constante exposición a estas sustancias en el mundo, hasta hace pocas décadas se ha dado mayor importancia al impacto sobre la salud, debido a intoxicaciones por sustancias químicas.

En realidad, las intoxicaciones por sustancias químicas representan un evento de interés para la salud pública porque son causa de discapacidad importante y generan deserción en diversos espacios y, con ello, pérdidas económicas. De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud (INS, 2018), en los países constituye una prioridad promover mejores métodos para recolección de datos relacionados con intoxicaciones agudas y crónicas por sustancias químicas; y al conocer el panorama de intoxicaciones en determinado escenario, lo aconsejable en el siguiente paso es contar con personal capacitado en toxicología para realizar campañas eficaces de capacitación, de tal manera que haya una mejor comprensión de los casos de enfermedades laborales y accidentes relacionados con sustancias tóxicas.

Las intoxicaciones crónicas son difíciles de detectar; sin embargo, en Colombia contamos con el Decreto 1477 de 2014 (Ministerio de Trabajo de Colombia, 2014), mediante el cual se dan a conocer y se expide la tabla de enfermedades laborales, donde se puede observar que existen varios grupos de sustancias químicas reconocidos que producen determinadas enfermedades según la labor desempeñada; aunque para aquellas sustancias tóxicas que no estén allí consignadas no es fácil reconocer los efectos a largo plazo, los cuales generalmente no son visibles y se confunden con alergias o gripe.

Al reconocer que las sustancias tóxicas tienen un mecanismo de daño y que algunas de ellas tienen un órgano o sistema blanco que afecta y puede resultar en una enfermedad laboral, los lectores tendrán la herramienta para tener presente que la toxicología no se refiere únicamente a eventos agudos y que no todos los efectos tóxicos son visibles e incapacitantes. Gracias al trabajo en equipo, conformado por diferentes profesionales afines a la seguridad y salud en el trabajo con nociones de toxicología, constituye un desafío para América Latina al plantear

y esclarecer casos de intoxicación laboral y trazar rutas para encontrar posibles soluciones.

El conocimiento del posible daño ocasionado a órganos o sistemas diana que pueden dar lugar a enfermedades laborales, dependiendo de varios factores, es clave para el trabajo en prevención y capacitación. Teniendo presente esto, se invita a los lectores a abordar el tema aplicando los conocimientos adquiridos en los anteriores capítulos y trabajar en equipo para una comprensión integral de las intoxicaciones. Fundamentalmente, de esto se trata este capítulo que integra componentes relacionados con mecanismos generales y específicos, junto con los factores que constituyen daños tóxicos y respuestas; temáticas que se irán desarrollando en detalle a lo largo de los diferentes apartados de este capítulo.

Toxicidad

Tal como se mencionó en los capítulos 1 y 2, Paracelso (1843-1541) fue el primero en utilizar el concepto de *dosis* con sentido cuantitativo, planteado en uno de los más importantes pensamientos toxicológicos de todos los tiempos: *dosis sola facit venenum*.

En nuestros días escuchamos noticias y estamos ante una realidad de intoxicaciones en todos los medios y en muchas clases de población que hacen presente la posibilidad que una sustancia pueda generar un cuadro de intoxicación en dependencia de la dosis, inminente asimismo en cualquier momento, y una sustancia considerada inocua pueda convertirse en tóxica dependiendo de su dosis.

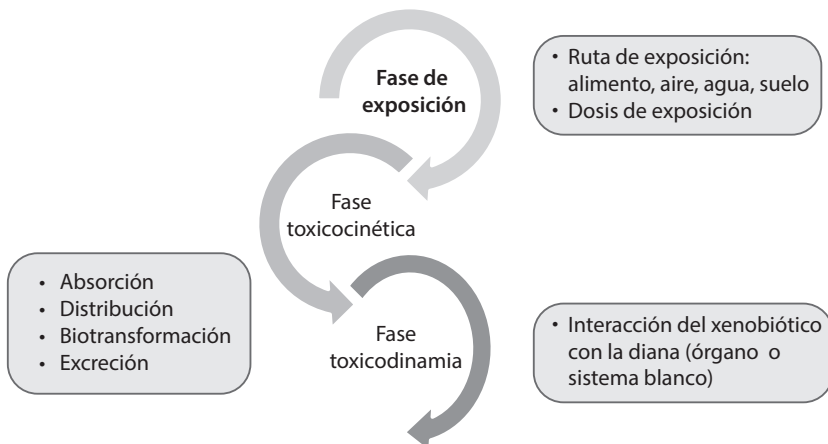
La toxicidad evidentemente es la capacidad inherente a un agente químico de producir un efecto nocivo sobre los organismos vivos. Para que suceda se requiere la interacción de tres componentes: agente químico, sistema biológico y medio.

Fases de la acción tóxica

De acuerdo con Córdoba & Guerrero Salcedo (2006), las fases de la acción tóxica son tres: exposición, toxicocinética y toxicodinamia, especificando que esta última consiste en la inte-

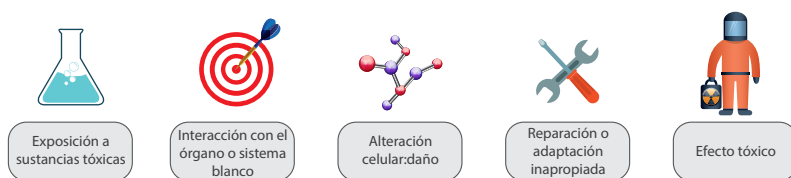
racción del tóxico con el receptor del tejido blanco. Como se observa en la figura 6.2, el efecto se produce una vez el xenobiótico ha interactuado con el blanco.

Figura 6.2 Fases de la acción tóxica



El organismo tiene un mecanismo de defensa que consiste en la reparación y adaptación; sin embargo, cuando la cantidad de sustancia tóxica ha superado la capacidad de reparación, se produce el efecto tóxico. Esto se ilustra en la figura 6.3.

Figura 6.3 Etapas del desarrollo de la toxicidad después de la exposición a una sustancia química



Factores que modifican la toxicidad

Existen factores dependientes que pueden modificar la respuesta tóxica, a saber: del tóxico, del individuo y del medio ambiente.

- **Factores que dependen del tóxico:** se refieren a la composición del agente químico, propiedades físico-químicas, dosis y concentración, rutas de administración, metabolismo del agente tóxico. Asimismo, se caracterizan por lo siguiente:

- Cambios pequeños en la estructura que pueden verse acompañados de modificaciones importantes en la toxicidad.
- Las características estructurales de los xenobióticos como epóxidos y presencia de radicales libres, etc. aumentan la reactividad y la posibilidad de reacción tóxica. Los organismos tienen defensas para manejar e intentar deshacerse de la agresión química.
- **Factores que dependen del individuo:** se refieren al estado de salud, edad y madurez, estado nutricional y factores dietéticos, género y genética.
- **Factores que dependen del medio ambiente:** temperatura, presión atmosférica, actividad lumínica, ocupación, entre otros.

Cada uno de estos factores puede modificar en gran medida la toxicidad del compuesto y, por tanto, el efecto que produce. En conclusión, es importante tener en cuenta que la toxicidad de un compuesto químico no puede considerarse una cifra definida y que el resultado esperado va a ser siempre igual, pues este puede verse modificado por la influencia de cualquier factor de los anteriormente descritos; por ejemplo, no se presenta la misma respuesta tóxica ante la exposición a gases lacrimógenos de un niño a la de un adulto, pues el sistema de defensa de un menor se agota rápidamente y se intoxica más rápido.

Definición de toxicodinamia

La *toxicodinamia* es la ciencia que estudia la forma como interactúan los xenobióticos para ejercer efectos tóxicos sobre los organismos vivos. Cuando las defensas de la célula o del organismo se agotan, entonces se produce el efecto tóxico.

Aplicaciones de la toxicodinamia

A pesar de que el concepto de la toxicodinamia casi no se menciona en la salud y seguridad en el trabajo, presenta una gran ventaja para quienes estudian los mecanismos mediante los cuales una sustancia produce un efecto tóxico, ya que posibilita en el campo de la medicina, proponer un tratamiento adecuado

en casos de intoxicación, en caso de la química farmacéutica ayuda a estudiar el desarrollo y uso de un antídoto, en caso de la química analítica y los profesionales en seguridad y salud en el trabajo, aplicar pruebas diagnósticas y comprender las alteraciones producidas a nivel bioquímico. A todas las profesiones en general, el estudio de la toxicodinamia de las sustancias químicas permite aplicar pruebas para la evaluación de la exposición y establecer límites permisibles de exposición.

Mecanismos generales y específicos de toxicidad

Los tóxicos pueden ejercer su acción de dos formas; general y específica. Los mecanismos *generales* consisten en que los xenobióticos alteran la estructura celular o la función; por ejemplo, los ácidos y álcalis que originan una destrucción tisular intensa por un mecanismo de necrosis. Mientras que los *específicos* se refieren a la capacidad de un tóxico a determinadas concentraciones para afectar ciertas células y no otras; por ejemplo, por factores de translocación, el plaguicida “paraquat” es altamente tóxico para el pulmón debido a que se acumula específicamente en este órgano al utilizar transportadores específicos de poliaminas endógenas existentes en el mismo.

A continuación, se presenta la forma en que ocurre cada uno de estos mecanismos generales y específicos:

Mecanismos generales de toxicidad

La alteración de la estructura celular ocurre de tres formas; destrucción celular total, alteración de la membrana y alteración de órganos subcelulares como el retículo endoplasmático, las mitocondrias, ribosomas y lisosomas.

La alteración de la función celular puede suceder por modificación de la actividad enzimática (saturación, inhibición e inducción), interacción con receptores endógenos, reducción de complejos protectores, desacoplamiento de proteínas transportadoras, trastorno de los procesos regulatorios de membrana (bombas iónicas, transporte activo y fosforilación oxidativa), modificación de la reproducción celular (genotoxicidad, mutagenesis, teratogénesis y carcinogénesis).

Mecanismos específicos de toxicidad

Dependiendo principalmente de la vía de exposición, los xenobióticos pueden afectar negativamente la función y la estructura de las células. La caracterización cualitativa y cuantitativa de estos efectos nocivos o tóxicos es esencial para la evaluación del peligro que representa una sustancia en particular. También es importante para comprender los mecanismos responsables de la manifestación de toxicidad, es decir, cómo un tóxico ingresa en un organismo, de qué manera interactúa con moléculas diana y cómo el organismo repara el daño.

Para conocer los mecanismos específicos de toxicidad es necesario revisar pasos previos como la distribución, para luego examinar la reacción del xenobiótico con el órgano o sistema diana. Estos pasos se describen en los siguientes apartados:

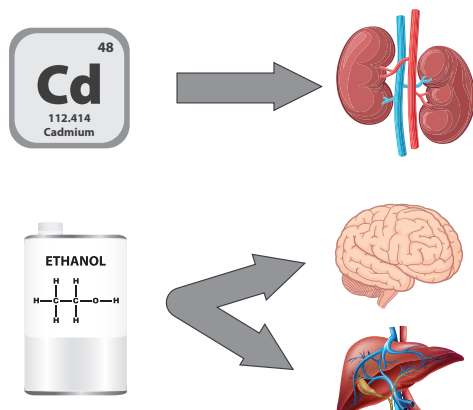
Paso 1. "Distribución": del sitio de exposición al órgano diana

La distribución de los xenobióticos desde su exposición, absorción hasta el órgano diana, dependen del paso a través de membranas y para traspasarlas depende de las características propias de la molécula, es decir, es necesario saber si es lipofílica o hidrofílica.

- *Compuestos liposolubles*: se mueven por difusión rápidamente debido a que la membrana está compuesta en su mayoría por fosfolípidos. Compuestos ionizados e hidrofílicos (por ejemplo, sustancias solubles en agua) son restringidos al espacio extracelular hasta que sistemas menos especializados los transportan.

En figura 6.4 se presentan algunos ejemplos comunes de la forma de distribución, i.e. de la exposición al órgano diana.

Figura 6.4 Ejemplos de órganos diana afectados por sustancias tóxicas



Paso 2. "Reacción del xenobiótico" con la molécula diana

Cuando el xenobiótico se distribuye y transporta hasta los órganos diana pueden ocurrir diferentes reacciones en la "diana", dependiendo de las características de las moléculas, que pueden ser:

- Enlace no covalente.
- Enlace covalente.
- Puentes hidrógeno.
- Transferencia de electrones.
- Reacciones enzimáticas.

Al ocurrir la reacción química sucede el efecto tóxico, que puede constituir una:

- Disfunción de la molécula diana.
- Destrucción de la molécula diana.
- Formación de un neoantígeno.

Paso 3. "Disfunción celular" y toxicidad resultante

Después de que el xenobiótico se ha distribuido y ha llegado a la diana que puede ser una célula, se presenta el paso 2 que es la reacción ante el blanco, para luego ocurrir la toxicidad resultante, que puede ser:

- Anormalidad metabólica en la célula inducida por tóxicos: cambios en la expresión genética y en la actividad celular.
- Alteración del mantenimiento celular por tóxicos: alteración en el mantenimiento interno de la célula, mecanismos de muerte celular y alteración de mantenimiento externo de la célula.

Paso 4. "Reparación" y adaptación inapropiada

Por lo general, el ser humano cuenta con mecanismos normales de reparación y adaptación, a saber:

- Mecanismos de reparación: molecular, celular y de tejidos
- Mecanismos de adaptación:
 - Por la disminución en la distribución al blanco.
 - Por disminución de la densidad del blanco.
 - Por aumento en la reparación.
 - Por compensación de la disfunción.

Asimismo, cuando fallan la reparación y la adaptación, ocurre la toxicidad que se manifiesta como necrosis del tejido, fibrosis y carcinogénesis. Por ejemplo, la exposición a etanol tiene un efecto bifásico; inicialmente aumenta la fluidez, pero de forma crónica produce cambios en la saturación de los fosfolípidos con un aumento en la rigidez. Dicho efecto también se aprecia a nivel de las mitocondrias.

Términos clave



- | | |
|----------------------|-----------------------|
| • Adaptación | • Genotoxicidad |
| • Carcinogénesis | • Mecanismo de acción |
| • Diana | • Mutagénesis |
| • Disfunción celular | • Reparación |
| • Distribución | • Toxicodinamia |



ESTUDIO DE CASO

Intoxicación laboral por corrosivos

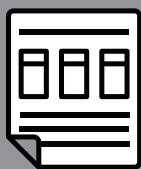
En la fábrica de vidriería de laboratorio Scotland MV, se produce vidrio con partes esmeriladas y marcado según su uso. En el área de depósito de sustancias químicas, se encuentra laborando el señor Andrés Osorio, de 33 años de edad, quien realiza actividades de almacenamiento, organización inventario, trasvase y disposición final de las sustancias químicas empleadas en la fábrica. Los elementos de protección que emplea son guantes de látex, overol de dril, botas de caucho y tapabocas.

Cierto día estaba organizando y rotulando los envases de ácido fluorhídrico con concentración de 70 % y encontró un frasco con la tapa rota, procedió entonces a trasvasarlo en el mismo lugar de almacenamiento. Al finalizar esta operación, el frasco se le soltó de las manos derramándose el producto en sus brazos y salpicando cara y ojos.

Fue llevado de inmediato al servicio de urgencias donde le diagnosticaron quemaduras de tercer grado con ácido fluorhídrico en su brazo izquierdo, ambas manos, tórax, cara y ojo izquierdo. Al final, por necrosis, se le realizó amputación de dos falanges de la mano izquierda.

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. Haga una reflexión acerca del efecto tóxico derivado de exposición a ácido fluorhídrico.
2. En grupos de trabajo realicen una consulta en almacenes distribuidores de elementos de seguridad industrial y en la hoja de seguridad del ácido fluorhídrico. ¿Cuáles son los elementos de protección adecuados para la manipulación de ácido fluorhídrico?
3. De acuerdo con el tipo de daño que produce la exposición al ácido fluorhídrico, ¿qué recomendaciones daría a un trabajador que manipula ácido fluorhídrico?



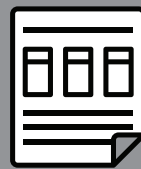
RESUMEN

Este capítulo se concentró en la toxicodinamia referida como ciencia que estudia la manera como interactúan los xenobióticos al ejercer efectos tóxicos sobre organismos vivos. Cuando se agotan las defensas de la célula o del organismo, se produce el efecto tóxico. Para abordarlo, inicialmente se mencionó la definición de toxicidad, concepto trabajado en capítulos anteriores, que resulta fundamental para comprender los efectos de los mecanismos de acción de los xenobióticos.

Luego se mencionaron las fases de acción tóxica para que el lector integre los conceptos de exposición, toxicocinética y toxicodinamia como un todo que ocurre en el mismo organismo, y no de forma aislada. Posteriormente, se establecieron los factores que afectan la toxicidad, por ejemplo, la estructura química como factor dependiente del tóxico; la edad del individuo como factor dependiente del individuo; y la temperatura, la humedad y la presión como factores que dependen del medio ambiente. Estos factores pueden modificar la toxicidad de un xenobiótico y el efecto que produce. Asimismo, se explicó que una de las aplicaciones del estudio de la toxicodinamia de los xenobióticos apunta a comprender las alteraciones producidas a nivel bioquímico y estudiar el desarrollo de un antídoto para tratar una intoxicación.

Por otra parte, se estableció la diferencia entre mecanismos específicos y generales de toxicidad, entre los cuales los primeros ejercen daño en la estructura y función celular, como por ejemplo la quemadura producida por salpicadura con ácidos o álcalis. Con respecto a los segundos, se mencionó que van desde la distribución del xenobiótico al órgano diana, una reacción química con la diana que genera disfunción celular y toxicidad resultante, aunque cada organismo cuenta con un sistema de defensa que corresponde a mecanismos de reparación y adaptación, los cuales al ser saturados pueden generar efectos tóxicos como, por ejemplo, necrosis de tejidos, fibrosis y carcinogénesis.

Por último, es importante tener en cuenta que la aplicación de toxicodinamia de las sustancias permite comprender la toxicidad crónica de un xenobiótico; por ello, es necesario tener claridad en el campo de la seguridad y la salud en el trabajo para comprender el desarrollo de enfermedades de origen laboral.



RESUMEN



CUESTIONARIO

Marque verdadero o falso, según el caso. Justifique sus respuestas.

1. El caso referenciado corresponde a una intoxicación crónica. _____
Justificación _____
2. La exposición de la sustancia tóxica fue por manipulación inadecuada. _____
Justificación _____
3. El trabajador contaba con los elementos de protección recomendados según su actividad. _____
Justificación _____
4. El mecanismo de daño general altera la estructura y la función de la célula ____
Justificación _____
5. Los mecanismos específicos de toxicidad se dan en cuatro pasos ____
Justificación _____

Referencias

- Córdoba, D. y Galeano, J.M. (2006). *Toxicología* (5ª. Ed.) (Córdoba, Ed.) Bogotá: Manual Moderno.
- INS (13 de octubre de 2018). Recuperado de chrome-extension://oemm-ndcblldboiebfnladdacbfmadadm/https://www.ins.gov.co/busca-dor-eventos/Informesdeevento/INTOXICACIONES%202017.pdf
- López de Santamaría Pilar. (2019). El mundo como voluntad y representación. Recuperado de: <http://www.juango.es/files/Arthur-Schopenhauer---El-mundo-como-voluntad-y-representacion.pdf>
- Ministerio de Trabajo de Colombia (2014). *Decreto 1477 de 2014. Tabla de enfermedades laborales*. Recuperado de www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/36482/decreto_1477_del_5_de_agosto_de_2014.pdf/b526be63-28ee-8a0d-9014-8b5d7b299500



*De los mineros habla Lucrecio
cuando dice: “¿No has visto u oído
cómo suelen morir en poco tiempo
y cuán breve es su vida?”*

Bernardino Ramazzini



CAPÍTULO 7

Toxicología regulatoria

Javier Enrique Cortés Amórtegui

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Describir los aspectos relacionados con el campo de la toxicología reglamentaria o regulatoria y sus aplicaciones.
- Comprender las funciones y responsabilidades de las agencias encargadas de regular o reglamentar la toxicología en América Latina.
- Identificar posibles fuentes de información regulatoria a nivel nacional e internacional en el campo de la toxicología.
- Reconocer las principales regulaciones o normas de la toxicología.

Figura 7-1 Mapa conceptual sobre desarrollos de la toxicología regulatoria



Introducción

En la actualidad, la toxicología desempeña un papel fundamental en las políticas regulatorias de la legislación de cada país. En donde se construyen procesos de prevención y control de accidentes, enfermedades y muerte ocupacional, las medidas tomadas se basan en estudios de casos del antes, durante y después de los tipos de exposición humana en los cuales se generan datos sobre el riesgo que corren los trabajadores en las jornadas laborales. Los modelos de estudios toxicológicos corresponden a reproducciones controladas en el laboratorio de los accidentes sucedidos en campo, que también producen información epidemiológica del riesgo; es decir, el conocimiento exacto de la dosis, la respuesta a los diferentes tóxicos, los efectos adversos de las sustancias en el ser humano y la cuantificación de la exposición versus efecto, y esto solo se logra en condiciones experimentales en el laboratorio.

La toxicología es una ciencia contemporánea que proporciona diversas normativas legales, relacionadas con dosis de administración de medicamentos, límites permitidos de contaminantes en el medio, niveles de xenobióticos o metabolitos en los puestos de trabajo, procedimientos para clasificar agentes tóxicos, estudios requeridos para mercadeo de algunos productos, disposiciones finales de algunas sustancias, procedimientos para el uso de plaguicidas, regulación para aplicación de cosméticos, producción de productos domésticos y manipulación de productos alimenticios, entre otras (Díaz, A. 2017).

En conclusión, la toxicología regulatoria estudia y evalúa los riesgos toxicológicos a los cuales se ven expuestos los seres humanos donde se tienen en cuenta datos epidemiológicos, exposición a un agente tóxico, la probabilidad de efectos adversos o condiciones peligrosas asociadas a agentes tóxicos (CONPES 3868, 2016).

Conceptos generales

El número de sustancias químicas, agentes físicos, productos biológicos y subproductos biológicos que pueden afectar el ser humano y se comercializan mundialmente, es tan grande

que solo se regulan alrededor de 1%; por ejemplo, en Europa del número de sustancias conocidas y registradas en el *Inventario europeo de sustancias químicas*, del cual se conocen efectos en seres vivos es solo 25%, aunque es importante tener en cuenta que los datos son limitados. El Chemical Abstracts Ser vice de 2016 reportó que el número aproximado de sustancias que se pueden comercializar es de 115 millones, que también presentan el mismo problema descrito anteriormente, ya que solo 1,5 millones de ellas están reguladas e inventariadas. Para el 3 de enero de 2011, la Unión Europea en el Registro del Reglamento REACH reportó que en la región el número de sustancias químicas peligrosas había llegado a 100.000, todas ellas con desconocimiento parcial de sus acciones en los seres vivos. En México, el Inventario Nacional de Sustancias Químicas en 2009 llegó a relacionar un total de 5852 en el comercio. En la actualidad, los seres humanos y el medio ambiente están expuestos constantemente a sustancias químicas tóxicas, y ahora este problema se considera una complicación pública, pues muchos de los productos utilizados en el tratamiento de la salud terminan engrosando el número de sustancias peligrosas. En las regiones industrializadas, el nacimiento de nuevos tóxicos está acompañado del aumento de enfermedades relacionadas con estos, de las cuales se puede asegurar que el cáncer es una de las más frecuentes, así como el asma, las enfermedades congénitas, las discapacidades morfofisiológicas y la infertilidad, entre otras (Organización Mundial de la Salud 2006).

Las sustancias tóxicas, en general, representan un riesgo para las personas y el entorno donde se encuentren, aunque existen sustancias que por uso y naturaleza constituyan un peligro más evidente para quien las manipula, llamadas sustancias peligrosas; se trata de elementos químicos, compuestos o mezclas y aquellas que representan también riesgo físico. La peligrosidad depende asimismo de las propiedades fisicoquímicas del agente tóxico, entre ellas por ser inflamables, explosivas, tener descomposiciones violentas en presencia de calor, oxígeno, agua u otros factores externos. Las características que hacen una sustancia tóxica peligrosa son:

- Carcinogenicidad.
- Corrosividad.

- Explosividad.
- Inflamabilidad.
- Irritabilidad.
- Mutagenicidad.
- Nocividad para el medio ambiente.
- Asfixiante.
- Radiactividad.
- Reactividad violenta.
- Sensibilizante.
- Teratogenicidad.
- Toxicidad.

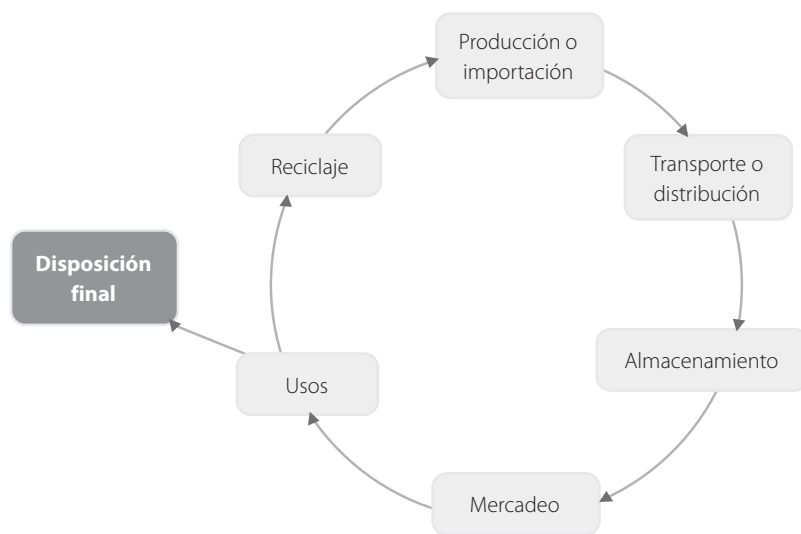
De la misma manera, la exposición a los agentes tóxicos evidencia riesgos, que –sin duda– dependen de la cantidad de sustancia liberada en el entorno, bien sea por actividades humanas, tiempo o frecuencia de exposición y concentración a la misma. En el medio ambiente, las sustancias liberadas toman diferentes caminos: emisiones al aire, derrames en aguas, contaminación de suelos, contaminación de alimentos y afectación general de recursos naturales, que terminan intoxicando los seres vivos, ya que los agentes se mueven por los niveles de las redes tróficas, y terminan en el último nivel de la cadena alimentaria, en el ser humano (por magnificación biológica y bioacumulación) (Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, 2005).

En virtud de lo anterior, en el sector laboral 5% de intoxicaciones terminan en enfermedad laboral. El número de casos por intoxicación aun es desconocido, cuyo índice de accidentalidad depende en gran medida del manejo de sustancias peligrosas, bien sea por desconocimiento de sus peligros, riesgos asociados, incumplimiento de normas regulatorias de protección y control o por manipulación por personal no capacitado.

Para disminuir los riesgos que conlleva la manipulación de productos peligrosos, cada nación trabaja en la “Gestión integral de sustancias químicas”, a partir de una regulación toxicológica mediante procedimientos de expedición de normas, creación de instituciones que promuevan la gestión integral y políticas públicas en las fases de manejo de sustancias: importación o

producción, transporte o distribución, almacenamiento, mercadeo y disposición final o reciclaje de la sustancia, para controlar y prevenir el riesgo que estas puedan ocasionar. En la figura 7.2 se observan las etapas del ciclo de vida de las sustancias químicas para tener en cuenta en el desarrollo de este capítulo.

Figura 7.2 Etapas del ciclo de vida de las sustancias químicas



A nivel mundial, el SAICM (Enfoque Estratégico para la Gestión Internacional de Productos Químicos), por su acrónimo original (Strategic Approach to International Chemicals Management), desde 1972 desarrolla procesos encaminados hacia estrategias de gestión de sustancias químicas. En 2005, los ministros de Salud y Ambiente de América, reunidos en Mar del Plata, plantearon principios para la regulación del manejo seguro de sustancias tóxicas. En 2012, en Río de Janeiro en la conferencia de la Organización de Naciones Unidas se firmó el Principio 1010, donde se sugeriría la participación de los ciudadanos en conversaciones de orden ambiental y se planeó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, 2005). Históricamente se han desarrollado trabajos importantes; entre otros:

- En 1982, la Unión Europea tomó a su cargo la prevención de accidentes a partir de las sustancias químicas, con la primera versión de la Directiva Seveso.
- En 1992 se publica “Manejo de seguridad de procesos”.

- En 1998 produce el “Plan de manejo de riesgos”, todos aplicados también a Estados Unidos para minimizar las acciones derivadas de riesgos tóxicos.
- Colombia ha apropiado varios de estos instrumentos tendientes a la prevención y control de sustancias tóxicas, así como las delimitaciones propuestas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en relación con la preparación, prevención y respuesta a accidentes químicos.
- Los Convenios 170 y 174 con las Recomendaciones 177 y 181, respectivamente, de la Organización Internacional del Trabajo (OIT).
- El Protocolo de Montreal de la Convención de Viena para el cuidado de la capa de ozono, el Convenio de Estocolmo donde se describen los Compuestos Orgánicos Persistentes (COP), tales como contaminantes ambientales.
- El Protocolo de Kioto de las Naciones Unidas, donde se hace llamado de alerta al calentamiento global.
- El Acuerdo de París que inicia su regulación en 2020 (García, *et. ál.*, 2016), en relación con algunas disposiciones para disminuir el cambio climático.
- El Convenio de Rotterdam donde se normatiza el uso de algunos plaguicidas y sustancias químicas.
- El Convenio de Basilea sobre transporte fronterizo de algunos desechos químicos.
- El Convenio de Minamata, en el cual se hacen acuerdos sobre el uso del mercurio (CONPES 3868, 2016) (Climate Action Reserve. 2015).

La identificación y clasificación de las sustancias químicas tóxicas se realiza a partir de lo que se conoce de la sustancia, en donde intervienen ensayos sobre sus propiedades fisicoquímicas para colocarlas en categorías de peligro; por ejemplo, la posibilidad de ser explosiva o comburente, se cataloga por la capacidad de reacción de la sustancia para producir una respuesta exotérmica a estímulos de fricción, choque o exposición a una fuente de ignición. La clasificación de un producto, según su toxicidad, depende de los valores de esta frente a la *dosis letal media* (DL50),

que corresponde a la cantidad determinada de la sustancia problema que provoca la muerte de 50% de los animales vertebrados utilizados en el ensayo y a la *concentración letal media* (CL50), que es la cantidad determinada de una sustancia problema disuelta en el aire, que mata por inhalación a 50% de los animales del ensayo en un tiempo determinado (habitualmente cuatro horas). Asimismo, la característica de corrosividad se establece cuando el producto destruye tejidos humanos en un tiempo determinado, como los productos básicos o alcalinos a un pH mayor de 11,5 o ácidos a un pH igual o inferior a 2. La característica de irritabilidad a la piel o mucosas es cuando la sustancia produce eritemas, ampollas, escaras o edemas por exposición a más de cuatro horas y con resultados que permanecen hasta 24 horas; en los ojos también se considera que puede existir irritabilidad por sustancias, pues se presenta opacidad en la córnea, enrojecimiento de la superficie del ojo, heridas en el iris e hinchazón en la conjuntiva; la irritabilidad de las vías aéreas se presenta con ardor, resequedad y malestar al respirar o tragar.

La sensibilidad que pueden causar las sustancias químicas, también llamada *sensibilidad química múltiple* (SQM), o *intolerancia ambiental idiopática* (IAI), es un síndrome de características crónicas por los tiempos de exposición prolongados a bajas dosis, habitualmente se producen por etiologías desconocidas y variadas a productos químicos ambientales o alimentos. Existen otros efectos que dependen de las causas que los producen, entre otros efectos teratogénicos, mutagénicos, carcinogénicos o impactos sobre la reproducción. La aparición de estos es probabilística o aleatoria. Estos se pueden clasificar, en:

- Cuando se tienen evidencias de la exposición (causa) y el efecto que pueda causar.
- Cuando existen pruebas o causas suficientes en especies animales para sospechar un riesgo frente a la exposición.
- Cuando las evidencias o pruebas no son suficientes para argumentar un efecto nocivo, pero su exposición es preocupante.

Por último, y no menos importante, se encuentran las consideraciones frente a los efectos en el medio ambiente. En el medio acuático, por ejemplo, se tiene especial atención a la contaminación de sustancias tóxicas en las redes tróficas que inician

en cualquier parte de estas, como peces, algas y productos que el hombre usa de estos estuarios y que terminan en bioconcentración y biomagnificación. Este mismo comportamiento se presenta en la litosfera y en la atmósfera, con los seres vivos que hacen parte de redes tróficas o con aquellos que pueden diseminar la contaminación y producir problemas a largo plazo.

Del mismo modo, la identificación y la clasificación de los agentes tóxicos, permite hacer su regulación desde las normativas para controlar, prevenir los peligros, controlar el ciclo de las sustancias químicas, es decir, su producción, exportación, importación, transporte, distribución, almacenamiento, comercialización, disposiciones finales, reciclaje, identificación de riesgos, peligros, evaluación, planes de emergencia, estudio de incidentes y accidentes.

Agencias responsables y disposiciones sobre regulación de agentes tóxicos

En los últimos diez años, la situación mundial frente a la contaminación ambiental se ha modificado notablemente, ya que el número de sustancias químicas sintéticas se ha duplicado y las cantidades de estas sobrepasan los 500 millones de toneladas al año. Esta situación ha provocado intranquilidad en la comunidad internacional, ya que se conocen pocos efectos que puedan causar en la salud humana y, en general, en el medio ambiente; por esta razón, se han venido construyendo regulaciones y generado espacios internacionales de discusión tendientes a la intervención, el control y la prevención de los riesgos químicos. De esta manera, se han diseñado estándares globales para preservar la salud de los productores, consumidores y del medio ambiente, con el fin de garantizar los protocolos de circulación de estas sustancias. Desde la Unión Europea y, en general, desde la comunidad internacional se plantean los siguientes espacios para la intervención del riesgo tóxico.

Enfoque Estratégico para la Gestión Internacional de Productos Químicos (SAICM)

Esta entidad nació en 1972 en Estocolmo para llevar a cabo la “Gestión ecológicamente racional de productos químicos tóxicos”, donde también se desarrollaron regulaciones hacia la

“Prevención del tráfico internacional ilícito de productos tóxicos peligrosos”. Su enfoque constituye un conjunto de políticas para regular a nivel internacional la gestión racional de sustancias, competencia de la conferencia enunciada, cuya meta en 2020 consiste en minimizar el impacto a la salud humana y al medio ambiente. Esta perspectiva incentiva a los gobiernos que tengan una legislación para la gestión de los productos químicos, un sistema de recolección y análisis de la información, una preparación para la evaluación de riesgos, unas políticas para la gestión de riesgos, el desarrollo de estrategias para el control de riesgos e implementación de estrategias para la formación constante en la gestión de riesgos tóxicos.

Organización Internacional del Trabajo (OIT)

La OIT, como miembro activo en el impulso de este enfoque, trabaja con los países en desarrollo y con economías en transición en la implementación de estrategias para la gestión de productos químicos. Esta organización proporciona apoyo a gobiernos, empleadores y trabajadores para que introduzcan el programa de gestión racional de productos químicos en el trabajo y evitar su impacto en el medio ambiente. Una de las herramientas propuestas es el sistema globalmente armonizado que tuvo influencia de los sistemas de Europa, Estados Unidos y Canadá para utilizar en el transporte de productos tóxicos. Uno de los puntos que el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) garantiza es que los productores de sustancias químicas acompañen sus mercancías con la información requerida.

Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias y Preparados Químicos (REACH)

Esta entidad se originó en la Unión Europea y ha hecho grandes aportes a la regulación o normalización de los productos químicos; funciona como un estatuto de la Unión Europea que controla las sustancias químicas en todo su ciclo de vida; asimismo, es coordinada por la Agencia Europea de Sustancias y Productos Químicos (ECHA, por su sigla original *European Chemicals Agency*), cuyos objetivos son:

- Aplicar los requisitos del SGA en la clasificación y etiquetado.

- Protección de la salud humana y del medio ambiente.
- Concienciar a los productores del riesgo químico.
- Acompañar la libre movilidad de sustancias químicas en la UE.
- Análisis continuo de propiedades químicas peligrosas.
- Normatización de sustancias con restricción.
- Evaluación y autorización de nuevos productos.

La Agencia Europea facilita la inclusión de nuevos productos clasificados, etiquetados y con descripción de utilidad; por ejemplo, el Servicio de Abstractos Químicos (CAS), que asigna números a los registros de sustancias, los cuales son universalmente reconocibles. Actualmente aparecen registradas 75 millones de sustancias en el CAS (Huici, 1999).

Reglamento sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado de Sustancias y Mezclas (CLP)

La primera versión de esta disposición fue en 2008 con el Reglamento (CE) del Consejo y Parlamento Europeo; luego en 2009 surgió el CLP (por su sigla original, *Classification, Labeling and Packaging*). En este se organiza la legislación de CE con el SGA de las Naciones Unidas para lograr el cubrimiento a nivel internacional, cuyos objetivos son:

- Describir si un elemento o compuesto es una sustancia peligrosa.
- Informar los potenciales peligros a los usuarios de determinada sustancia.
- Describir los peligros descubiertos en el etiquetado.
- Reglamentar el envasado seguro.
- Informar clasificación y etiqueta a la ECHA.

Este reglamento entró en vigencia el 20 de enero de 2009 y derogó las directivas CE. Ambos tuvieron vigencia hasta 2015 (Parlamento Europeo y Consejo, 2008).

Regulaciones internacionales y nacionales

Frente a los trabajos que se han realizado a nivel internacional, en relación con la regulación toxicológica, no se conocen aún límites permisibles de todas las sustancias peligrosas en los ambientes laborales, aunque en 1979 la OMS creó la expresión: *límite de exposición ocupacional basado en salud (LEO BS)*. Este documento se gestionó desde 1977 en la Conferencia Internacional del Trabajo donde se colocaron sobre la mesa temas relacionados con: reducción a la exposición de sustancias tóxicas en los puestos de trabajo y prevención de enfermedades de origen laboral, aunque en realidad es en 1968 en la Conferencia Americana de Higienistas Industriales de Gobierno en Estados Unidos donde se proponen los primeros LEO, los denominados en ese entonces *valores umbrales límite*. Luego, en 1970, Estados Unidos reconoce 450 de estos límites y en 1971 la Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo (OSHA) incorporó todos los propuestos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), pero con un nuevo término, *nivel de exposición permisible (PEL, por su sigla original, permissible exposure level)*.

Evidentemente, el estudio y análisis de estos niveles requiere gran infraestructura en recursos tecnológicos, humanos y económicos; por ello, estas medidas son proporcionadas por países con capacidad suficiente, lo que ha generado el problema de experimentos y ambientes donde se toman estos valores que no concuerdan con todos los contextos donde se aplican para la regulación. Esto ha generado dificultades en las naciones donde se utilizan, ya que son muchos los trabajadores que se exponen a sustancias nocivas y no tienen límites reales o registran límites dudosos de los lugares donde se usan (Campos, A. *et. ál.* 2012).

En Colombia, a partir de los convenios, protocolos, acuerdos y recomendaciones se han creado regulaciones por ley (CONPES 3868, 2016). Véase a continuación la recopilación de lo más importante abordado hasta el momento; en el cuadro 7.1 se describe el impacto de las herramientas de origen internacional en Latinoamérica y España.

Cuadro 7.1 Acercamiento a la normatividad toxicológica en algunos países de Latinoamérica y España

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
Convenio 170 y Recomendación 177 de la OIT	Riesgos laborales relacionados con sustancias químicas en el trabajo.	Real Decreto 374/2001, 6 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.	Norma Oficial Mexicana NOM-114-STPS-1994; Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo. Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008; Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. Norma Oficial Mexicana. NOM-005-STPS-1993. Esta norma tiene por objetivo prevenir y proteger a los trabajadores contra riesgos de trabajo e incendio. Se aplica donde se almacenen, transporten o manejen sustancias inflamables y combustibles.	Resolución SRT N° 801/15. El Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social y la Superintendencia de Riesgos del Trabajo han estado participando en tareas relacionadas con el Sistema Mundialmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) desde 2004.	Reglamento de seguridad y salud para la construcción y obras públicas. No. 020-INS-DIR-ARCOM-2014 Decisión 584 CAN Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo. Resolución 741 Reglamento General del Seguro de Riesgos del trabajo	Decreto 43. Aprueba el reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas. Decreto 160. Reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos. Ministerio de Economía.	Ley 55, 2 de julio de 1993–Convenio sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo. Ley 1252 de 2008, por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
			<p>Norma Oficial Mexicana. NOM-009-STPS-1994. Su objetivo es prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de quemaduras, irritaciones o intoxicaciones. Se aplica donde se almacenen, transporten o manejen sustancias corrosivas, irritantes o tóxicas.</p> <p>Norma Oficial Mexicana. NOM -010-STPS--2014. Su objetivo es prevenir y proteger la salud de los trabajadores y mejorar las condiciones de seguridad e higiene donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas que por sus</p>	<p>Ley 19.587, 21 de abril de 1972; Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo; Ley 24.557, 3 de octubre de 1995; Ley de Riesgos en el Trabajo; Ley 24.557, 3 de octubre de 1995, que incorpora en su Capítulo II una serie de definiciones relativas a los conceptos de accidente de trabajo y enfermedad profesional. Convenio OIT N° 81 – Inspección del trabajo en la industria y el comercio. Convenio OIT N° 115 – Protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes.</p>	<p>Resolución No. 741 Reglamento General del Seguro de Riesgos del Trabajo Norma de asbesto Norma de mercurio</p>	<p>Decreto 148. Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos. Ministerio de Salud. Decreto 167. Crea la especialidad de carga de sustancias peligrosas en Licencias Clase A5. Ministerio de Transportes. Decreto 298. Reglamenta el transporte de cargas peligrosas por calles y caminos. Ministerio de Transportes.</p>	

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
			<p>propiedades, niveles de concentración y tiempo de acción sean capaces de contaminar el medio ambiente laboral y alterar la salud de los trabajadores, así como los niveles máximos permisibles de concentración de dichas sustancias, de acuerdo con el tipo de exposición. Se aplica donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el ambiente laboral.</p>	<p>Convenio OIT N° 139 – Prevención y el control de los riesgos profesionales causados por las sustancias o agentes cancerígenos. Convenio OIT N° 170 – La seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo.</p>			

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
El Convenio 174 y Recomendación 181 de la OIT.	Prevención de accidentes mayores con sustancias químicas	NTP 291: Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit NTP 316: Fiabilidad de componentes: la distribución exponencial NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas: evaluación de la sobrepresión NTP 337: Control de fugas en almacenamientos de gases licuados tóxicos (I)	NOM-003-SECRE-2002, Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos. NOM-007-SECRE-1999, Transporte de gas natural. NOM-002-SCT-2003, Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados. NOM-003-SCT2-2000; Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. NOM-004-SCT-2000, Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. NOM-005-SCT-2000, Información de emergencia para el transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.	Resolución SRT 743/2003. Registro Nacional para la Prevención de Accidentes Industriales Mayores. Disposición 8/95 Dirección Nacional de Salud y Seguridad en el Trabajo Prevención de accidentes industriales mayores. Créase el Registro Nacional para la Prevención de Accidentes Industriales Mayores.	Convenio 115 OIT (R: 1972). Radiaciones ionizantes y vibraciones. Convenio 139 OIT (R: 1978). Sustancias cancerígenas. Convenio 136 OIT (R: 1978). Intoxicación por el benceno. Convenio 170 OIT (1990). Productos químicos. Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo Decreto Ejecutivo 2393 (1986).	Ley 20417; crea el Ministerio el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Ley 19300; Ley sobre bases generales del medio ambiente. Decreto 52; crea Comisión Asesora Presidencial permanente de cambio climático. Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 30. Acuerdo de París adoptado en la Vigésimo Primera Reunión de la conferencia de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Ministerio de Relaciones Exteriores.	Ley 320 de 20 de septiembre de 1996–Convenio 174 y Recomendación 181 sobre Prevención de accidentes industriales mayores. Decreto 1496 de 2018, por el cual se adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
		Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el cual se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.				Decreto 87; crea Consejo Asesor de Cambio Climático y Agricultura. Ministerio de Agricultura. Decreto 159; Acuerdo con el programa de las Naciones Unidas para el desarrollo sobre el proyecto del Gobierno de Chile denominado "Chile: Actividad habilitante de cambio climático (ejercicio de autoevaluación)". Ministerio de Relaciones Exteriores.	

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
		<p>Real Decreto 1196/2003, 19 de septiembre, por el cual se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.</p> <p>Real Decreto 1070/2012, 13 de julio, por el cual se aprueba el Plan estatal de protección civil ante el riesgo químico.</p>	<p>NOM-018-STPS-2015; Sistema para la identificación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.</p> <p>NOM-026-STPS-1998; Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.</p> <p>Norma Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2012, Sistema para la administración del trabajo-Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas.</p>	<p>Resolución SRT 743/2003.</p> <p>Funcionamiento del “Registro nacional para la prevención de accidentes industriales mayores”. Actualización del Listado de Sustancias Químicas del Anexo I de la Disposición DNSST 8/95.</p>	<p>Reglamento del seguro de riesgos del trabajo (IESS) Resolución 741 (1991).</p> <p>Transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos. (INEN 2266:2000).</p> <p>Productos químicos industriales peligrosos. Etiquetado de precaución. (INEN 2288:2000).</p>	<p>Decreto 262. Memorándum de entendimiento con el Reino de Dinamarca en materia sobre iniciativas de cambio climático. Ministerio de Relaciones Exteriores.</p> <p>Decreto 263. Acuerdo de cooperación bilateral en materia de cambio climático con la República Francesa. Ministerio de Relaciones Exteriores.</p> <p>Decreto 378. Promulga las rectificaciones al texto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ministerio de Relaciones Exteriores.</p>	

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
Protocolo de Montreal de la Convención de Viena.	Protección de la capa de ozono.	Ley 34/2007, 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera Real Decreto 100/2011, 28 de enero, por el cual se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.	Norma Oficial Mexicana NOM-010-SCFI-1994, Instrumento de medición-Instrumentos para pesar de funcionamiento no automático-requisito técnico y metrológicos. Norma Oficial Mexicana NOM-098-Semarnat-2002. Protección ambiental Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes. Norma Oficial Mexicana NOM-052-Semarnat-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.	Resolución N° 7/2013 publicada en el Boletín Oficial; mediante la cual se adjudicaron las cuotas de importación para 2013 sobre sustancias que agotan la capa de ozono. Leyes N° 23.724 y N° 23.778; Argentina aprobó el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono —ratificado el 18 de enero de 1990— y el Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias que agotan la Capa de Ozono —ratificado el 18 de septiembre de 1990.	Constitución de la República del Ecuador, 2008, Art. 275: Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades gocen efectivamente de sus derechos y ejerzan responsabilidades en el marco de la interculturalidad, del respeto a sus diversidades, y de la convivencia armónica con la naturaleza. Constitución de la República del Ecuador (2008): Art. 3, num. 5, 7; Art. 10, 12, 14, 15, 27, 32; Art. 57, num. 7; Art. 66, num. 2, 3, 15, 26, 27; Art. 71, 72, 73, 74, 83, 97; Art. 261, 275, 276 num. 4; Art. 277, num. 1; Art. 278, num. 7, 14.	Decreto 719: Promulga el convenio de Viena para la protección de la capa de ozono y sus anexos I y II. Resolución 1819 Exenta. Suspende la fabricación e importación de plaguicidas a base de bromuro de metilo que indica. Decreto 127: Promulga la revisión sustantiva del acuerdo con el programa de las naciones unidas para el desarrollo sobre el proyecto: “fortalecimiento institucional fase VII (unidad ozono–Ministerio del Medio Ambiente)”.	Ley 29 de 29 de diciembre de 1992– Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Decreto 2329 de 2012 por parte del Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, que prohíbe la importación de sustancias agotadoras de la capa de Ozono. Esto se da después de 20 años de haberse ratificado el Protocolo de Montreal. Ley 30 de 1990. Aprobó el Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono. Ley 306 de 1996, por medio de la cual se aprueba la Enmienda de Copenhague de 1992 al Protocolo de Montreal.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
		<p>Real Decreto 818/2018, 6 de julio, sobre medidas para la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos.</p> <p>Ley 16/2002, 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación</p> <p>Guía de la normativa estatal de emisiones a la atmósfera.</p>	<p>Norma Oficial Mexicana NOM-161-Semarnat-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.</p> <p>Norma Oficial Mexicana NOM-162-Semarnat-2012, que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas en su hábitat de anidación.</p>	<p>Leyes N° 24.167, N° 24.418, N° 25.389 y N° 26.106, Argentina aprobó las Enmiendas de Londres, Copenhague, Montreal y Beijing al Protocolo, acordadas en la segunda, cuarta, novena y onceava Reunión de las Partes del Protocolo de Montreal, respectivamente.</p> <p>Ley N° 24.040 –de la cual, la Secretaría de Ambiente es autoridad de aplicación–, Argentina reguló internamente el control de producción, utilización, comercialización, importación y exportación de sustancias que agotan la capa de ozono.</p>	<p>Código Orgánico del Ambiente (2017) (COA), vigente mediante Registro Oficial No 983, el 12 de abril del 2017.</p> <p>Protocolo de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono ratificado: 30.04.90.</p> <p>Convención Marco sobre Cambio Climático ratificado: 04.10.94.</p> <p>El Programa Socio Manglar es creado mediante Acuerdo Ministerial No. 198 del 9 de julio de 2014.</p> <p>Acuerdo Ministerial No. 012 (2015). Guía Metodológica para la Evaluación de Efectividad de Manejo del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado EEMPANE.</p>	<p>Resolución 1400 Exenta. Prórroga entrada en vigencia de Resolución n° 1.557, 2014, que establece exigencias para la autorización de plaguicidas.</p> <p>Decreto 238: Promulga protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, de 16 de septiembre de 1987.</p>	<p>Ley 618 de 2000. Aprobó la enmienda del Protocolo de Montreal aprobada por la 9ª reunión de las partes, a través de la cual se obliga a los países parte al establecimiento de sistemas de permisos para la importación y exportación de las sustancias listadas en los anexos A, B, C y E.</p> <p>Ley 728 de 2001, por medio de la cual se aprueba la Convención sobre la protección física de los materiales nucleares, firmada en Viena y Nueva York el 3 de marzo de 1980.</p> <p>Sustancias químicas industriales Radiación de la Enmienda de Beijing del Protocolo de Montreal.</p>

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
			<p>Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-125-ECOL-1998, que establece las especificaciones de protección ambiental y la prohibición del uso de compuestos clorofluorocarbonos en la fabricación e importación de refrigeradores, refrigeradores-congeladores y congeladores electrodomésticos; enfriadores de agua, enfriadores-calentadores de agua y enfriadores-calentadores de agua para beber con o sin compartimiento refrigerador, refrigeradores para uso comercial y acondicionadores de aire tipo cuarto.</p> <p>Norma Oficial Mexicana NOM-165-Semarnat-2013, que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes.</p>	<p>Decreto N° 265/96, se creó la Oficina Programa Ozono (OPROZ), en el ámbito de la Secretaría de Ambiente, integrada asimismo, por la Secretaría de Industria y la Cancillería.</p> <p>Ley N° 24.040 fue reglamentada parcialmente mediante el Decreto N° 1609/04, por el que entre otras cosas, se creó el Registro de Importadores y Exportadores de Sustancias que Agotan la Capa de Ozono (RIESAO) y se estableció un Sistema de Licencias de Importación y Exportación de las sustancias.</p>	<p>Quito: Registro Oficial No. 322. Edición Especial.</p> <p>R. O. No. 397 de 16 de marzo de 1990.</p> <p>R. O. No. 420 del 12 de abril de 1990.</p>		<p>Resolución 734 de 2004. Por medio de la cual se adoptan medidas para la importación de las sustancias agotadoras de la capa de Ozono reportadas en el Grupo I del Anexo A del Protocolo de Montreal. Resolución 2188 de 2005. Establece los requisitos, términos, condiciones y obligaciones para controlar las exportaciones de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono a las cuales hace referencia el Decreto 423 del 21 de febrero de 2005.</p>

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
				Resolución 1813/2012, también publicada en el Boletín Oficial que modificó una resolución (Resolución N° 953/2004) sobre sustancias que agotan la capa de ozono.			Resolución 901 de 2006. Por la cual se toman medidas para controlar las importaciones y el uso de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono listadas en el Grupo II del Anexo A del Protocolo de Montreal. Cupos y visto bueno. Resolución 902 de 2006. Por la cual se toman medidas para controlar las importaciones de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono listadas en los Grupos I, II y III del Anexo B del Protocolo de Montreal, cupos y visto bueno.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
							Resolución 2120 de 2006. Por la cual se prohíbe la importación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en los Grupos II y III del Anexo C del Protocolo de Montreal y se establecen medidas para controlar las importaciones de las sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en el Grupo I del Anexo C del Protocolo de Montreal. Resolución 1652 de 2007. Por la cual se prohíbe la fabricación e importación de equipos y productos que contengan o requieran para su producción u operación las sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en los Anexos A y B del Protocolo de Montreal y se adoptan otras determinaciones.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
Convenio de Estocolmo.	Contaminantes orgánicos persistentes y volátiles	Directiva 1999/13/CE del Consejo de 11 de marzo de 1999 relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)	Norma Mexicana. NMX-AA-103-SCFI-2006. Residuos – determinación de compuestos orgánicos volátiles por cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas en productos de extracción de constituyentes tóxicos (PECT) – método de prueba. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-165-Semarnat-2012, que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes.	Ley General del Ambiente, N° 25.675. Argentina aprobó el Convenio de Estocolmo por Ley N° 26.011 (2004). Ley N° 25.670 de Presupuestos Mínimo de Protección Ambiental para la Gestión y Eliminación de los PCB. Decreto N° 21/2009. Comisión Nacional para la Investigación, Prevención, Asistencia y Tratamiento en casos de intoxicación por agroquímicos.	Acuerdo Ministerial No. 049(2014). Procedimientos Administrativos para la Verificación y Control de la Procedencia y Destino Final de Productos Forestales. Quito. Acuerdo Ministerial No. 105 (2013). Lineamientos de Gestión para la Conectividad con Fines de Conservación. Quito: Registro Oficial No. 135. Suplemento.	Resolución 1557 Exenta. Establece exigencias para la autorización de plaguicidas y deroga resolución n° 3.670 de 1999.	Ley 1196 de junio 5 de 2008–Convenio de Estocolmo sobre <i>contaminantes orgánicos persistentes</i> (COP). Ley 1252 de 2008, por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. Decreto 283 de 1990. Reglamenta el almacenamiento, manejo, transporte, distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo y el transporte por carro tanques de petróleo crudo.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
		<p>Directiva 2004/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 21 de abril de 2004, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas y barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos.</p> <p>Real Decreto 117/2003, 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades.</p>	<p>NOM-016-CRE-2016 "Especificaciones de calidad de los petrolíferos".</p> <p>NOM-123-Semarnat-1998. Que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV), en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.</p>		<p>Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. Registro Oficial (R. O.) 381 de 20 de julio del 2004, establece medidas para controlar el uso de sustancias contaminantes orgánicas persistentes en diferentes actividades con el fin de proteger la salud humana, así entre las principales medidas aplicables dentro del país tenemos.</p> <p>Decreto Supremo 2967, y publicada en el R. O. 711 de 15 de Noviembre de 1978.</p>		<p>Decreto 321 de 1999. Por el cual adoptan el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres.</p>

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
			<p>NOM-121-Semarnat-1997. Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.</p> <p>NOM-075-Semarnat-1995, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo.</p>				

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
Protocolo de Kioto	Cambio climático	Ley 21/2013 de 9 de diciembre de Evaluación Ambiental Real Decreto-Ley 17/2012, de 4 de mayo, de medidas urgentes en materia de medio ambiente. Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Ley 11/2012, 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.	Norma Oficial Mexicana NOM-163-Semarnat-ENER-SCFI-2013, Emisiones de bióxido de carbono (CO2) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos. NOM-039-Semarnat-1993. Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, en plantas productoras de ácido sulfúrico. NOM-040-Semarnat-2002. Protección ambiental-Fabricación de cemento hidráulico-Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera.	Ley 24.295, de 7 de diciembre de 1993. La República Argentina la ratificó. Decreto 377/99 – Gases Efecto Invernadero. Crea, en el ámbito de la Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, la Comisión Nacional para la Elaboración y Propuesta de la Meta de Emisión de Gases Efecto invernadero. Ley 25.438. Apruébese el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, adoptado en Kioto, Japón.	Código Orgánico del Ambiente (2017) (COA), vigente mediante Registro Oficial No 983, el 12 de abril del 2017. R. O. No.562 de 7 de noviembre de 1994	Decreto 349. Ratifica el Protocolo de Kioto. Ministerio de Relaciones Exteriores. Resolución 970 Exenta. Esquema de reducción y compensación de carbono para la aviación internacional.	Ley 629 de diciembre 27 de 2000–Protocolo de Kioto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Decreto 948 de 1995. Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
			<p>Modificación a la Norma 20 abril de 2004. Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas, así como los requisitos de control de emisiones fugitivas provenientes de las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento. NOM-046-Semarnat-1993.</p> <p>Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico, provenientes de ácido dodecilbencensulfónico en fuentes fijas. NOM-105-Semarnat-1996.</p> <p>Que establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total provenientes de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.</p>				

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
Acuerdo de París (García, C. et. ál. 2016).	Cambio climático	Plan de Energías Renovables 2011-2020: Acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011, estableciendo objetivos acordes con la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, y atendiendo a los mandatos del Real Decreto 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial y de la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible.	NOM-085-Semarnat-1994. Contaminación atmosférica-Fuentes fijas- Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.	Acuerdo de París. Ley 27270. Poder Legislativo Nacional Aprobación del Acuerdo de París hecho en París el 12 de Diciembre de 2015 sobre Cambio Climático. El Decreto Reglamentario de la Ley 27.191, de Régimen de Fomento Nacional, para el uso de fuentes renovables de energía destinadas a producción de energía eléctrica. Ley 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de Bosques Nativos. Ley General de Ambiente (Ley 25.675).	Código Orgánico del Ambiente (2017) (COA), vigente mediante Registro Oficial No 983, el 12 de abril del 2017. R. O. No.562 de 7 de noviembre de 1994 R. O. No. 654 de 22 de agosto de 1978	Decreto 30. Promulga el acuerdo de París, adoptado en la Vigésimo Primera Reunión de la Conferencia de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Acuerdo 1150 Acuerdo 1150-02. Acuerdo adoptado por el consejo en su sesión n° 1150. Acuerdo S/N. Acuerdo relativo a instrumentos financieros de oferta publica adoptado por la comisión clasificadora de riesgo.	Año 2020–Convención en el marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, que establece medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
			<p>NOM-086-Semarnat-SENER-SCFI-2005. Contaminación atmosférica-Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.</p> <p>NOM-092-Semarnat-1995. Que regula la contaminación atmosférica y establece los requisitos, especificaciones y parámetros para la instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo ubicadas en el Valle de México.</p> <p>NOM-097-Semarnat-1995. Que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país.</p>				

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
Convenio de Rotterdam	Plaguicidas y productos químicos peligrosos – Disminución de importe de productos peligrosos – cuidado del medio ambiente	Instrumento De Ratificación del Convenio de Rotterdam para la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional, hecho en Rotterdam (Países Bajos) el 10 de septiembre de 1998.	NOM-032-FITO-1995. Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico. Norma Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009, Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.	Argentina aprobó el Convenio de Rotterdam por Ley N° 25.278 (2000). Ley 25.670 (2002) de Presupuestos Mínimos para la Gestión y Eliminación de los PCB; Decreto N° 853/07.	Convención sobre Biodiversidad Biológica- registro Oficial No. 647 del 6 de marzo de 1995. Ley de Gestión Ambiental. Publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 418 del 10 de septiembre de 2004. Ley Orgánica de la Salud. Publicada en el registro Oficial N° 423 del 22 de diciembre del 2006. Reglamento Sustitutivo al Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOHE-D. E. 1215). Registro Oficial No 425 del 21 de septiembre del 2004.	Decreto 37. Promulga el convenio de Rotterdam para la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional y sus anexos. Decreto 54. Prohíbe el empleo de lindano o de hexaclorociclo hexano en plaguicidas de uso sanitario y doméstico y en fármacos. Resolución 8231 Exenta. Prohíbe la fabricación, importación, exportación, distribución, venta, tenencia y uso de plaguicidas con clordecona, alfa-hch, beta-hch y pentaclorobenceno, endosulfán, alacloro y aldicarb.	Ley 1159 de Septiembre 20 de 2007–Convenio de Rotterdam para la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos, objeto de comercio internacional. Ley 822 de 2003. Por la cual se dictan normas relacionadas con los agroquímicos genéricos. Ley 1259 de 2007. Por medio de la cual se aprueba el “Convenio de Rotterdam para la Aplicación del Procedimiento de Consentimiento Fundamentado previo a ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos, objeto de Comercio Internacional”.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
			<p>Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-032-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su Dictamen Técnico.</p> <p>Norma Oficial Mexicana NOM-003-STPS-1999, Actividades agrícolas-Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes-Condiciones de seguridad e higiene.</p> <p>Recomendación No. 82/2018. Sobre la violación a los Derechos Humanos a la alimentación, al agua salubre, a un medio ambiente sano y a la salud, por el incumplimiento a la obligación general de debida diligencia para restringir el uso de plaguicidas de alta peligrosidad, en agravio de la población en general.</p>		<p>Convenio de Rotterdam sobre el Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional (PIC).</p>		<p>Decreto 704 de 1986. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 23 de 1973, el Decreto-Ley 2811 de 1974 y la Ley 09 de 1979, en lo relativo al uso, comercialización y aplicación del DDT.</p> <p>Decreto 305 de 1988. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 23 de 1973, el Decreto 2811 de 1974 y la Ley 09 de 1979, en lo relativo al uso, comercialización y aplicación de algunos productos organoclorados.</p> <p>Decreto 1843 de 1991. Por el cual se reglamentan parcialmente la Ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas.</p>

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
			Norma Oficial Mexicana NOM-133-Semarnat-2015, Protección ambiental-Bifenilos Policlorados (BPC)-Especificaciones de manejo.				Decreto 1609 de 2002. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Decreto 1443 de 2004. Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
Convenio de Basilea	Desechos peligrosos – Eliminación de estos productos– Movimiento de estos en las fronteras	Instrumento de ratificación del convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de marzo de 1989. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Reglamento (CE) N o. 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo Reglamento (UE) N o. 660/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo	Norma Oficial Mexicana NOM-212-SCFI-2017, Pilas y baterías primarias– Límites máximos permisibles de mercurio y cadmio–Especificaciones, métodos de prueba y etiquetado. Norma Oficial Mexicana NOM-019-SCT2/2015, Especificaciones técnicas y disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes de sustancias y residuos peligrosos en las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos.	Argentina aprobó el Convenio de Basilea por Ley N° 23.922 (1991). La Ley N° 24.051 de Residuos Peligrosos, su Decreto Reglamentario N° 831/93. N° 184/95; CN (1994)–Artículo 41; Resoluciones SA y DS N° 896/02 y 946/02.	Transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos. (INEN 2266:2000). Convenio 153 OIT (R: 1988). Transportes por carretera. Normativa Ambiental en el Acuerdo Ministerial No. 061 publicado en el Registro Oficial No 316 el 04 de mayo de 2015. Acuerdo Ministerial 099 “Instructivo para el Registro de Sustancias Químicas Peligrosas” publicado en Registro Oficial 601 del 05 de octubre de 2015.	Decreto 685. Promulga el “convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación”. Decreto 264. Promulga enmienda al convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.	Ley 253 de 17 de enero de 1996–Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación. En 2005, a partir de este convenio, se creó la “Política ambiental para la gestión de residuos peligrosos en Colombia”. Ley 945 de 2005. Por medio de la cual se aprueba el “Protocolo de Basilea sobre responsabilidad e indemnización por daños resultantes de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
		<p>Reglamento (CE) No 1418/2007 de la Comisión</p> <p>Reglamento de ejecución (UE) 2016/1245 de la comisión</p>	<p>Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.</p> <p>Norma Oficial Mexicana NOM-133-Semarnat-2015, Protección ambiental-Bifenilos Policlorados (BPC)-Especificaciones de manejo.</p> <p>Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)</p> <p>Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente.</p>		<p>Decreto ejecutivo no. 3516, publicado en el registro oficial suplemento 2 del 31 de marzo del 2003.</p> <p>Reglamento para la prevención y control de la contaminación por sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales.</p> <p>Registro Oficial No 432 de 03 de mayo de 1994.</p> <p>Convenio de Basilea sobre el Control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.</p>		

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
Convenio de Minamata	Regula los procesos en todo el ciclo de vida del mercurio	Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Reglamento (CE) n o 1102/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, 22 de octubre de 2008	Norma Oficial Mexicana NOM-161-Semarnat-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-013-ssa2-1994, para la prevención y control de enfermedades bucales, para quedar como, Norma Oficial Mexicana NOM-013-ssa2-2006, para la prevención y control de enfermedades bucales.	Prohibición del Mercurio en 2020. Resolución 75/19. Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Ley N° 27.356, el Decreto N° 958/2018 de fecha 26 de octubre de 2018. Convenio de Naciones Unidas de Minamata sobre el Mercurio. Ley 27356. Poder Legislativo Nacional.	Resolución Legislativa No. 0, publicada en Registro Oficial Suplemento 733 de 14 de Abril del 2016. Aprobar el convenio de Minamata sobre el mercurio. Decreto Ejecutivo 1802 de 1 junio 1994, Registro Oficial No 456 del 7 de junio 1994. Políticas Básicas Ambientales del Ecuador. Registro Oficial No 339 del 20 de mayo del 2004. Codificación de la Ley de Aguas. Decreto Ejecutivo No. 1415, Registro Oficial No 307 de 17 de abril del 2001. Reglamento General Sustitutivo del Reglamento General de la Ley de Minería.	Decreto 269. Promulga el convenio de Minamata sobre el mercurio.	Ley 1658 de julio 15 de 2013—Disposiciones para comercialización y uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país; se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones. Ley 1892 DE 2018. Por medio de la cual se aprueba el “Convenio de Minamata sobre el Mercurio”, hecho en Kumamoto (Japón) el 10 de octubre de 2013.

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
		<p>Regulación (EU) No 649/2012 del Parlamento Europeo y del Concejo de 4 de julio de 2012 concerniente a la exportación e importación de químicos peligrosos.</p> <p>Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.</p> <p>Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.</p>	<p>NOM-040-ECOL-2002 para la protección ambiental-fabricación de cemento hidráulico-niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera, así como considerar el establecimiento de una NMX para la medición de emisiones y liberaciones de mercurio en sus distintas especies químicas.</p> <p>Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-160-Semarnat-2011, que establece los elementos y procedimientos para formular los planes de manejo de residuos peligrosos.</p> <p>Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral Reconocimiento, evaluación y control.</p>		<p>Registro Oficial No 565 del 17 noviembre 1986. Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo.</p>		

Continúa cuadro 7.1

Herramientas de origen internacional	Intención de la herramienta	Impacto en la normatividad española	Impacto en la normatividad mexicana	Impacto en la normatividad argentina	Impacto en la normatividad del Ecuador	Impacto en la normatividad de Chile	Impacto en la normatividad colombiana
		<p>Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.</p> <p>Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.</p>					

Teniendo en cuenta los cambios que ha traído la industrialización, a nivel social, político y legislativo, los gobiernos del mundo se ven en la necesidad de crear acciones para proteger la especie humana y el medio ambiente, entre ellos la seguridad y la salud de los trabajadores. Evidentemente, estos cambios conllevan a la adaptación y adecuación de protocolos para evitar accidentes y controlar los peligros a los que se enfrenta un trabajador durante la ejecución de una labor. Sin duda, la industrialización, la tecnificación y el abastecimiento de productos ha llevado a todos los pueblos y, en este caso, a Latinoamérica a vivir de cerca el contacto con sustancias químicas peligrosas, procesos que implican el aprendizaje en cuanto a la manipulación de ellas, mediando entre el trabajador y los posibles efectos que ellas pueden producir.

Las posibles acciones para gestionar los riesgos que traen las sustancias tóxicas peligrosas, dependen por supuesto de los escenarios donde se utilicen, su manipulación y el tipo de sustancia en cuestión; y para su manejo se deben tener en cuenta los siguientes parámetros de seguridad:

1. Describir los puestos de trabajo donde se usan, los procesos donde intervienen y los lugares de almacenamiento.
2. Describir la cadena de acontecimientos que podría ocasionar la inadecuada manipulación y los elementos en el proceso que podrían salir vulnerados.
3. Construir la secuencia de actividades que podrían implementarse como medidas preventivas; en caso de accidente, tener en cuenta las posibles medidas de contención y después del acontecimiento las medidas que puedan mitigar los daños causados.
4. En caso de accidente, se debe documentar claramente el suceso.
5. Realizar las adecuaciones a los procedimientos y capacitar a los encargados en cuanto a la manipulación de estas sustancias.
6. Diseñar modelos propios para cada una de las circunstancias ocurridas.
7. Construir un reglamento propio, didáctico y flexible en el tiempo.

Términos clave



- Agentes tóxicos
- Bioconcentración
- Carcinógeno
- Control
- Gestión ambiental
- Magnificación biológica
- Mutagénico
- Prevención
- Reciclaje
- Riesgos químicos
- Teratogénico
- Toxicología regulatoria



ESTUDIO DE CASO

Emergencia ambiental por volcamiento de un camión que transportaba un insecticida organofosforado

El pasado mes de abril, por la vía que conduce al municipio de San Martín de los Llanos (Meta, Colombia) una tractomula transportaba una carga de 32 toneladas de un insecticida organofosforado que provocó una emergencia que fue atendida aproximadamente por 50 personas, entre otros miembros de la Policía Nacional, el ejército, bomberos y personal de control ambiental del municipio. El plaguicida iba a ser distribuido en la zona para el control de ácaros e insectos chupadores y masticadores del algodón, cítricos, maíz, remolacha y papa.

El accidente ocurrió alrededor de las 6:00 a.m., según el Secretario del Medio Ambiente, cuando el camión proveniente de Bogotá se volcó en uno de los barrancos. Con base en la observación de la Secretaría, se activó el Comité Central de Riesgos, que se propuso desde tempranas horas investigar las razones que provocaron el accidente junto con los detalles sobre los contenedores transportados, la cantidad de sustancia vertida en la naturaleza y las acciones respectivas que se deberían tomar. La mayor preocupación del Comité, en efecto, es la contaminación del producto sobre la quebrada Chirajara, que abastece de agua a varias familias de la región y a unas 2.000 cabezas de ganado que podrían verse afectadas por el consumo de agua contaminada del afluente.

La intervención sobre el vertimiento fue coordinada por cinco expertos del cuerpo de bomberos que se encargaron de la zona y del afluente para disminuir el riesgo de contaminación ambiental y mitigar el impacto para la salud humana. La principal acción de este equipo de trabajo fue activar el plan de emergencias, que conducía a marcar las políticas de tratamiento de la emergencia, organizar las acciones y establecer los métodos para enfrentar el desastre. Entonces, se colocaron siete diques sobre la quebrada para disminuir la presión de la corriente del agua y establecer los puntos de análisis de concentración de la sustancia en el mismo.

Dos días después de la emergencia, los organismos de socorro, la Secretaría del Medio Ambiente municipal y la empresa transportadora del producto, entregaron el primer reporte de contaminación e iniciaron el es-



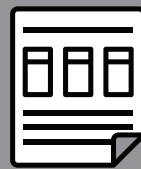
tablecimiento de las medidas para enfrentar la situación. Según las autoridades municipales, un sinnúmero de insectos que mantenían el equilibrio en el ecosistema murieron, afectando gravemente asimismo a otras especies, entre otras, peces del afluente, reptiles y mamíferos, además del material vegetal expuesto a la sustancia que quedó quemada. En la actualidad, las acciones están encaminadas al monitoreo de las familias que habitan alrededor de la emergencia y a los semovientes de la zona.

Con base en el caso anterior, responda las preguntas:

1. ¿Qué normas o regulaciones revisadas en el capítulo sobre toxicología regulatoria podrían aplicar en el estudio de este caso?
2. Dé las razones por las cuales este caso podría ser tema de estudio desde el enfoque de seguridad y salud en el trabajo. Justifique su respuesta.
3. ¿Cuáles son los posibles daños que el insecticida organofosforado podría ocasionar a la salud de las personas en dicha zona?
4. Si usted fuera convocado como experto en toxicología, seguridad y salud en el trabajo, ¿cuáles serían sus sugerencias antes, durante y después de la emergencia en cuestión?

En este capítulo se abordó el estudio de procesos toxicológicos que describen puntos importantes como regulación, normatización o reglamentación de estos en aspectos laborales, sociales o ambientales, a partir de la compilación y análisis de datos epidemiológicos, toxicológicos y ensayos experimentales, para la toma de decisiones que orientan el comportamiento humano frente a la salud en general, contra potenciales efectos nocivos de agentes tóxicos.

De hecho, fundamentalmente, una de las funciones de esta rama de la toxicología, consiste en evaluar metodologías para el análisis de las afectaciones que pueda causar una sustancia peligrosa, cuyo objetivo se logra a partir de reuniones, encuentros, convenios y acuerdos internacionales que organizan agencias y entidades gubernamentales, científicos e industriales. En esa perspectiva, la toxicología, como ciencia, propicia diversas orientaciones legales en pos del mejoramiento de calidad de vida de la humanidad, con base en la regulación, la producción y la manipulación de sustancias.



RESUMEN



CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son las funciones del Comité Central de Riesgos de la zona donde usted vive?
2. En un cuadro relacione las agencias u organismos encargados de regular o reglamentar la toxicología en su país y describa las funciones y responsabilidades de cada una de ellas.
3. Con respecto a los estudios que se construyen en toxicología regulatoria, existen variados portales especializados en recaudar información en este campo. Describa tres de ellos y mencione las características de cada uno.
4. ¿Cuáles son las normas que regulan el almacenamiento, transporte, etiquetado y hojas técnicas de seguridad de las sustancias tóxicas en su país?

Referencias

- Acuerdo de París. Ley 27270. Poder Legislativo Nacional. Recuperado de: <http://argentinambiental.com/legislacion/nacional/ley-27270-acuerdo-paris/>
- Acuerdo Ministerial No. 049(2014). Procedimientos Administrativos para la Verificación y Control de la Procedencia y Destino Final de Productos Forestales. Quito. Recuperado de: <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/05/Norma-para-la-Verificación-y-Control-Destino-Final.pdf>
- Año 2020–Convención en el marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, que establece medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP21/el_acuerdo_de_paris_frente_a_cambio_climatico.pdf
- Argentina aprobó el Convenio de Basilea por Ley N° 23.922 (1991). Recuperado de: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/322/norma.htm>
- Campos, A. *et. ál.* (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas.* Banco Mundial, Colombia. Recuperado de <http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>
- Climate Action Reserve. (2015). Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono para México. Protocolo de Proyectos. Recuperado de: https://www.climateactionreserve.org/wp-content/uploads/2016/02/Mexico_ODS_Project_Protocol_V1-0_042815_Espanol.pdf
- Código Orgánico del Ambiente (2017) (COA), vigente mediante Registro Oficial No 983, el 12 de abril del 2017. Recuperado de: <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/05NOR2017-COA.pdf>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Documento CONPES 3868.* Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3868.pdf>
- Constitución de la República del Ecuador, 2008, Art. 275: Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades gocen efectivamente de sus derechos y ejerzan responsabilidades en el marco de la interculturalidad, del respeto a sus diversidades, y de la convivencia. Recuperado de: <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>
- Convención sobre Biodiversidad Biológica- registro Oficial No. 647 del 6 de marzo de 1995. Recuperado de: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/12/CONVENIO-SOBRE-DIVERSIDAD-BIOLOGICA.pdf>

- Convenio 115 OIT (R: 1972). Radiaciones ionizantes y vibraciones. Recuperado de: https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEX-PUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C115
- Decreto 1496 de 2018, por el cual se adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química. Recuperado de: <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201496%20DEL%2006%20DE%20AGOSTO%20DE%202018.pdf>
- Decreto 2329 de 2012 por parte del Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, que prohíbe la importación de sustancias agotadoras de la capa de Ozono. Esto se da después de 20 años de haberse ratificado el Protocolo de Montreal. Recuperado de: [http://www.suin-juriscal.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/4026308?fn=document-frame.htm\\$f=templates\\$3.0](http://www.suin-juriscal.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/4026308?fn=document-frame.htm$f=templates$3.0)
- Decreto 30. Promulga el acuerdo de París, adoptado en la Vigésimo Primera Reunión de la Conferencia de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://www.elmostrador.cl/media/2017/06/acuerdo-paris-decreto.pdf>
- Decreto 349. Ratifica el Protocolo de Kioto. Ministerio de Relaciones Exteriores. Recuperado de: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=235585>
- Decreto 37. Promulga el convenio de Rotterdam para la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional y sus anexos. Recuperado de: <https://www.ecolex.org/details/legislation/decreto-num-37-promulga-el-convenio-de-rotterdam-para-la-aplicacion-del-procedimiento-de-consentimiento-fundamentado-previo-a-ciertos-plaguicidas-y-productos-quimicos-peligrosos-objeto-de-comercio-internacional-y-sus-anexos-lex-faoc170516/>
- Decreto 43. Aprueba el reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas. Recuperado de: <http://www2.udec.cl/matpel/wmat/wp-content/uploads/DS-43-Reglamento-Almacenamiento-SP-BCN.pdf>
- Decreto 685. Promulga el “convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación”. Recuperado de: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=87460>
- Decreto 719. Promulga el convenio de Viena para la protección de la capa de ozono y sus anexos I y II. Recuperado de: <https://ozono.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/04/Convenio-de-Viena-MINREL.pdf>
- Díaz, A. (2017). *Informe de evento. Intoxicaciones por sustancias químicas, Colombia, 2017*. Proceso vigilancia y análisis del riesgo en salud pública. FOR-R02.4000-001. Versión 3. Pág. 2-16. Recuperado de <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/INTOXICACIONES%202017.pdf>

- Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible. (2005). *Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Políticas_de_la_Dirección/Política_Ambiental_para_la_Gestión_Integral_de_Residuos_o_Desechos_Peligrosos.pdf
- Directiva 1999/13/CE del Consejo de 11 de marzo de 1999 relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones. Recuperado de: http://www.ecourbano.es/imag/REF%20DIRECTIVA%20COMPOSTOS%20ORGANICS%20VOLATILS%201999_5.pdf
- Enfoque de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2011). Plan de acción nacional para la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional en México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/30178/PLAN_DE_ACCION_ROTTERDAM_2012_vf_ig_jl.pdf
- García, C. *et. ál.* (2016). *El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. 1ª. Ed. WWF-Colombia. Cali, Colombia. p. 52. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP21/el_acuerdo_de_paris_frente_a_cambio_climatico.pdf
- Guadagni, A., *et. ál.* (2016). Proyección Económica. La Argentina ante el Cambio Climático. Recuperado de <https://archivo.consejo.org.ar/publicaciones/proyeccion/Proyeccion9.pdf>
- Huici, A. (1999). *NTP 525: Criterios de establecimiento de valores límite de exposición profesional en la Unión Europea*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio del Trabajo y Asuntos Especiales: España. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_525.pdf
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2011). Tratado sobre las enfermedades de los trabajadores. De Morbis Artificum Diatriba. Recuperado de: <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/VIGILANCIA%20DE%20LA%20SALUD/Tratado%20sobre%20las%20enfermedades%20de%20los%20trabajadores/tratado%20enfermedades.pdf>
- Instrumento de ratificación del convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de marzo de 1989. Recuperado de: <http://www.marn.gob.gt/s/convenio-basilea>

- Ley 1196 de junio 5 de 2008–Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP). Recuperado de: http://www.andi.com.co/Uploads/2008L1196_Estocolmo.pdf
- Ley 1252 de 2008, por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Leyes_/ley_1252_271108.pdf
- Ley 20417; crea el Ministerio el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Recuperado de: https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1010459&idParte=8848126&int_=-True
- Ley 21/2013 de 9 de diciembre de Evaluación Ambiental. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-12913-consolidado.pdf>
- Ley 24.295, de 7 de diciembre de 1993. La República Argentina la ratificó. Recuperado de: http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/d_recursos_humanos/concurso/normativa/_archivos//000001_Leyes/000000_LEY%2024.295%20Convención%20Marco%20de%20las%20Naciones%20Unidas%20sobre%20el%20Cambio%20Climático.pdf
- Ley 253 de 17 de enero de 1996–Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1996/ley_0253_1996.pdf
- Ley 29 de 29 de diciembre de 1992–Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Recuperado de: http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/Ley%2029%20de%201992.pdf
- Ley 30 de 1990. Aprobó el Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Legislacion/ley_0030_050390.pdf
- Ley 306 de 1996, por medio de la cual se aprueba la Enmienda de Copenhague de 1992 al Protocolo de Montreal. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1996/ley_0306_1996.pdf
- Ley 320 de 20 de septiembre de 1996–Convenio 174 y Recomendación 181 sobre Prevención de accidentes industriales mayores. Recuperado de: <https://www.ins.gov.co/Normatividad/Leyes/LEY%200320%20DE%201996%20CONV.%20174.pdf>
- Ley 34/2007, 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-19744-consolidado.pdf>

- Ley 55, 2 de julio de 1993–Convenio sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo. Recuperado de: http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205a-b80e521292987c313699c/ley-55-de-1993.pdf
- Ley 618 de 2000. Aprobó la enmienda del Protocolo de Montreal aprobada por la 9ª reunión de las partes, a través de la cual se obliga a los países parte al establecimiento de sistemas de permisos para la importación y exportación de las sustancias listadas en los anexos A, B, C y E. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Legislacion/res_0901_230506.pdf
- Ley 629 de diciembre 27 de 2000–Protocolo de Kioto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Recuperado de: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0629_2000.html
- Ley General del Ambiente, N° 25.675. Recuperado de: <http://www.opds.gba.gov.ar/sites/default/files/LEY%2025675.pdf>
- López, A. et. ál. (2012). *Perfil Nacional de Sustancias Químicas en Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_químicas_y_residuos_peligrosos/Perfil_Nacional_de_Sustancias_Químicas_en_Colombia_2012.pdf
- Mendoza, A. (2007). Las sustancias químicas en México. Perspectivas para un manejo adecuado. En *Rev. Int. Contam. Ambie.* 33 (4) 719-745, 2017 DOI: 10.20937/RICA.2017.33.04.15. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/320771708_LAS_SUSTANCIAS_QUIMICAS_EN_MEXICO_PERSPECTIVAS_PARA_UN_MANEJO_ADECUADO
- NOM-002-SCT-2003, Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados. Recuperado de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/Normatividad/Materiales_y_residuos_peligrosos/historico/NOM-002-SCT-2003.pdf
- NOM-003-SCT2-2000; Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligroso. Recuperado de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/Normatividad/Materiales_y_residuos_peligrosos/historico/NOM-003-SCT-2000.pdf
- NOM-003-SECRE-2002, Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos. Recuperado de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69642.pdf>
- NOM-004-SCT-2000, Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. Recuperado de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/Normatividad/Materiales_y_residuos_peligrosos/historico/NOM-004-SCT-2000.pdf

- NOM-005-SCT-2000, Información de emergencia para el transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. Recuperado de: faolex.fao.org/docs/texts/mex27851.doc
- NOM-007-SECRE-1999, Transporte de gas natural. Recuperado de: <https://proteccioncivil.capitaldezacatecas.gob.mx/wp-content/uploads/Leyes/SENER/1202.pdf>
- NOM-018-STPS-2000; Sistema para la identificación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Recuperado de: <http://informe.fmvz.unam.mx/cls/DERRAMESQUIMICOS/NOM-018-STPS-2000.pdf>
- NOM-026-STPS-1998; Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd38/mexico/nom026stps.pdf>
- NOM-032-FITO-1995. Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico. Recuperado de: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/nom-032-fito-1995>
- Norma Mexicana. NMX-AA-103-SCFI-2006. Recuperado de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/DO3045.pdf>
- Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-125-ECOL-1998, que establece las especificaciones de protección ambiental y la prohibición del uso de compuestos clorofluorocarbonos en la fabricación e importación de refrigeradores, refrigeradores-congeladores y congeladores electrodomésticos; enfriadores de agua, enfriadores-calentadores de agua y enfriadores-calentadores de agua para beber con o sin compartimento refrigerador, refrigeradores para uso comercial y acondicionadores de aire tipo cuarto. Recuperado de: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/ecol125e.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-010-SCFI-1994, Instrumento de medición-Instrumentos para pesar de funcionamiento no automático-requisito técnico y metrológicos. Recuperado de: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/scfi/scfi010.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral Reconocimiento, evaluación y control. Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342372&fecha=28/04/2014
- Norma Oficial Mexicana NOM-0128-STPS-2012, Sistema para la administración del trabajo-Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas. Recuperado de: http://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4.detail?p_lang=es&p_isn=91231

- Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008; Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. Recuperado de: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/nom-017.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-052-Semarnat-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Recuperado de: <https://www.uaem.mx/progau/archivos/Marco/NOM-%20MEX/N2.-%20NOM-052-SEMARNAT,%20que%20establece%20las%20caracteristicas,%20el%20procedimiento%20de%20identificacion,%20clasificacion%20y%20listado%20de%20los%20residuos%20peligrosos.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-098-Semarnat-2002. Protección ambiental Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes. Recuperado de: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1309/1/nom-098-semarnat-2002.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-114-STPS-1994; Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo. Recuperado de: <http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/proteccioncivil/normatividad/NOM-114-STPS-1994.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-161-Semarnat-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo. Recuperado de: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6633/1/nom-161-semarnat-2011.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-162-Semarnat-2012, que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas en su hábitat de anidación. Recuperado de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286506&fecha=01/02/2013
- Norma Oficial Mexicana NOM-163-Semarnat-ENER-SCFI-2013, Emisiones de bióxido de carbono (CO₂) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos. Recuperado de: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6648/1/nom-163-semarnat-ener-scfi-2013.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-212-SCFI-2017, Pilas y baterías primarias-Límites máximos permisibles de mercurio y cadmio-Especificaciones, métodos de prueba y etiquetado. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5539835&fecha=03/10/2018
- Norma Oficial Mexicana. Nom-005-STPS-1998. Esta norma tiene por objetivo prevenir y proteger a los trabajadores contra riesgos de trabajo e incendio. Se aplica donde se almacenen, transporten o manejen sustancias inflamables y combustibles. Recuperado de: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-005.pdf>

- Norma Oficial Mexicana. Nom-009-STPS-1994. Su objetivo es prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de quemaduras. Recuperado de: <https://www.coursehero.com/file/p52oh9os/Nom-009-STPS-1994-de-las-Normas-Oficiales-Mexicanas-5-Seguridad-e-higiene-en/>
- Norma Oficial Mexicana. Nom-010-STPS-1994. prevenir y proteger la salud de los trabajadores y mejorar las condiciones de seguridad e higiene donde se produzcan. Recuperado de: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/stps/stps010c.pdf>
- NTP 291: Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit. Recuperado de: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_291.pdf
- Organización Internacional del Trabajo (2013). *La seguridad y la salud en el uso de productos químicos en el trabajo*. Recuperado de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_235105.pdf
- Organización Mundial de la Salud (2006). *Colaboremos por la salud. Informe sobre la salud en el mundo*. Recuperado de https://www.who.int/whr/2006/whr06_es.pdf?ua=1
- Parlamento Europeo y del Consejo. (2008). Reglamento (CE) No. 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) n o 1907/2006. Recuperado de <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj>
- Plan de Energías Renovables 2011-2020: Acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011, estableciendo objetivos acordes con la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, y atendiendo a los mandatos del Real Decreto 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial y de la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible. Recuperado de: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>
- Ramazzini, B. (2012). *De Morbis Artificum Diatriba. Tratado sobre las enfermedades de los trabajadores*. Traducción comentada de la edición de 1743. (Venecia) del Tratado sobre las enfermedades de los Trabajadores. “De Morbis Artificum Diatriba”. Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/VIGILANCIA%20DE%20LA%20SALUD/Tratado%20sobre%20las%20enfermedades%20de%20los%20trabajadores/tratado%20enfermedades.pdf>

- Real Decreto 374/2001, 6 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Recuperado de: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2001/374_01/PDFs/realdecreto3742001de6deabrilsobrelaprotecciondelasaludTxtAnt.pdf
- Reglamento de seguridad y salud para la construcción y obras públicas. No. 020-INS-DIR-ARCOM-2014. Recuperado de: <http://www.controlminero.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/08/Reglamento-de-Salud-y-Seguridad-en-el-Trabajo-del-Ambito-Minero.pdf>
- Resolución 1557 Exenta. Establece exigencias para la autorización de plaguicidas y deroga resolución n° 3.670 de 1999. Recuperado de: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1060172>
- Resolución N° 7/2013 publicada en el Boletín Oficial; mediante la cual se adjudicaron las cuotas de importación para 2013 sobre sustancias que agotan la capa de ozono. Recuperado de: [http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/4026308?fn=document-frame.htm\\$f=templates\\$3.0](http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/4026308?fn=document-frame.htm$f=templates$3.0)
- Resolución SRT 743/2003. Registro Nacional para la Prevención de Accidentes Industriales Mayores. Recuperado de: https://www.sertox.com.ar/img/item_full/RES743.pdf
- Resolución SRT N° 801/15. El Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social y la Superintendencia de Riesgos del Trabajo han estado participando en tareas relacionadas con el Sistema Mundialmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) desde 2004. Recuperado de: <https://www.srt.gob.ar/index.php/se-prorroga-la-fecha-para-el-cumplimiento-de-la-resolucion-srt-n-801-15/>
- Transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos. (INEN 2266:2000). Recuperado de: <http://www.prosigma.com.ec/pdf/gssso/INEN2266Transporte-Almacenamiento-y-Manejo-de-Productos-Quimicos.pdf>



*Si no digo algo, nadie sabrá de la
enfermedad de Minamata.*

Shinobu Sakamoto (Tosas, 2017)

WARD
MER



CAPÍTULO 8

Agentes tóxicos: metales

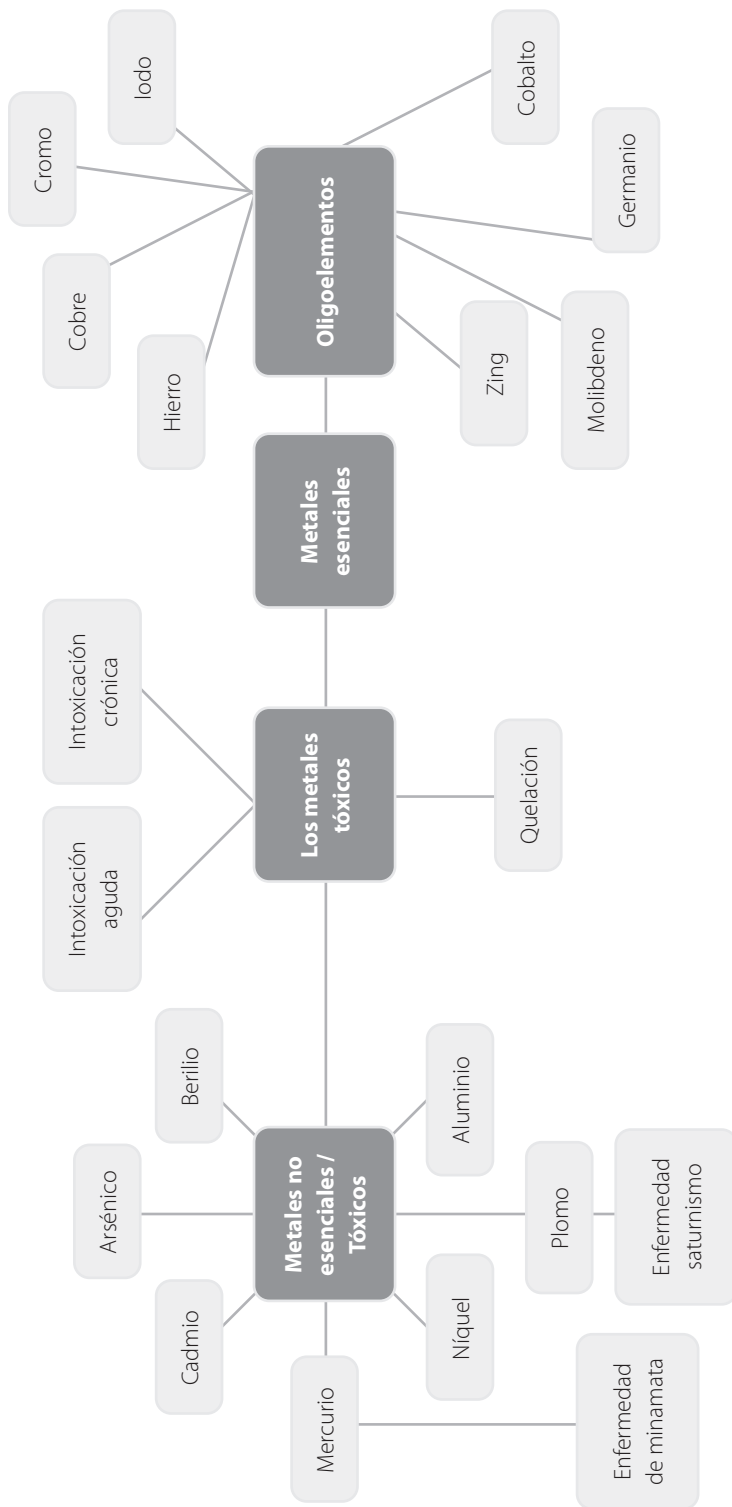
Javier Enrique Cortés Amórtegui

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Identificar los metales relacionados con las necesidades fisiológicas del cuerpo humano.
- Relacionar los conceptos de dosis, exposición a un agente tóxico y tipo de intoxicación, para describir las acciones que produce un compuesto metálico en la fisiología humana.
- Identificar las fuentes de exposición de los agentes metálicos tóxicos.
- Reconocer aspectos generales de la toxicocinética de los metales en el cuerpo humano.

Figura 8-1 Mapa conceptual sobre toxicología de los metales



Introducción

El grupo de los metales se describe químicamente en la tabla periódica de los elementos. Existen los llamados metales alcalinos y los alcalinotérreos que se describen en los grupos I y II A; y los metales de transición que se encuentran en los grupos III y VIII B. En estos grupos se representan varios metales, algunos de ellos con especial interés toxicológico. Frente a los análisis que se hacen a estos elementos, para comprender su toxicidad, es necesario observar las características químicas, las partes de su estructura electrónica, la constitución a partir de sus enlaces y, en este caso, se hará referencia al enlace metálico entre elementos del mismo átomo, que forma distribuciones cristalinas. Asimismo, se tendrán en cuenta los enlaces iónicos entre metales alcalinos con alcalinotérreos y no metales; de esta forma, se constituyen las siguientes moléculas (Duffus, 2002):

- Compuestos de un solo elemento metálico.
- Compuestos inorgánicos: óxidos, hidroxilos, oxácidos y halogenuros.
- Compuestos orgánicos con elementos metálicos: fenilos, acetatos y alquilas.

Con respecto a los estudios toxicológicos sobre los metales, el primer estudio de interés es caracterizar los agentes tóxicos de un solo elemento, aunque en esta ocasión se iniciaremos con los compuestos inorgánicos, que introducen en su campo los elementos metálicos de un solo elemento y a los compuestos inorgánicos propiamente dichos. Estos aparecen fundamentalmente en la litosfera y se denominan minerales; en forma habitual tenemos contacto con estos a través del agua y por contaminación de alimentos, aunque en concentraciones muy bajas, que terminan constituyendo intoxicaciones crónicas en los habitantes de poblaciones aledañas a las correntías de agua contaminada (Reyes, 2016). El problema esencial con estos elementos y compuestos se concentra en las actividades laborales relacionadas con minería y conexas a procesos homicidas (Ferrer, 2003).

Por otra parte, es importante tener en cuenta los estudios relacionados con la toxicología ambiental, donde se hacen aproximaciones académicas relacionadas con la exposición de cultivos

y la producción de estas sustancias en la industria, bien sea por el consumo desmedido de gasolinas, que produce partículas derivadas del plomo que perduran en el ambiente, o el uso exagerado de productos que en la actualidad se vuelven cada vez más comunes, por ejemplo, níquel, cadmio, mercurio, entre otros.

Por último, es pertinente reconocer que no todos los metales son tóxicos para los organismos vivos; teniendo en cuenta la dosis, la naturaleza proporciona elementos vitales para la vida, como los oligoelementos metálicos, que en trazas proporcionan a los organismos un apropiado funcionamiento a nivel celular (Ferrer, 2003).

Metales esenciales o traza y metales no esenciales o tóxicos

Los metales son las sustancias más conocidas en la naturaleza, por sus características fisiológicas y tóxicas, algunos de ellos son necesarios para mantener la vida y otros son muy peligrosos para los seres vivos.

Los metales que son tóxicos, pueden serlo por su propia naturaleza tóxica o por la cantidad o concentración a la que puedan ser expuestos los seres vivos. Los metales tóxicos, son las sustancias analizadas más antiguas que el hombre ha conocido, aparecen en la industria, en el agua, en los alimentos, en el aire y en general en ambientes contaminados.

Metales esenciales

Algunos elementos metálicos son de gran importancia para todos los organismos vivos: plantas, animales, hongos y bacterias; aunque muchas veces se piense que la presencia de estas sustancias son nocivas para la vida, en realidad estos metales en forma de trazas o en muy bajas cantidades son imprescindibles para ella (Franco, 2016).

Asimismo, hay que tener en cuenta que elementos metálicos presentes en los organismos vivos son diferentes de los que se encuentran fuera de ellos. Por ejemplo, el cobre en joyas, tubos o construcciones tienen diferente número de electrones, es decir, 29 electrones, tal como muestra la tabla periódica; por consiguiente, se dice que es cobre metálico con un número de oxi-

dación cero, pero el cobre que se encuentra en los organismos vivos tiene uno o dos electrones menos, entonces el número de oxidación es +1 o +2 y se dice que es el catión cobre.

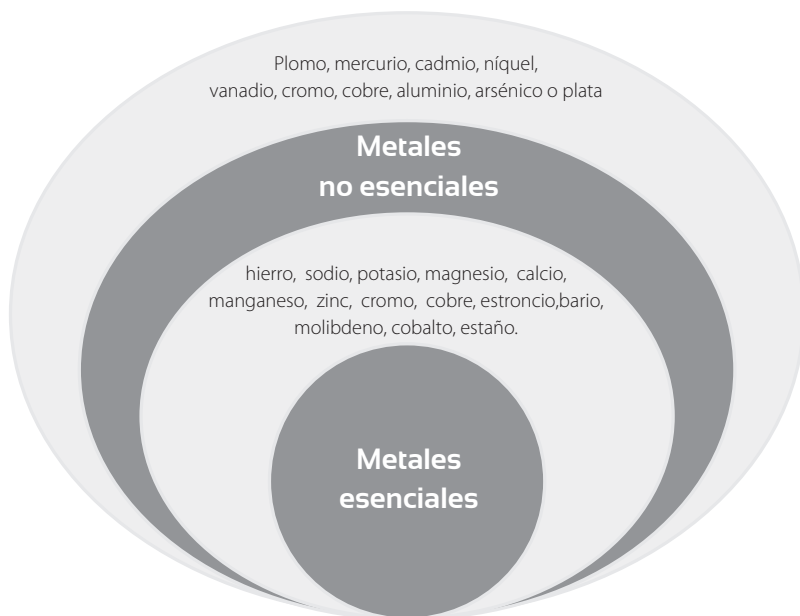
En general, todos los elementos metálicos que se encuentran en sistemas biológicos son cationes. Cuando el Cu^+ o Cu^{++} se encuentra en las proteínas y para que esté allí, existen maquinarias especializadas para captar el metal; usualmente todos los metales esenciales tienen sistemas de captación parecidos. Por ejemplo, dentro de las mitocondrias de las células eucariotas que realizan su labor en la respiración celular se encuentran enzimas llamadas citocromos, ricas en cobre y en hierro para realizar su función de activación y lisis de la molécula de oxígeno, y formar dos moléculas de agua y producir un gradiente de protones en la membrana de la mitocondria que producen ATP.

De esa misma manera, existen innumerables ejemplos de los metales que intervienen en procesos biológicos; el magnesio, el cobre y el zinc controlan los niveles de oxígeno dentro de la célula haciendo parte de la superóxido dismutasa, una enzima que cataliza estas reacciones. Los glóbulos rojos tienen una proteína rica en hierro: la hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno y el dióxido de carbono, que se encuentran relacionados con el metabolismo celular. En la sangre también se encuentra la albúmina sérica, una proteína que transporta cobre, una molécula que en uno de sus extremos permite que se le adhiera este metal, fundamental para realizar procesos celulares en el cuerpo.

Así mismo, es importante reconocer que estos compuestos esenciales están comprometidos en varias funciones fisiológicas y relacionados con patologías cuando las cantidades sobrepasan las requeridas. Estas enfermedades en su mayoría son neurodegenerativas, como en el caso del Parkinson y del Alzheimer (Wang, 2016). En la figura 8.2 se ilustran algunos ejemplos de metales esenciales y no esenciales.

Teniendo en cuenta que el ser humano no puede sintetizar oligoelementos, aunque son indispensables para el funcionamiento fisiológico del cuerpo, estos intervienen en las funciones de respiración celular, al igual que en los procesos de digestión, el funcionamiento de los músculos, la regulación de los desequilibrios corporales, los constituyentes de las enzimas (necesarios

Figura 8.2 Metales esenciales y no esenciales



para el crecimiento), igualmente participan en la disminución de la inflamación, entre otras. Estos elementos se encuentran en algunos alimentos, tal como se muestra a continuación.

1. El hierro se encuentra en la carne, el pescado, el hígado y algunas leguminosas y frutos secos; interviene en el transporte de oxígeno mediante los glóbulos rojos en el torrente sanguíneo; su ausencia produce fatiga y diversas afecciones respiratorias. La sobredosis se desarrolla en diversas etapas, que inician con vómito, diarrea y dolor abdominal, y termina con insuficiencia hepática.
2. El cobre es tomado de vegetales verdes, al igual que el pescado, algunas leguminosas, moluscos y crustáceos. Éste estimula el sistema inmunitario, actúa en algunas enzimas que intervienen en el crecimiento, el fortalecimiento de los huesos, el metabolismo de la glucosa, el colesterol, el desarrollo del cerebro y el funcionamiento del corazón, hígado y sistema nervioso. Una sobredosis rara vez se puede presentar, pero cuando ocurre puede ocasionar insuficiencia hepática y muerte. La intoxicación inicia con síntomas inespecíficos, malhumor, depresión y dificultad para conciliar el sueño.

3. El cromo se encuentra en berros, algas, carnes, hortalizas y cítricos. Estimula la función de la insulina e incrementa el ingreso de la glucosa en las células. La presencia del cromo en los seres humanos disminuye con la edad. Su sobredosis ocasiona anemia, fallo renal, trombocitopenia en sangre lisis de glóbulos rojos y problemas hepáticos.
4. El yodo, cuya fuente de este metal se encuentra en leche, algas, huevo, ajo, cebolla, limón, piña, entre otros alimentos. Asimismo, en hormonas como la tiroides, que actúa en el crecimiento y maduración del cuerpo; es importante para la piel, uñas, dientes y pelo. La sobredosis de este elemento ocasiona hipertiroidismo, produciendo ansiedad, insomnio y taquicardia.
5. El magnesio se encuentra en el pan integral, la carne, las hortalizas, la leche y frutos secos. Es importante para el desarrollo óseo y mantener las funciones reproductoras. Su exceso produce insuficiencia renal.
6. El selenio está presente en mariscos, verduras, cebolla, limón, ajo, cereales y diferentes tipos de carne. Es un buen antioxidante e interviene en el adecuado funcionamiento de músculos y funciona como protector del sistema cardiovascular. Su exceso ocasiona, en primera instancia, emesis, náuseas, diarrea, halitosis y mal olor por la sudoración.
7. El zinc se encuentra en nueces, vegetales verdes, legumbres, leche, ostras y pescado. Desempeña un papel importante en el crecimiento ya que se encuentra en las hormonas; también se reconocen sus funciones para la producción de insulina. Su exceso produce problemas neurológicos y es tóxico para las células sanguíneas.
8. El cobalto se encuentra en el ginseng, la cebolla, el ajo, la cáscara de arroz, los cereales, las legumbres, entre otros alimentos. También está presente en la vitamina B12 (cobalamina), utilizado para tratar la anemia en las mujeres, ya que estimula la producción de glóbulos rojos, la fabricación de la hormona tiroxina y la reparación de la mielina que se encarga de proteger las células nerviosas. El exceso ocasiona dificultad respiratoria, enfermedad pulmonar intersticial y la neumoconiosis del cobalto.

9. El flúor se encuentra en el té, el pescado, mariscos, cebolla, legumbres, hortalizas y verduras. Previene la aparición de caries y la osteoporosis; su exceso es tóxico, ocasiona fluorosis (lo opuesto para el cual se usa), debilitamiento del esmalte de los dientes y huesos; también puede producir trastornos en el cerebro.
10. El litio está en la soya, las fresas, los tomates, las legumbres y los cereales. Se utiliza en el sistema nervioso para tratar desórdenes nerviosos y afectaciones cardíacas. El exceso produce dolor de estómago, dolor articular, pérdida del cabello, daños renales y alteraciones de la glándula tiroidea.
11. El níquel se encuentra en moluscos, legumbres, cerveza y arroz integral; se usa para el tratamiento de anemias y enfermedades infecciosas.
12. El silicio está en la sandía, la calabaza, los cereales y el maíz; mejora la elasticidad y la resistencia de los huesos (Ferrer, 2003).

Metales no esenciales o tóxicos

Las fuentes más frecuentes de metales tóxicos que causan patologías se encuentran relacionadas con la actividad laboral, el consumo de alimentos o agua y contacto con el medio ambiente. Varias actividades laborales se vinculan directamente con la exposición e intoxicación por metales no esenciales, entre otras la minería, la metalurgia, la fundición y la construcción.

Toxicocinética de metales no esenciales

La toxicidad de estas sustancias es mediada en su mayoría por el transporte entre membranas que, de una u otra manera, regulan el tiempo de permanencia del tóxico en el organismo y la llegada a los órganos diana. Esta depende de la solubilidad a los lípidos y al agua, la volatilidad de los compuestos tóxicos, el pH y los mecanismos de transporte naturales que se producen entre membranas.

El comportamiento de los compuestos metálicos depende de la estructura y las propiedades químicas en las que se encuentre dicho elemento; es decir, las moléculas de conformación orgánica no presentan variaciones en la liposolubilidad, pero los compuestos inorgánicos tienden a ser más hidrosolubles. No

obstante, es importante resaltar que las sales metálicas son totalmente insolubles, como los fosfatos y los sulfatos.

Los compuestos orgánicos con metales dentro de su estructura, tienen mejor absorción y distribución ya que se difunden con mayor facilidad; estos pueden absorberse por vía cutánea y digestiva. Es importante recalcar que la absorción respiratoria depende de la temperatura que producen los vapores metálicos, asimismo de si el metal es particulado o como el mercurio único que es volátil. Las sales inorgánicas por ser insolubles, se absorben y difunden con mayor dificultad.

Los enlaces metálicos desempeñan un papel vital en los mecanismos de intoxicación; son estables y dan la posibilidad de formar estructuras cristalinas, lo que permite que los compuestos metálicos tengan puntos elevados de fusión y ebullición. Los metales pueden mezclarse cuando se funden; por tal razón, la densidad de estos compuestos es elevada. Por ello, cuando se habla del metabolismo de las sustancias metálicas, es posible decir que no influye en general en la toxicidad del elemento. Vale recalcar entonces que los compuestos organometálicos pueden transformarse lentamente en inorgánicos, con excepción del arsénico que es viceversa.

Un concepto fundamental para comprender la toxicocinética de los metales no esenciales es el de la vida media de los compuestos, que puede verse como la vida media plasmática o la vida media de eliminación, donde la mitad del tóxico absorbido es eliminado del cuerpo en determinado tiempo, o el tiempo en que la concentración plasmática del compuesto metálico se reduce a la mitad del nivel inicial.

Por consiguiente, es posible afirmar, en relación con los metales tóxicos o no esenciales, que tienen una vida media variable, que depende de la dosis de exposición. Esta medida con frecuencia es tomada en el torrente sanguíneo, orina y pelo (Ferrer, 2003).

Mecanismos de toxicidad de metales no esenciales o tóxicos

La toxicidad de las moléculas metálicas depende del elemento metálico que contenga la sustancia; la mayor toxicidad del gru-

po de los elementos metálicos tiene Pb, Hg y As. Otra característica que permite clasificar la toxicidad de estos elementos, es el estado de valencia, de tal manera que el arsénico si tiene el estado de valencia III, se cataloga con mayor toxicidad que el arsénico V, cuya característica permite una mejor interacción con otras moléculas.

En esa dirección, se puede decir que –en general– las células diana de los compuestos metálicos son proteínas, cuando estas son proteínas dinámicas o enzimas, que terminan afectando las cadenas de procesos bioquímicos, la fisiología de las membranas celulares y la morfofisiología de los orgánulos celulares. Por ello, es importante describir los mecanismos de acción tóxica de los metales, como fenómeno de interacción de ion metálico y célula diana. Esta acción tiene pocas excepciones.

Como se mencionaba anteriormente, los metales pueden ocasionar intoxicaciones crónicas cuando la exposición se hace a dosis bajas y por un periodo largo; asimismo, pueden producir intoxicaciones agudas en exposiciones a dosis altas, aunque la intoxicación aguda con metales no es frecuente y las intoxicaciones subagudas o crónicas son más comunes en ambientes laborales. Un aspecto que se debe tener en cuenta en las intoxicaciones por un largo periodo, es el efecto carcinogénico que producen algunos metales (arsénico, berilio, cadmio, cromo y níquel).

La quelación

La *quelación* es un tratamiento mediante el cual se someten los metales para constituir sustancias complejas con los iones metálicos. A los agentes que se adhieren a los metales se les llama quelantes, antagonistas o secuestradores de metales tóxicos; el producto de esta unión se denomina quelatos, compuestos atóxicos e hidrosolubles que se eliminan mediante la orina. Los cationes de los metales blandos forman complejos estables con los sulfuros, y los cationes de los metales duros (alcalinos y alcalinotérreos) se unen a los grupos COO⁻ del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). Los intermedios se unen al nitrógeno (Pb²⁺, As³⁺). Los agentes más comunes (Ferrer, 2003):

13. Para las intoxicaciones con arsénico, mercurio y plomo, se usa el BAL-British Anti-Lewisite- o el DMPS (ácido

2,3-dimercapto-1-propanosulfónico) y el DMSA (ácido meso-2,3-dimercatosuccínico o Succimer).

14. Las intoxicaciones por plomo, con el EDTA (ácido etilendiaminotetraacético).
15. Intoxicaciones con plomo, arsénico y mercurio, con penicilamina.
16. Intoxicaciones con hierro, la desferoxamina.

Intoxicaciones con plomo (Pb)

La principal fuente de intoxicación por este elemento es la ambiental, ya que las emisiones producidas por la combustión de la gasolina poseen plomo; se presentan en actividades laborales donde hay exposiciones al plomo, como minería, fumigaciones con plaguicidas, baterías, pinturas, soldaduras, cerámicas y fundiciones. Con este elemento, es frecuente que no haya intoxicaciones agudas; es usual encontrar intoxicaciones con dosis bajas y por largo tiempo, bien sea por acciones relacionadas con el trabajo o consumo de alimentos o agua contaminados. Los niveles permitidos en sangre llegan a 10µg/dl (10 microgramos por decilitro).

El plomo suele ingresar por las vías conocidas; en la vía respiratoria entra como material particulado proveniente de humos o partículas; éstos son detenidos por los macrófagos de los pulmones. La vía digestiva es colonizada en forma de sales, mientras la vía cutánea recibe formas orgánicas del elemento. Desde cualquiera de estas puertas de entrada, pasa al torrente sanguíneo, donde es absorbido por los hematíes, para luego hacerse sistémico. Las mayores concentraciones se encuentran en los huesos y en su orden (dientes, hígado, pulmón, riñón, bazo y cerebro). La excreción se realiza por vía urinaria y heces fecales. Las células diana del plomo son sistemas enzimáticos, que producen, entre otros, la enfermedad llamada saturnismo, caracterizada por anemia, ya que no se sintetiza hemoglobina.

El parecido químico del plomo con el calcio facilita su intervención en el metabolismo y en el Sistema Nervioso Central (SNC) donde hace mayor daño. Produce alteraciones en la función renal, llegando a producir gota saturnina. Las alteraciones en el sistema digestivo se reconocen por cólico, anorexia, vómito

y estreñimiento. En casos extremos puede producir infertilidad en ambos sexos, abortos y problemas congénitos. En el sistema nervioso central el plomo produce cefalea, abstinencia, insomnio y pérdida de la libido; en algunos casos, la literatura describe encefalopatía aguda, para lo cual el paciente puede terminar con convulsiones y coma.

Intoxicaciones con mercurio (Hg)

La exposición ambiental al mercurio tiene origen en minería, diversas industrias, pinturas, fungicidas, pirotecnia, baterías, pilas, producción de papel y laboratorios dentales. Los compuestos orgánicos del mercurio son los más tóxicos de todos. Los niveles permitidos en la sangre son de 10µg/l (diez microgramos por litro) y en la orina 20µg/l.

La absorción del mercurio se puede producir en todas las vías, pero la principal absorción es la respiratoria, i.e. por inhalación de vapor que se produce naturalmente a temperatura ambiente. En el torrente sanguíneo pasa al interior de los hematíes donde se convierte en catión, aunque el mercurio no oxidado puede llegar al SNC o pasar la protección transplacentaria en mujeres embarazadas. Este elemento puede ser activo hasta 60 días dentro del organismo. El mercurio inorgánico a menudo es absorbido por vía digestiva, lo cual ocasiona irregularmente intoxicaciones agudas; se elimina por vía renal y heces fecales. La toxicidad de este elemento se relaciona por su afinidad a grupos SH- (tiol, grupo funcional formado por un azufre y un hidrógeno).

La intoxicación por mercurio, no solamente es una de las más graves intoxicaciones, pues también ha desempeñado un papel importante en la historia; la mayoría de las veces su presencia es de origen laboral; por ejemplo, el caso de Minamata, población japonesa ubicada en una bahía, donde en la década de 1930 la Corporación Chisso inició su producción de aldehído acético y cloruro de vinilo para la fabricación de plástico, y para ello usaba mercurio como catalizador y los desechos eran arrojados a la bahía. Esta contaminación produjo uno de los mayores desastres ambientales; por ello, a la intoxicación por mercurio se le conoce como enfermedad de Minamata.

El mercurio metálico, relacionado con las intoxicaciones, es

semejante a las demás conformaciones del mercurio, cuyas manifestaciones se presentan a largo plazo como intoxicación orgánica. En efecto, los pacientes presentan temblor generalizado, alteraciones de la conducta y pérdida de la sensibilidad acompañada de disminución en la capacidad para movilizarse y sentir.

En el desastre producido en Minamata, el mercurio inorgánico es metilo, convirtiéndose en metilmercurio; esta metilación fue realizada por microorganismos de agua y peces, por esa razón se bioacumuló en peces y entró en la red trófica, causando una epidemia.

Intoxicaciones con arsénico (As)

Por su aparición y uso durante la historia de la toxicología, su alta toxicidad y propiedades organolépticas (sabor, olor, textura y color), como elemento ha sido estudiado con profundidad. Los compuestos del arsénico se utilizan tradicionalmente como plaguicidas, inmunizantes de madera, suplementos alimenticios para animales, acompañado de aleaciones metálicas, en medicamentos, cerámica y vidrio. La dosis letal del arsénico es de 10 a 300mg, aunque se considera una concentración normal en muestras de sangre 5µg/l.

La absorción del arsénico es buena en todas las vías; en todas puede presentar toxicidad, aunque histórica y fisiológicamente la que más ocurre es por vía digestiva. La absorción respiratoria del arsénico en el aire se presenta en espacios laborales, por lo general en forma de trióxido de arsénico. Con frecuencia, la inhalación pasa de 60% a 90%, alcanzando las partículas más pequeñas el tracto respiratorio. La absorción vía epidérmica causa irritación. Cuando logra ser absorbido pasa al torrente sanguíneo transportándose en los hematíes y proteínas plasmáticas; después de una intoxicación crónica pasa al hígado y riñón, donde termina por bioconcentrarse. La primera ruta de eliminación es la vía urinaria y una mínima cantidad por heces fecales. El arsénico en el organismo altera varias rutas enzimáticas donde puede disminuir la síntesis de ATP. Este elemento se considera un agente carcinógeno, causante de tumores en la piel y pulmones.

La literatura describe tanto intoxicaciones agudas como crónicas. Existen casos de cada una, por ejemplo, el caso de in-

toxicaciones homicidas que indudablemente son agudas, aunque para que sean causantes de toxicidad apreciable se requiere más de una dosis. Este tipo de intoxicación presenta vómitos, dolor abdominal, diarrea, sequedad en la boca y garganta; puede producir shock hipovolémico (pérdida acelerada de sangre o líquidos corporales), y como consecuencia presenta taquicardia y arritmias cardíacas. Los síntomas en el sistema nervioso son calambres musculares, debilidad y finalmente el coma; también se puede presentar falla renal y hepática, lo que produce la muerte por acción multisistémica.

Los análisis hechos a casos por intoxicación crónica se presentan en pacientes expuestos al medio ambiente, bien sea en labores profesionales o en pacientes que reciben tratamientos prolongados con medicamentos arsenicales; el diagnóstico es demorado ya que los síntomas aparecen cuando hay bioconcentración apreciable. Ésta se presenta con cuadros gastrointestinales, que oscilan desde anorexia, pérdida de masa, debilidad y malestar general. Otros síntomas pueden aparecer tardíamente, tales como dermatitis, neuropatía, parálisis y alteraciones hematológicas.

Términos clave



- Cadmio
- Enfermedad de Minamata
- Mercurio
- Metales
- Metales esenciales
- Metales tóxicos
- Níquel
- Plomo
- Saturnismo
- Trazas



ESTUDIO DE CASO

Docentes de artes plásticas intoxicados por plomo (saturnismo)

En los colegios de Latinoamérica, los estudiantes desarrollan competencias artísticas mediante diferentes técnicas como el trabajo con arcilla, la pintura y los oleos, entre otros. Esto les permite crecer como artistas y armonizar sus conocimientos con criterios de orden, belleza, pasión y sensibilidad.

En este marco, seis docentes del área artística vinculados a un colegio del sur de Colombia, que por años manipularon diferentes tipos de sustancias en diversos espacios de trabajo, crearon con espíritu de colaboración clases de pintura sobre vidrio, elaboración de murales con pintura doméstica, vasijas de barro esmaltadas y texturas de madera decoradas con pinturas de aceite.

Después de algunos años de realizar esta labor, los docentes empezaron a presentar con mayor frecuencia sintomatologías similares relacionadas con la astenia, que se caracteriza por fatiga y debilidad crónicas. Debido a esto, acudieron a sus respectivas entidades promotoras de salud, donde los médicos coincidieron en el diagnóstico, que consistió en que los docentes tenían lesiones de la tiroides con hipotiroidismo marcado. De hecho, al realizar las biopsias se solicitó análisis de plumbemia a dos de los seis docentes, ya que en las consultas presentaron soportes que evidenciaban contacto frecuente con pinturas, probablemente fabricadas con plomo.

Los análisis arrojaron intoxicación crónica por plomo, dado que el rango permitido es de 0,1 partes por millón, y los pacientes presentaron 12,3. Por lo anterior, los médicos internistas ordenaron hacer análisis de plumbemia a los cuatro maestros restantes, cuyos resultados arrojaron que todos sufrían de plumbemia o saturnismo.

La solución inmediata fue apartar a los docentes de toda exposición laboral relacionada con materiales que contuvieran plomo. No obstante, tres años después, regresaron a sus labores tres docentes a desempeñar actividades de arte con pintura, que probablemente contenía plomo. Como resultado de lo anterior, se empezaron a presentar ascensos progresivos en los análisis de plumbemia: 17 ppm, el primer mes; 51,4 el sexto mes de exposición, y 71,2 ppm al finalizar sus contratos laborales por intoxicación crónica con plomo. Además, los síntomas de esta enfermedad se volvieron

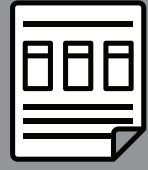


a presentar evidenciados por cefalea, astenia, vómitos, diarrea, poliartralgias y depresión.

Al finalizar sus contratos, los exámenes de egreso arrojaron afectaciones cardiovasculares, renales, depósitos de plomo en los huesos, problemas digestivos, hipoacusia, e irregularidades en la función renal. Por lo anterior, la comisión médica del servicio de salud de los pacientes dictaminó enfermedad laboral.

Con base en este caso, reflexione y responda las preguntas:

1. Reflexione acerca de la relación entre la ocupación de los trabajadores y su intoxicación.
2. ¿Cuáles fueron las actividades con mayor riesgo de intoxicación?
3. ¿Qué medidas implementaría para evitar esta enfermedad laboral?



RESUMEN

En el desarrollo de este capítulo se abordaron diversas posibilidades toxicológicas de los metales desde dos puntos perspectivas: los metales esenciales y los no esenciales para la naturaleza humana, haciendo especial énfasis en la toxicocinética de estos elementos, los efectos en la salud, las propiedades fisicoquímicas asociadas a su toxicidad y sus correspondientes compuestos. Entre los aspectos de particular atención se analizan las fuentes de exposición de dichos elementos, los valores permisibles y las enfermedades que producen.

En la actualidad, existen varios metales conocidos por su uso o cercanía a la vida humana, entre ellos se encuentran el plomo, el mercurio, el cromo, el cobre, el aluminio, el arsénico, entre otros; en general se trata de sustancias tóxicas, dependiendo de la dosis de exposición.

Por otra parte, muchos de estos elementos se utilizan como micronutrientes, para los seres vivos, aunque su bioacumulación o biomagnificación en el ecosistema los hace muy peligrosos. Las industrias han propagado este tipo de contaminación ambiental. Evidentemente, el uso indiscriminado y el mal manejo de los desechos de estos compuestos ponen en riesgo en gran medida a toda la humanidad.



CUESTIONARIO

1. Elabore un glosario con las palabras desconocidas que aparecen en este capítulo.
2. Construya un mapa conceptual con el glosario del punto anterior.
3. Realice una matriz de riesgo en la que se analice el caso de este capítulo.
4. En un cuadro, identifique la normatividad vigente sobre casos de intoxicación por plomo.
5. Describa los procesos fisiológicos del ser humano en los que interfieren los metales esenciales descritos en la figura 8.2.
6. Algunos de los metales esenciales se comprometen en intoxicaciones, ya que la dosis que entra al cuerpo humano no es la correcta para su uso normal. Cite tres casos en los que los metales esenciales se ven comprometidos en intoxicaciones; explique las causas.
7. De los metales no esenciales descritos en la figura 8.2, ¿cuáles son las fuentes de exposición más comunes?
8. Las intoxicaciones por metales más conocidas, a lo largo de la historia, son por plomo y mercurio. Elabore un diagrama y describa en este la toxicocinética de estas sustancias en el cuerpo humano.

Referencias

- Duffus, J.H. (2002). Heavy metals—a meaningless term? IUPAC Technical Report. Chemistry and human health division clinical chemistry section, commission on toxicology. En *Pure Appl. Chem.*, Vol. 74, No. 5, pp. 793-807, 2002, pp. 793-807.
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26 (Supl. 1), 141-153. Recuperado en 28 de febrero de 2019. Disponible en http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200008&lng=es&tlng=es
- Franco, L.; Muñoz, P. & García, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. En *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol. 14 No. 2, pp. 145-153. DOI: 10.18684/BSAA (14)145-153. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- Reyes, Y.C., et al. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. En *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16 (2), pp. 66-77. Disponible en https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447/4518
- S.a. (2017). La tragedia de ingerir mercurio. En *La Vanguardia*. Disponible en <https://www.lavanguardia.com/internacional/20171001/431638690465/historia-anonima-enfermos-mercurio-minamata.html>
- Tosas, G. (2017). Shinobu Sakamoto- Víctima de la enfermedad de Minamata. *La vanguardia internacional*. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/internacional/20171001/431638690465/historia-anonima-enfermos-mercurio-minamata.html>
- Wang, J.Y., et al. (2016). Meta-analysis of brain iron levels of Parkinson's disease patients determined by postmortem and MRI measurements. En *Biblioteca Nacional de Medicina de EE.UU. Institutos Nacionales de Salud. Sci Rep* ; 6:36669. doi: 10.1038/srep36669. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27827408>



¿Son necesarios? Es hora de derrumbar el mito que los agroquímicos son necesarios para alimentar al mundo.

Diálogo entre Hilal Elver, Relator Especial sobre el Derecho a la Alimentación y Baskut Tuncak (ONU), Relator Especial sobre Tóxicos.

CAPÍTULO 9

Plaguicidas

Diana Carolina Chaves Silva

Javier Enrique Cortés Amórtegui

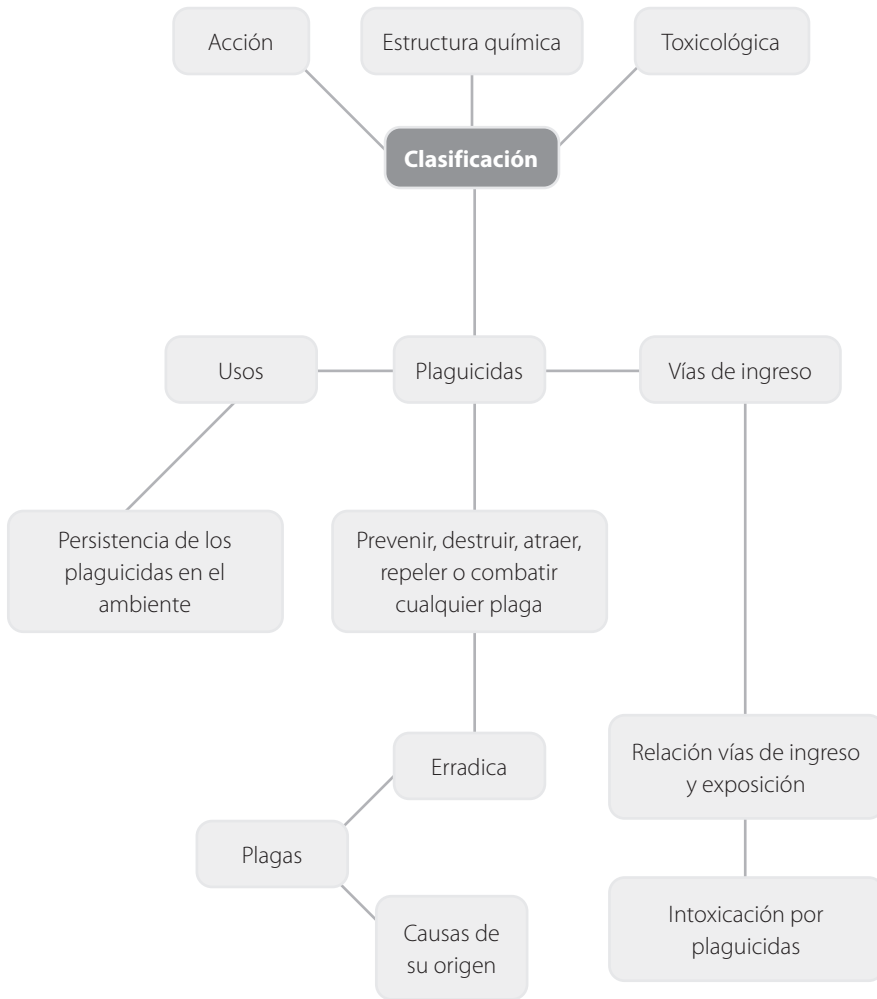
Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Reconocer el concepto de plaguicidas.
- Conocer y comprender la clasificación por uso.
- Conocer y comprender la clasificación por toxicidad.
- Explorar los efectos de exposición laboral a plaguicidas.



Figura 9-1 Mapa conceptual sobre toxicología de los plaguicidas



Introducción

La naturaleza en condiciones normales se encuentra en equilibrio, pero cuando el ser humano transforma los ecosistemas, algunas especies se ven abocadas irremediablemente a convertirse en plagas para la misma humanidad. Se denomina *plaga* a distintas colonias de animales u organismos vivos que eventualmente ejercen algún tipo de perjuicio al ser humano o a sus entornos. Los mecanismos mediante los cuales una especie cambia a plaga se deben a: desaparición de adversarios naturales en una red trófica, introducción de especies foráneas o ajenas en un ecosistema y por rotación de cultivos, a veces por especies acompañantes que se adaptan a otras variedades y crecen desmesuradamente cuando entra otra colonia. En ese orden de ideas, las plagas pueden ser vegetales que comúnmente se denominan malezas, aunque en realidad son especies que crecen descontroladas en forma silvestre sobre la tierra; animales que reclaman su territorio después de que el ser humano altera su hábitat; asimismo, pueden ser bacterias, virus, hongos o microorganismos a los cuales se les rompió su ecosistema.

Por consiguiente, cuando las condiciones del medio ambiente se vuelven contra el ser humano como especie, se ve en la necesidad de colocar barreras mediante sustancias, ingredientes activos o preparados que contienen uno o varios compuestos para combatir vegetales indeseables, bien sea de origen orgánico o inorgánico, natural o sintético, esto con el fin de regular el crecimiento de algunas especies acompañantes, conservar otras especies maderables, destruir el crecimiento de plantas nocivas para los intereses humanos.

Entonces, surge el plaguicida como sustancia destinada a prevenir, atraer, repeler, erradicar, sustituir o combatir plagas que puedan afectar la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos; instancias que afectan la calidad de vida o perturban los intereses productivos de los seres humanos.

La comprensión de los plaguicidas como tema toxicológico de interés regional, nacional y mundial junto con las temáticas sobre intoxicaciones y enfermedades de origen laboral que puedan generar pérdidas en la fuerza laboral y económica en el sistema de salud, permite que el estudiante de carreras

afines a la seguridad y a la salud en el trabajo pueda plantear estrategias de prevención, promoción y control para lograr una reducción en la tasa de accidentalidad y enfermedades laborales, tal como plantea la Ley 1562 de 2012, mediante la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en Materia de Salud Ocupacional (Ministerio de Salud, 2019). Con estos elementos en mente, se abordará integralmente la temática sobre plaguicidas, no solo en el ámbito laboral, sino también en el ambiente doméstico para reconocer objetivos de trabajo sobre la salud pública y el impacto ambiental.

Definición

De acuerdo con la FAO (FAO, 2018), plaguicida es una sustancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir una plaga, incluidas especies no deseadas de plantas o colonias de animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales, o que pueda darse en ciertos animales para combatir colonias de parásitos.

Esta definición no incluye por lo general fertilizantes, nutrientes de origen vegetal o animal, aditivos alimentarios ni medicamentos para animales. Los plaguicidas son productos químicos naturales o sintéticos que se comercializan en mezcla con aditivos, coadyuvantes y sustancias inertes. El ingrediente activo de un producto plaguicida es la molécula que corresponde a un compuesto químico de estructura química e identidad (número CAS) conocida.

Los plaguicidas se comercializan en diferentes presentaciones según su modo de acción, por ejemplo, existen cebos en bloques y granulados, formulaciones líquidas, suspensiones en cápsulas, concentrados emulsionables, polvos, suspensiones concentradas, gránulos solubles, polvos mojables, polvos solubles en agua, aerosoles, difusores a vapor, entre otros.

Clasificación

Los plaguicidas se pueden categorizar de diversas formas, una de ellas y la más importante es la toxicológica; también existe

una clasificación de acuerdo con su estructura química debido a que cada ingrediente activo de los plaguicidas corresponde a una molécula con propiedades fisicoquímicas definidas, que tienen impacto en la forma como actúan. Asimismo, se clasifican por su presentación comercial, es decir, el estado físico como se encuentren en el mercado y según la plaga que se pretenda eliminar.

Según la acción

Esta clasificación se basa en el efecto sobre las plagas. En el cuadro 9.1 se presenta un listado de plaguicidas clasificados por efecto y plaga por controlar.

Cuadro 9.1 Clasificación de plaguicidas según efecto y plaga

Clasificación según efecto	Plaga que controla
Insecticida	Insectos
Molusquicida	Moluscos
Larvicida	Larvas
Nematicida	Nemátodos
Fungicidas	Hongos
Rodenticidas	Roedores
Herbicidas	Hierbas

Según su estructura química

Esta clasificación se basa en el efecto sobre las plagas. En el cuadro 9.1 se presenta un listado de plaguicidas clasificados por efecto y plaga por controlar.

En cuanto a la estructura química se encuentran los plaguicidas inorgánicos que, por lo general, son sales (vale aclarar que la mayoría de plaguicidas con contenido de metales o metaloides –arsénico, cobre, boro, plomo, mercurio– han sido prohibidos en Colombia por el ICA (2019). Asimismo, existen los plaguicidas organosintéticos que según Córdoba & Vallejo

(2006) corresponden casi a 90% de los plaguicidas empleados en Colombia, cuya clasificación se basa en grupos funcionales responsables de las características fisicoquímicas; entre otros, organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, triazinas, cloronitrofenoles, lactonas macrocíclicas y oximas. En el cuadro 9.2 se presenta un ejemplo de cada uno.

Cuadro 9.2 Clasificación por grupo químico

Grupo químico	Ejemplo
Organoclorados	DDT, DDE, aldrín, endosulfán
Organofosforados	Diclorvos, malatión
Carbamatos	Propoxur, carbaril
Piretroides	Permetrina, cipermetrina
Triazinas	Atrazina
Cloronitrofenoles	Dinocap
Bipiridilos	Paraquat

Fuente: adaptación a partir de IUPAC, 2019.

Clasificación toxicológica

Según la OMS, los plaguicidas se pueden clasificar desde la perspectiva de la toxicidad aguda; éstos se pueden diferenciar entre menos o más peligrosos. La clasificación se realizó por primera vez en 1975 y se ha diseñado para su aplicación en ambientes de trabajo para la manipulación de los productos de acuerdo a buenas prácticas que se articular a una normatividad asociada al transporte y el almacenamiento, promulgada por las autoridades competentes.

Posteriormente a la aprobación en 2002 del SGA para clasificación y etiquetado de sustancias químicas en 2009, la OMS adaptó esta clasificación especialmente para lo que corresponde a categorías que constituyen peligro de toxicidad aguda o dérmica como punto de partida y asignar a los plaguicidas una clase de peligro, representado en sustancias en estado físico líquidas y sólidas.

Bases de la clasificación

La clasificación fundamentalmente diferencia formas menos o más peligrosas y se basa en la toxicidad del compuesto grado técnico o con base en sus formulaciones; en particular los sólidos representan menor riesgo que los líquidos.

La toxicidad se evalúa según los resultados experimentales de laboratorio en animales, por ejemplo, ratas para examinar la toxicidad aguda dérmica y oral en procedimientos estandarizados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). Uno de los parámetros de estos ensayos es determinar la dosis letal media (DL_{50}) y con este valor se clasifica la sustancia, pues cuanto menor sea el DL_{50} hallado, mayor será la toxicidad aguda atribuida.

De hecho, esta forma de clasificación tiene en cuenta efectos específicos del ingrediente activo; por ejemplo, si el producto formulado posee toxicidad moderada por su DL_{50} determinado, pero el ingrediente activo demuestra que produce daños irreversibles en órganos vitales o es extremadamente volátil o tiene efectos acumulativos, entonces debe ajustarse esta clasificación.

En Colombia el Decreto 1843 de 1991, capítulo 3, artículo 14, sobre las categorías declara lo siguiente: “Para efectos de clasificación [se] establecen las siguientes categorías toxicológicas de los plaguicidas [sic] ya sea en su formulación o en uno de sus componentes”, así:

- Categoría I. “Extremadamente tóxicos”.
- Categoría II. “Altamente tóxicos”.
- Categoría III. “Medianamente tóxicos”.
- Categoría IV. “Ligeramente tóxicos”.

Desde entonces el registro de plaguicidas se realiza en Colombia con base en el Decreto 1843 y la Decisión Andina CAN 436 (2018). En el cuadro 9.3 se presenta la clasificación de los plaguicidas por peligrosidad definida con el valor DL_{50} , el cual se determinó en ratas con formulaciones líquidas y sólidas, probadas mediante experimentación por vía oral y dérmica.

Cuadro 9.3 Clasificación por peligrosidad

Categoría	DL ₅₀ en ratas (mg/kg de peso corporal)			
	Oral		Dérmica	
	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
IA Extremadamente peligrosos	< 5	< 20	< 10	< 40
IB Altamente peligrosos	5-50	20-200	20-100	40-400
II Moderadamente peligrosos	50-500	200-2000	100-1000	400-4000
III Ligeramente peligrosos	> 500	> 2000	> 1000	> 4000

La clasificación del producto no obedece únicamente a la toxicidad del ingrediente activo, ya que el producto formulado es una mezcla de varias sustancias químicas en las que intervienen solventes y otros componentes, por tanto, la toxicidad resultante se debe a la mezcla de sustancias. Mientras que los productos volátiles o preparados en aerosol no obedecen a esta clasificación.

Adicional a esta clasificación, se debe cumplir la norma de etiquetado para transporte y almacenamiento que rija en cada país. Actualmente, con la implementación del SGA, la OMS modificó los criterios para clasificar los plaguicidas (OMS, 2018), al implementar las categorías de peligro para toxicidad aguda del SGA (UNECE, 2018); no obstante, es consistente con la clasificación realizada desde 1975. La diferencia es que ahora se tiene en cuenta la composición del producto y varios peligros para la salud, a los cuales se adiciona la toxicidad aguda. La clasificación también se enumera como Ia, Ib, II, III y U, esta última se refiere a que es improbable que represente peligro agudo.

En nueva clasificación, se mencionan fumigantes gaseosos o volátiles que no pueden clasificarse de esta manera y que la OMS recomienda catalogar con los límites de exposición ocupacional de las autoridades nacionales. En el cuadro 9.4 se presentan los plaguicidas que están fuera de esta clasificación.

Cuadro 9.4 Sustancias excluidas de clasificación (OMS)

Nombre de la sustancia	Uso
Fosforo de aluminio	Insecticida, roenticida
Cloropicrina	Insecticida, nematocida
1,2-dibromoetano	Insecticida, fumigante
1,3-dicloropropeno	Nematocida, bactericida
Dicloruro de etileno	Insecticida
Óxido de etileno	Insecticida
Formaldehído	Fungicida, bactericida
Cianuro de hidrógeno	Insecticida
Fosforo de magnesio	Insecticida
Bromuro de metilo	Insecticida, raticida, fungicida
Fosfina	Insecticida
Sulfuril fluoruro	Insecticida

Fuente: adaptación a partir de OMS (2018).

En Colombia, recientemente el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2019) canceló el registro de venta a 254 Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola (PQUA) con categorías toxicológicas I y II, cuyo contenido es ingrediente activo, por ejemplo, captan, clorotalonil y malatión entre otros. En la página del ICA se encuentra publicada la lista de plaguicidas prohibidos y restringidos (ICA, 2019).

Cotidianamente, el uso de plaguicidas se relaciona con la agricultura, ya que desempeñan un papel esencial para el manejo y control de plagas y organismos indeseables cercanos a los cultivos, aunque en muchas instancias, sólo se relacionan con el uso de otras formas de control, tales como la administración adecuada de técnicas integradas del manejo de plagas (agentes biológicos de control, barreras físicas y remoción mecánica, compatibles con el medio ambiente y la salud pública), que parecen suficientes. En la agricultura convencional se deben conservar parámetros de productividad y rentabilidad, adecuados para sostener el consumo de alimentos de una población determinada.

En este sentido, el uso de plaguicidas es múltiple, pues la agricultura constituye el área donde más se aplica, con diferencias

en el número de compuestos; también se aplican para el control de plagas en relación con la salud pública, para la vigilancia de enfermedades transmisibles por vectores, como la rabia, la enfermedad de Chagas, el dengue o la malaria, entre otras afecciones.

También se aplican en la ganadería para animales domésticos, o para el control de plagas en embarcaciones, aviones, trenes, edificaciones y centros comerciales. Son importantes igualmente para el control de malezas de áreas verdes, donde hay insectos, moluscos, hongos y se presenta el crecimiento de plantas indeseables. De la misma manera, es necesario aplicarlos en autopistas, vías férreas y estructuras que conducen corrientes de alta tensión. En parques y reservas naturales, por ejemplo, se utilizan para controlar fuentes hídricas para que no crezcan hongos, algas, bacterias y hierbas; también conservan la flora y la fauna endémica de tal modo que no sea transformada por organismos oportunistas.

En la industria se utilizan para mantener las condiciones de equipos eléctricos, pinturas, cartón y empaques de alimentos para su conservación prolongada de éstos en condiciones ambientales. En el hogar se incorporan en cosméticos y artículos para el aseo, de tal modo que sirven para conservar sin hongos ni bacterias, y se utilizan en repelentes contra toda clase de organismos a fin de para mejorar la calidad de vida de las mascotas en el interior de los hogares (Narváez, Palacio y Molina, 2012). De acuerdo con un estudio de la (Superintendencia de Industria y Comercio, 2013), para el año 2010, de los 29 países con mayor promedio de uso de plaguicidas (más de 10 toneladas por cada 1000 hectáreas sembradas), el 45 % corresponde a países latinoamericanos, donde el segundo lugar lo ocupa Costa Rica, el cuarto lo ocupa Colombia y el quinto el Salvador, sexto Surinam y el séptimo Ecuador.

La FAO reporta en 2011 de nuevo un incremento frente a los años anteriores, esta vez el mayor uso de insecticidas lo presenta Italia, Alemania, Uruguay y Reino Unido.

Hoy se busca un uso racional y sostenible de plaguicidas en el planeta. La producción de alimentos en el mundial requiere cada vez más modelos sostenibles, que no acarreen efectos adversos contra el ambiente. En realidad, es posible evaluar grandes cantidades de sustancias arrojadas al ambiente, y las cifras

de plaguicidas superan los esfuerzos por conservar el planeta en condiciones habitables, pues se trata de sustancias que entran en las redes tróficas y se concentran en los organismos vivos con mayor proporción en el nivel más alto de la cadena alimentaria, el ser humano.

Vías de ingreso de plaguicidas

Existe una relación directa entre la vía de entrada de plaguicidas y la acción que pueden producir en un organismo vivo; pues la acción de éstos actúa en el tracto digestivo y los productos necesariamente deben ser ingeridos. Estas sustancias tienen sabores y olores, que diseñan para evitar su consumo por parte de los seres humanos accidentalmente como en el caso de niños, pero en el caso de animales facilitan la degustación. Tienen presentaciones líquidas, en polvo o en forma de cebo, como los que se utilizan para el control de roedores e insectos. En cuanto a los plaguicidas de contacto, que ingresan por vía cutánea y penetran las barreras de la piel corporal, realizan varias acciones, algunos desdoblán la capa cerosa de los insectos, en cuyo caso, provocan la pérdida de líquidos y producen deshidratación.

Otras características de los plaguicidas que usan la piel como vía de entrada aparecen en el ambiente en forma de aerosoles, humos o aspersiones para que, mediante contacto, cumplan funciones sobre los insectos u otras plagas. Otros plaguicidas de acción residual se quedan en el ambiente por varios días, formando películas, que aumentan la dosis de exposición de artrópodos. El sistema respiratorio de los insectos es rudimentario, pues lo hacen por medio de tráqueas y la entrada de aire se produce por espiráculos que se encuentran en la parte posterior del cuerpo de estos; así, los productos que ingresan por esta vía, habitualmente son gases o vapores, otros en el medio ambiente liberan vapores y se aplican en lugares cerrados.

En el ser humano, los plaguicidas pueden ingresar por todas las vías, y al igual que los insectos, la vía de entrada más usual es la respiratoria. Según los estudios observados, la población humana se protege sólo contra plaguicidas que pueden entrar por esta vía, pero ignoran las demás formas de ingreso y, en algunas ocasiones, esta puede ser la razón de la intoxicación. Las fuentes usuales de intoxicación con plaguicidas son:

- Ocupacionales, por actividades de manipulación de plaguicidas.
- Accidentales, por desconocimiento de la peligrosidad de la sustancia o por uso accidental.
- Criminales, generalmente cuando se utilizan deliberadamente algunas sustancias para cometer homicidios.
- Voluntarias, por uso con conocimiento de la peligrosidad en acciones suicidas.

Relación vía de ingreso con exposición

Vía digestiva

Tal como se ha mencionado, es la ruta más frecuente de exposición y presenta las consecuencias más graves en el momento de la absorción; por lo general, se presentan por acciones accidentales y ocupacionales. Las causas más frecuentes pueden ser:

- Consumir alimentos contaminados o tener las manos contaminadas.
- Tomar alimentos en envases reciclados y contaminados o reenvasar plaguicidas en recipientes de uso cotidiano.

Vía respiratoria

Es la ruta en la que se absorben mediante inhalación líquidos volatilizados, gases y vapores; ésta suele ser la que presenta efectos con mayor velocidad, pues la absorción de las partículas pasa con mayor rapidez dependiendo de su tamaño.

Este comportamiento es directamente proporcional al tamaño, ya que cuanto más pequeñas sean, más rápida será su entrada al sistema; si el tamaño oscila entre 50 a 100 μm , éstas quedarán adheridas a la nariz, pero si son menores a 10 μm (INSHT, 2019) podrán llegar hasta los alvéolos pulmonares. Casi todas las sustancias que llegan a este punto, pasan al sistema circulatorio. Los comportamientos más habituales que facilitan su entrada, pueden ser:

- Preparación de equipos para la aplicación de plaguicidas o alistamiento de sustancias plaguicidas en espacios cerrados.

- Preparación de plaguicidas en polvo en espacios abiertos con corrientes de viento.
- No uso de elementos de protección personal durante todo el procedimiento o uso inadecuado.

Vía cutánea

En el ámbito ocupacional es la vía más usual; es probable que 90% de los accidentes ocupacionales con plaguicidas se presenta por esta vía y ocurran por:

- Salpicaduras o derrames.
- Manipulación de equipos contaminados.
- Trabajos habituales donde hay exposición constante.
- Inadecuada aplicación de sustancias.
- Uso inadecuado o no uso de protección personal.
- Malos o nulos hábitos de higiene.

Intoxicación con plaguicidas

La toxicidad de un plaguicida depende de su condición física, estructura química, propiedades fisicoquímicas, vías de exposición, organismo (edad, raza), condiciones ambientales de temperatura o humedad, que podrían facilitar o inhibir su absorción y bioacumulación. Según el Instituto Nacional de Salud (2018) en 2017 se reportaron al Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA) 39,709 casos de intoxicaciones por sustancias químicas, de las cuales 8.423 correspondían a plaguicidas, siendo 21.2% de los reportes anuales. Esto demuestra que los plaguicidas están presentes tanto en sitios de trabajo como en hogares, y su exposición incrementa a la par con el aumento en producción y comercialización.

En cuanto a la notificación del número de muertes por intoxicación por sustancias químicas, los plaguicidas ocupan el primer lugar con 57,47%, ratificando así su peligrosidad. Los plaguicidas por sus características fisicoquímicas, toxicocinéticas, toxicodinámicas y su mal uso, han estado involucrados en efectos tóxicos tanto agudos como crónicos sobre el ser humano, y llama la atención casos fatales por intoxicación

aguda debido a ingestión accidental o con propósitos suicidas u homicidas. De hecho, los grupos de plaguicidas involucrados en el mayor número de muertes son carbamatos y organofosforados.

Otro aspecto para tener en cuenta es que las intoxicaciones con plaguicidas no se manejan de la misma manera, ni tienen las mismas implicaciones clínicas; algunos casos son extremadamente tóxicos y no se dispone de antidotos específicos para su manejo, otros son de baja toxicidad y son mínimos los efectos tóxicos en el organismo. Es importante comprender, no obstante, la implicación que tienen las intoxicaciones agudas por plaguicidas para su identificación y manejo.

Mecanismo de toxicidad de los inhibidores de la acetilcolinesterasa

La acetilcolina es uno de los principales neurotransmisores del organismo, que se une a los receptores muscarínicos, nicotínicos y otros del sistema nervioso central SNC. En estado normal, cuando la acetilcolina se libera es rápidamente hidrolizada por la enzima colinesterasa. No obstante, en presencia de moléculas como organofosforados o carbamatos, la enzima se inhibe porque se unen a ella, generando acumulación de acetilcolina.

Los organofosforados como, por ejemplo, el malatión inhiben irreversiblemente la enzima colinesterasa; asimismo se caracterizan porque:

- Se absorben por todas las vías: oral, dérmica, conjuntival, parenteral, rectal e inhalatoria.
- Su principal acción es sobre la acetilcolinesterasa (colinesterasa eritrocítica) y la colinesterasa plasmática (butirilcolinesterasa).
- Producen una unión estable “irreversible”, por fosforilación enzimática, produciendo inhibición de acetilcolinesterasa (ACE)

Tienen otro efecto de exposición a los plaguicidas organofosforados que es la neurotoxicidad retardada.

Por otra parte, el grupo de carbamatos [por ejemplo, aldicarb (insecticida), metomil (insecticida), carbofurán (insecticida), carbaril y propoxur], corresponde en su mayor parte a derivados del ácido N-metilcarbámico, su forma de acción es similar a los organofosforados y son inhibidores reversibles de la ACE, ya que en poco tiempo dejan la enzima libre. Éstos ingresan a través de la piel, al igual que por vía conjuntiva, respiratoria o digestiva y la eliminación se hace principalmente por vía urinaria.

Si bien los plaguicidas organofosforados y carbamatos tienen grupos químicos diferentes, el mecanismo mediante el cual producen toxicidad es el mismo y se asocia a la inhibición de la ACE, con la acumulación de la acetilcolina se altera el funcionamiento normal de las fibras nerviosas, lo que genera convulsiones, confusión, delirio, coma y depresión respiratoria.

La forma de medir la exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en lugares de trabajo principalmente es a través del examen de colinesterasa en sangre, el cual mide la actividad de la enzima y se compara con las tablas de referencia para Colombia para saber si existe inhibición o su actividad está normal. En el cuadro 9.5 se observan los valores considerados de referencia en un estudio realizado en 2003 en Antioquia (Carmona-Fonseca, 2003). En este estudio se compararon varios métodos para medir este bioindicador de efecto, entre los cuales se encuentran: el método potenciométrico de Michel, el método colorimétrico de EQM[®] y el método colorimétrico Lovibond. La población seleccionada correspondía a 827 trabajadores sanos (hombres y mujeres con edades entre 18 y 75 años) no expuestos a inhibidores de la enzima, a quienes se les midió la actividad de colinesterasa. Este estudio demostró que a medida que aumenta la edad se incrementa la actividad colinesterásica medida con el método de Michel, tanto en hombres como en mujeres de diferentes regiones, pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Mientras que con el método EQM[®] no se encontraron diferencias significativas en edad y sexo.

Cuadro 9.5 Valores de referencia de actividad de colinesterasa en estudio en Antioquia

Método	Valor medio hallado	Unidades	Intervalo de confianza (IC 95%)
Michel	0.857	delta de pH/hora	0.849 a 0.866
EQM [®]	35.21	U/g oxihemoglobina	34.82 a 35.60

Fuente: a partir de Carmona-Fonseca (2003).

Actividad mínima aceptable de la colinesterasa

La Conferencia Estadounidense de Higienistas de Industrias Estatales (ACGIH) tiene como actividad mínima aceptable 75% para el valor basal de la persona (Carmona-Fonseca, 2003), mientras que el Laboratorio de Salud Ocupacional del Seguro Social, seccional Antioquia, admite como actividad mínima aceptable 80% de la actividad enzimática promedio. Otras fuentes adoptan como valor mínimo aceptable de la actividad colinesterásica 80% del límite inferior de IC95% para la población. En el cuadro 9.6 se presenta la interpretación de la intoxicación aguda de acuerdo con el porcentaje de inhibición de la enzima (Ministerio de la Protección Social, 2018).

Cuadro 9.6 Interpretación de inhibición de actividad de acetilcolinesterasa

Disminución de actividad de la enzima acetilcolinesterasa	Severidad de intoxicación aguda
<25%	Normal
25-50%	Intoxicación leve
50-75%	Intoxicación moderada
>75%	Intoxicación severa

La exposición a largo plazo de algunos plaguicidas genera genotoxicidad, daños en la reproducción y, en algunos casos, cáncer. En la página de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, 2018) se encuentra publicado el listado de sustancias clasificadas como cancerígenas, el cual se actualiza periódicamente y presenta plaguicidas, tales como dieldrín y aldrín, entre otros.

Persistencia de plaguicidas en el ambiente

Los plaguicidas se consideran los mayores contaminantes ambientales derivados de la producción humana, y como efecto boomerang se estudian sus acciones en la misma especie humana. En Colombia, al igual que en el mundo, el uso de plaguicidas organofosforados, carbamatos y piretroides, entre otros, pueden constituir la fuente de un gran problema ambiental, aún más los organoclorados que se aplicaron hace más de una década, pero por persistencia, se degradan en los ecosistemas durante mucho tiempo, ya que permanecen activos por más de 15 años.

Teniendo en cuenta que la diseminación se realiza por adherencia a sedimentos que van por escorrentías de agua superficial o freática, su efecto llega a cientos de kilómetros de distancia con diferentes comportamientos durante su recorrido. La persistencia de los plaguicidas es una característica que depende de la degradación natural del compuesto, que –por su alta duración en el ecosistema– pueden transformarse en otros metabolitos con mayor toxicidad. El reconocimiento de esta transformación y sus efectos sobre la biota y seres humanos aún se encuentra en una etapa incipiente.

Otro punto importante para tener en cuenta es que después de aplicado el plaguicida en una planta, comienza a ser eliminado, en función de factores que dependen de la tasa de crecimiento de la misma planta, las condiciones ambientales, las características particulares del plaguicida y su degradación ambiental, en las que desempeña un papel esencial la radiación solar. El destino final del plaguicida en el ecosistema, por consiguiente, depende de varios factores que lo colocan en diversas situaciones, todas difíciles de analizar. Sin duda, asimismo, el cálculo de la bioconcentración en las redes tróficas también es difícil de dimensionar. Por ello, cuando estas sustancias persistentes ingresan en las redes tróficas, entran igualmente en las redes alimenticias, acumulándose en cada especie de organismo vivo por donde pasan (bioacumulándose) y aumentando su concentración en cada uno de estos niveles (biomagnificándose), lo que produce concentraciones letales para los últimos peldaños de cada cadena alimentaria.

La bioacumulación depende de la naturaleza química del compuesto; por tanto, de la cantidad de sustancia que se expone

a los individuos, la rapidez de absorción y la eliminación del tóxico en cada especie. Por lo general, estas sustancias persistentes son insolubles en el agua, solubles en lípidos y muy estables en términos químicos, cuyas propiedades favorecen la bioacumulación y la biomagnificación (Castrejón, *et al.*, 2014).

de masa, debilidad y malestar general. Otros síntomas pueden aparecer tardíamente, tales como dermatitis, neuropatía, parálisis y alteraciones hematológicas.

Términos clave



- Bioacumulación
- Biomagnificación
- Carbamato
- Clasificación toxicológica
- Colinesterasa
- DL_{50}
- Formulación
- Ingrediente activo
- Organoclorado
- Organofosforado
- Plaguicida



ESTUDIO DE CASO

Alerta fitosanitaria

En la actualidad, es común observar la circulación de plantas, frutas y vegetales en las fronteras de los países, que requieren ciertos permisos o requisitos fitosanitarios para su correspondiente exportación o importación. Un certificado fitosanitario es emitido por las autoridades públicas que confirman la cualificación y la calificación técnica respectivas de cada país, las cuales se expiden para indicar y demostrar que las plantas y los productos vegetales cumplan con las condiciones requeridas para su circulación; estas normas incluyen limpieza, calidad y mecanismos de transporte del producto, entre otros. Sin embargo, algunos problemas se encuentran en productos como, por ejemplo:

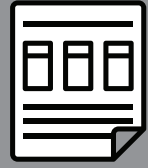
- Ciruelas contaminadas con *Cydia pomonella* (*polilla*); esta plaga no es común en diversos países; sin embargo, se considera una amenaza para el país que la reciba.
- Peras y manzanas pueden estar contaminadas con la niebla del peral y del manzano (*Erwinia amylovora*). Esto impide la salida o recepción de aquellos países que comercialicen estas frutas, pues dicha infección puede ser transportada por parte de los operarios en las aduanas.
- Las flores frecuentemente circulan de un país a otro, y estas son presa de innumerables tipos de royas, insectos o bacterias que afectan la salud de los ecosistemas y de otras especies que acompañan estos envíos.

Con base en la información de este caso, responde las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el nombre de la plaga que afecta las peras y las manzanas?
2. ¿Qué anomalías, enfermedades o alteraciones en las manzanas, peras y ciruelas podrían producir las plagas mencionadas?
3. ¿Qué tratamiento se puede hacer a estas frutas y flores antes y después de su despacho?
4. ¿Qué es un plaguicida de categoría toxicológica III?
5. ¿Cuáles elementos de protección personal se podrían proponer para el trabajador que aplica el plaguicida? ¿Qué afectación podría tener el medio ambiente posteriormente a la aplicación del plaguicida?



6. ¿A las ciruelas se les debe aplicar un plaguicida eficiente para contrarrestar la *Cydia pomonella* (*polilla*) y evitar el ingreso de esta plaga al país? Justifique su respuesta.
7. ¿Qué dice la normatización de su país sobre el ingreso de potenciales vegetales contaminados por agentes biológicos? ¿Cuál es su criterio personal?



RESUMEN

Los plaguicidas son sustancias producidas por el hombre con un alto porcentaje de uso cotidianamente. Fundamentalmente, se utilizan para controlar organismos vivos en muchos ámbitos de producción humana. Se clasifican de varias maneras, dependiendo de su función, como insecticidas, raticidas, herbicidas y fungicidas, entre otros; o por la familia química a la cual pertenecen: organoclorados, organofosforados, piretroides o carbamatos, entre otros; igualmente, por célula u órgano diana, su composición o su duración en la naturaleza. Todos tienen efecto biocida que, por su estructura química, no tienen comportamiento selectivo o diferencial total para las especies que ataca; por consiguiente, se constituyen en sustancias tóxicas para especies no objetivo. El problema central de los plaguicidas es su alta demanda a nivel mundial, la persistencia en los ecosistemas y los daños que puede causar al final de su recorrido en los mismos seres humanos. Los efectos para la salud por determinados plaguicidas pueden ser intoxicaciones crónicas o agudas, o producir efectos para la reproducción o generar cáncer y genotoxicidad, entre otros daños.

El origen de estos productos tuvo sentido en los primeros usos, por ejemplo, fumigaciones de DDT contra la malaria; no obstante, por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación resulta necesario acabar con su producción, pero en cambio han cobrado intereses de diversa índole, entre otros los políticos, relacionados con el control y prevención de producciones de plantas inadecuadas para la especie humana. Las evidencias actuales de repetidos episodios de intoxicaciones humanas, descritas por las clases de plaguicidas químicos, ubican a estas sustancias en una escala de preocupación sanitaria, que va más allá de su control para los ámbitos laborales (Del Puerto, et al., 2014).



CUESTIONARIO

Marque verdadero o falso, según el caso. Justifique sus respuestas.

1. La inhibición de la enzima acetilcolinesterasa es ocasionada por la intoxicación con plaguicidas organoclorados.
2. Los casos de intoxicaciones por plaguicidas se han reducido en los últimos años, porque su producción es más segura.
3. Los plaguicidas han producido pequeños beneficios a la producción agrícola y, a su vez, leves problemas de salud pública, ya que su uso es totalmente seguro.
4. Los grupos de plaguicidas involucrados en la mayor parte de las intoxicaciones agudas son organofosforados, organoclorados, carbamatos y piretroides.
5. Los plaguicidas se clasifican según sus características principales, como toxicidad, vida media, estructura química y uso.
6. Un plaguicida es una sustancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler y combatir una plaga.

Referencias

- CAN. (3 de 02 de 2018). *Resolución 630 Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola*, Lima, 26 de junio de 2002.
- Disponible en <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos/manual-tecnico.aspx>
- Carmona-Fonseca, J. (2003). Valores de referencia de la actividad de la colinesterasa eritrocitaria según las técnicas de Michel y EQM® en población laboral de Antioquia, Colombia. En *Revista Panamericana de Salud Pública*, 316-324. Disponible en <http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/8292/18870.pdf?sequence=1>
- Castrejón, M. et. al. (2014). Plaguicidas: generalidades, usos e impactos sobre el ambiente y la salud. Disponible en [file:///C:/Users/Javier/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosofEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Cap.LosplaguicidasGeneralidadesusoseimpactossobreelambienteylasalud%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Javier/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosofEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Cap.LosplaguicidasGeneralidadesusoseimpactossobreelambienteylasalud%20(1).pdf)
- Córdoba, D. & Vallejo, M.D. (2006). *Toxicología*. Bogotá: Manual Moderno.
- Del Puerto, A. et al. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. En *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387. Recuperado en 02 de marzo de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&tlng=es.
- FAO. (10 de 12 de 2018). Definiciones para los fines del Codex Alimentarius. Disponible en <http://www.fao.org/3/w5975s/w5975s08.htm>
- Superintendencia de industria y Comercio. Grupo de estudios económicos (2013). Estudios Económicos Sectoriales. Estudio sobre Plaguicidas en Colombia. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/308765943_Estudio_Sobre_El_Sector_De_Plaguicidas_En_Colombia_The_Pesticide_Sector_in_Colombia
- IARC. (09 de 11 de 2018). IARC. Recuperado el 09 de 01 de 2019, de <https://monographs.iarc.fr/monographs-and-supplements-available-online/>
- ICA. (14 de 02 de 2019). Disponible en Plaguicidas restringidos y prohibidos: <https://www.ica.gov.co/getdoc/b2e5ff99-bd80-45e8-aa7a-e55f0b5b42dc/plaguicidas-prohibidos.aspx>
- _____. (20 de 02 de 2019). Disponible en <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-cancelo-plaguicidas-agricolas.aspx>
- _____. (25 de 02 de 2019). *El ICA alerta a la población de Buenaventura por comercialización de peras que no cumplen requisitos*. Disponible en <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-alerta-peras-toxicas-buenaventura>

- INSHT. (20 de 01 de 2019). Fracción inhalable, torácica y respirable. Disponible en http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Instituto/Noticias/Noticias_INSHT/2011/ ficheros/Fracciones%20inhalable,%20torácica%20y%20respirable.%20Encarnación%20Sousa.pdf
- Instituto Nacional de Salud. (4 de 11 de 2018). *SIVIGILA*. Disponible en <chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbfmadadm/https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/INTOXICACIONES%202017.pdf>
- IUPAC. (21 de 01 de 2019). THE PPDB. *Pesticide Properties Database*. Disponible en <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/index.htm>
- Lezáun, M. (2003). Intoxicaciones de origen laboral. *Anales Sis San Navarra*.
- Ministerio de la Protección Social. (12 de 10 de 2018). *Guías para el manejo de urgencias toxicológicas*. Disponible en <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Gu%C3%ADa%20de%20Manejo%20de%20Urgencias%20Toxicol%C3%B3gicas.pdf>
- Congreso de Colombia. (25 de 01 de 2019). Ley 1562 de 2012. Disponible en https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Ley%201562%20de%202012.pdf
- Narváez, J.; Palacio, J. y Molina, F. (2012). Environmental persistence of pesticides and their ecotoxicity. A review of natural degradation processes. En *Revista Gestión y Ambiente*. Volumen 15 - No. 3, Diciembre de 2012, Medellín ISSN 0124.177X. pp. 27-38. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/35839/1/36278-151112-1-PB.pdf>
- OMS. (20 de 12 de 2018). *The who recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification2009*. Disponible en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44271#sthash.JuKBNXab.dpuf>
- Presidencia de la República de Colombia. (14 de 09 de 2018). Decreto 1843 de 1991. Invima. Disponible en <https://www.invima.gov.co/decretos-en-plaguicidas-de-uso-domestico/decreto-1843-1991-pdf/detail.html>
- UNECE. (15 de 07 de 2018). Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). Disponible en http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev03/03files_e.html



La exposición a una baja concentración de un gas venenoso durante un tiempo largo, a menudo tiene el mismo efecto que la exposición a una alta concentración durante un tiempo corto.

Fritz Haber, 1918 (Woodnyet. 2007)



CAPÍTULO 10

Gases

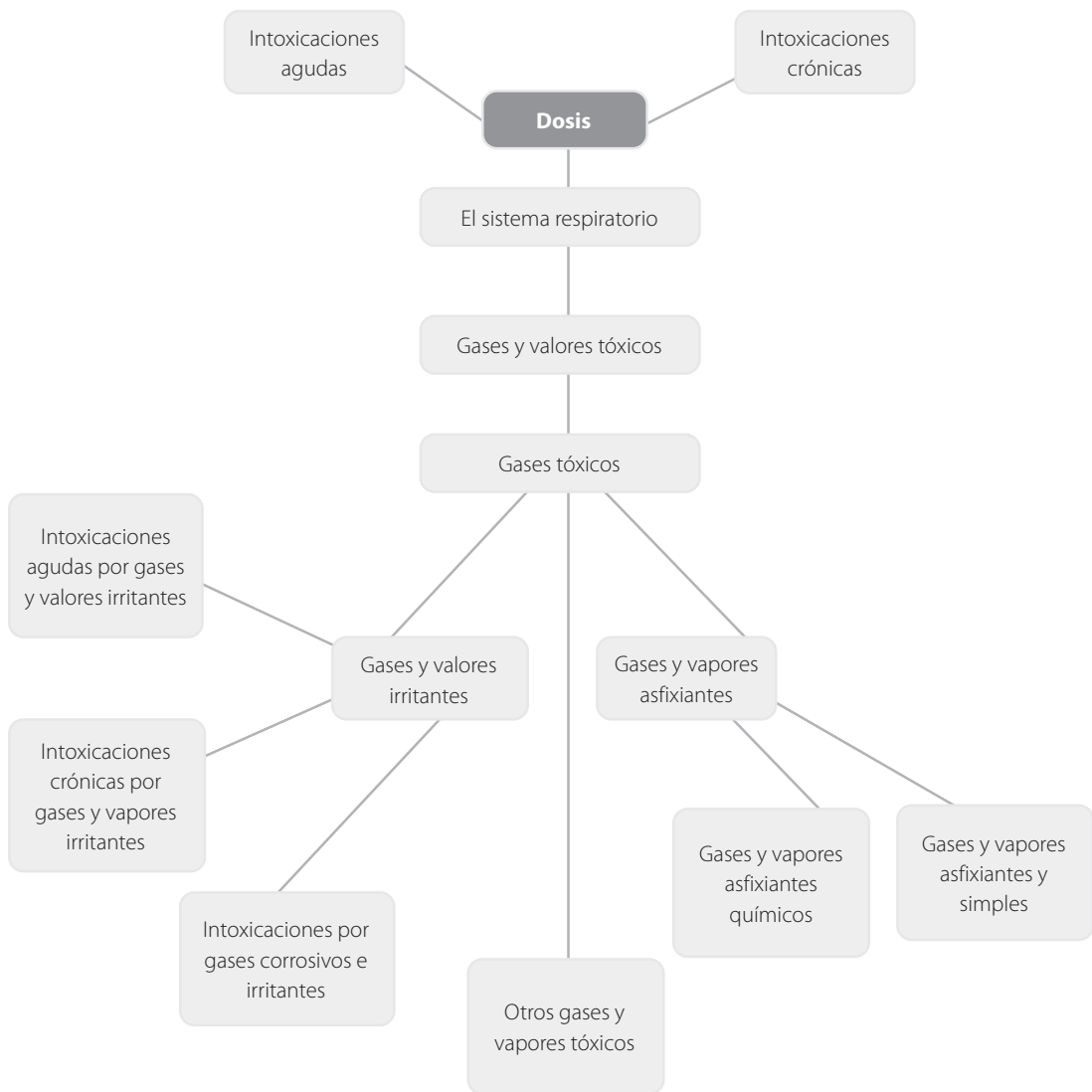
Javier Enrique Cortés Amórtegui

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Reconocer los conceptos de gas, vapor, gas irritante y gas asfixiante.
- Relacionar los conceptos aprendidos en otros capítulos con la intoxicación por gases.
- Comprender la dinámica de los gases tóxicos en el cuerpo humano.
- Determinar procesos de regulación en salud y seguridad en el trabajo desde la toxicología de los gases.

Figura 10-1 Mapa conceptual sobre toxicología de los gases y vapores



Introducción

La frecuencia con que se presenta una intoxicación por gases, es apreciablemente elevada, es decir que en la naturaleza se presentan con gran incidencia, bien sea por intoxicaciones voluntarias con fines autolíticos, recreativos, drogadicción, terapéuticas o involuntarias como, por ejemplo, mediante inhalación de sustancias derivadas de la contaminación atmosférica, al igual que por sus características de alta tasa de morbimortalidad, entre otras.

Por lo general, las vías de entrada de los gases y vapores son respiratoria y cutánea, aunque con mayor frecuencia –y por cuestiones obvias–, el organismo tiende a inhalar estas sustancias con mayor facilidad. Sin duda, la capacidad tóxica de cada gas es diferente, además muchas sustancias que no son gases, pueden comportarse como tal en condiciones específicas y provocar intoxicaciones relacionadas con gases y vapores. Por estas razones, en este capítulo se mencionarán las generalidades relacionadas con comportamientos derivados de intoxicaciones de cada tipo de gas, haciendo énfasis en gases industriales, que contaminan el medio ambiente y los que se usan con fines bélicos.

Definición de gas tóxico

Un *gas tóxico* es un compuesto de carácter inconstante e impalpable, cuya interacción molecular es débil con alta expansión física; el contacto con el ser humano puede generar irritación, asfixia o puede ser mixto o anestésico. Asimismo, los gases suelen ser inflamables, comburentes o corrosivos; por ello, es recomendable que haya cuidados especiales en su manipulación.

Para comprender los mecanismos de toxicidad de estas sustancias, es importante analizar las características anatómicas y fisiológicas de las vías respiratorias. A lo largo del tubo respiratorio, el primer tramo donde se hace regulación de las partículas que ingresan en el cuerpo es la nasofaringe, que desempeña un papel defensivo y no deja pasar alrededor de 50% de las moléculas con un tamaño mayor de 8 micras, puesto que en esta región están rodeadas por moco y son expulsadas por el movimiento de los cilios, aunque no sucede

lo mismo cuando la puerta de entrada al sistema respiratorio es la boca; en ese caso, solo se detiene un porcentaje relativamente bajo en relación con la entrada por las fosas nasales. En esa instancia, entonces, se presentan patologías asociadas a la ingesta de este moco.

El siguiente tramo del tubo respiratorio es la tráquea y el árbol bronquial, donde se secretan variadas sustancias adicionales al moco; las características de estas sustancias muestran que son acuosas, lipídicas y tienen inmunoglobulinas. Estas características desempeñan un papel esencial en el comportamiento tóxico de las sustancias que ingresan; la primera reacción es cuando los gases que son hidrosolubles son retenidos en esta región del tubo respiratorio, produciendo irritación, quemaduras o ardor; por ejemplo, los gases de amoníaco o cloruro de hidrógeno, que producen bronquitis, y terminan por ser expulsados para proteger los pulmones.

De otra parte, otros gases, que reaccionan con esta capa líquida producen ácidos, o algunos gases ácidos producen metabolitos secundarios mucho más nocivos, por ejemplo, el cloruro de azufre que forma el ácido clorhídrico y el anhídrido sulfuroso. Cuando se encuentran en los pulmones, después de atravesar el árbol bronquial, las partículas llegan a los alvéolos, que están vascularizados para realizar el intercambio gaseoso. La diferencia de tamaño de las partículas que llegan hasta allí varía, pero por lo general son más pequeñas de 8 micras. Por la anterior selección, realizada en la nasofaringe, las partículas más pequeñas que lograron entrar, son absorbidas en los alvéolos, porque las sustancias que ingresen pueden ser gases, vapores o material particulado, y atraviesan las membranas biológicas en función del gradiente de concentración, de mayor a menor concentración. Es cuando los gases o vapores llegan al torrente sanguíneo, que los puede transportar, o pueden reaccionar con los componentes de la sangre. Desde este punto en el sistema respiratorio, es posible hablar de las características toxicológicas de los gases y vapores en las vías respiratorias (Katz, 2011):

- Por lo general, las intoxicaciones por gases son agudas, ya que el tiempo en que tóxico llega a la sangre es muy corto, donde puede alcanzar altas concentraciones o ser transportado a otras células diana.

- La toxicidad de un vapor o un gas depende de la concentración del gas en la atmósfera, ya que de esto depende el tiempo de exposición al gas, antes de producir una afección en el organismo.
- Las pequeñas concentraciones de gas en la atmósfera, pueden ocasionar intoxicaciones agudas y graves, por la cantidad de aire que se respira al día.
- En intoxicaciones con gases, es muy difícil hacer tratamientos neutralizantes.
- En intoxicaciones con gases, los tóxicos no llegan al hígado y no intervienen en procesos de metabolismo ni de defensa inmunológica.

En términos generales, los gases y vapores son sustancias que a condiciones normales (25°C de temperatura y 760 mm de Hg de presión), se encuentran en estado gaseoso. Entonces es posible plantear que los vapores constituyen la forma gaseosa de algunas sustancias que, por acción de la temperatura o de la presión, pasan a forma gaseosa. Ambas sustancias, cuando se encuentran en la atmósfera, permanecen por largos periodos de tiempo, pudiéndose transportar a lugares diferentes a los de la fuente de emisión (Katz, 2011).

Gases y vapores tóxicos

La toxicidad de los compuestos químicos depende en gran medida de los estados de agregación de la materia en los que se encuentre el agente en cuestión, si bien es cierto que los gases y los vapores manifiestan con mayor rapidez y gravedad los efectos de entrada al cuerpo humano, esto puede explicarse como se dijo anteriormente, su recorrido, a diferencia de otros tóxicos con diferentes estados de la materia, se produce rápidamente por el torrente sanguíneo arterial, aumentando la velocidad del daño que éste pueda causar.

Históricamente, los procesos industriales producen directa o indirectamente gases y vapores, bien sea cuando se presenta la liberación de estas sustancias por manejos incorrectos o por mezcla de dos o más compuestos que generan nuevos gases o vapores. También se debe resaltar otras fuentes de gases o va-

pores tóxicos, como gases de guerra cuando se usan en armas químicas o para disuadir protestas masivas en las calles.

Resulta igualmente importante, tener en cuenta en el campo de la salud y seguridad en el trabajo, que se debe tener cuidado especial con los gases generados por manipulación lo que posibilita inhalación en variadas concentraciones. En cuanto a los vapores, con frecuencia se producen en espacios de trabajo específicos, por el uso de disolventes, bien sea en labores de desengrase, procesos con pinturas o al despintar, barnizar, usar soldaduras, aplicar tintes para el cabello, o en obras de pavimentación o fumigación, entre otras. Teniendo en cuenta las manifestaciones fisiológicas, por lo general, se pueden clasificar en gases y vapores asfixiantes, irritantes, sensibilizantes y anestésicos (Santiago Aguinaga, 2003).

Gases y vapores asfixiantes

Se trata de sustancias que desplazan el oxígeno, impidiendo la fijación de este durante el intercambio gaseoso pulmonar, lo que disminuye los potenciales respiratorios. Estas sustancias se dividen en *asfixiantes simples* y *asfixiantes químicos*.

Gases y vapores asfixiantes simples

Estos gases y vapores pueden producir la muerte inmediata, ya que desplazan el oxígeno de la atmósfera a concentraciones menores de 10%, entre otros, están el dióxido de carbono, el metano, los gases inertes (argón, gases de nitrógeno, helio, neón, criptón, xenón y radón).

El dióxido de carbono posee dos fuentes de producción, naturales y artificiales; las primeras se evidencian ante la presencia de volcanes o géiseres, igualmente minas, cuevas naturales y en procesos de fermentación de cavas. La fuente artificial es producida por el hombre; en las últimas décadas ha aumentado las concentraciones atmosféricas; actualmente oscila en 387 ppm en lugares de mayor contaminación ambiental.

Por su parte, el metano, gas incoloro, inflamable, no tóxico y conocido químicamente como CH₄, se genera por descomposición de la materia orgánica, tal como ocurre en humedales,

la materia fecal del ganado, los procesos industriales de elaboración de energía y en las minas de carbón; igualmente es un componente del gas natural. La contaminación atmosférica de este se conoce como gases del efecto de invernadero.

El nitrógeno, por otro lado, se encuentra en un alto porcentaje en el aire y, al igual que el dióxido de carbono, desplaza el oxígeno atmosférico. Se trata de un gas incoloro, inodoro, no inflamable y en condiciones normales su estado es gaseoso. En la atmósfera se encuentra en 78%, se produce por la descomposición bacteriana sobre materias orgánicas e industrialmente por combustión, aunque también por acción de los relámpagos. Su mayor producción se encuentra relacionada con la agricultura y la industria química donde es transformado en otros compuestos; igualmente, se utiliza en forma habitual para llenar los bulbos de las lámparas incandescentes.

Los gases inertes o gases nobles, que constituyen un grupo de elementos con características similares; se trata de gases monoatómicos, inodoros, incoloros que tienen una reactividad muy baja. El neón, el argón, el criptón y el xenón se encuentran en el aire. Estos gases tienen varias aplicaciones, habitualmente se colocan en bombillas o tubos halógenos, en trabajos de soldadura y en los globos aerostáticos.

Gases y vapores asfixiantes químicos

En realidad, estos gases no desplazan el oxígeno de los pulmones, pero desencadenan efectos que impiden el transporte del oxígeno a los tejidos o también actúan sobre los tejidos imposibilitando la captación de oxígeno. El principal compuesto asfixiante químico es el monóxido de carbono, este compuesto tiene gran afinidad por la hemoglobina de los glóbulos rojos en la sangre, el resultado de esta unión es la carboxihemoglobina, sustancia que en condiciones anormales impide el intercambio gaseoso en la hemoglobina. Otros gases asfixiantes químicos son el cianuro y el dióxido de carbono.

En este grupo se encuentra el monóxido de carbono: gas incoloro, inodoro, no irritante y menos denso que el aire, cuyas fuentes de contaminación provienen de la combustión incompleta de compuestos derivados del carbón (gasolina, kerosene,

aceites, nafta, gas natural, madera, papel, carbón, entre otros), además de algunos procesos industriales, tales como: motores de combustión interna, hornos en la metalurgia, calefacción, consumo de tabaco, incendios y explosiones; aunque con especial atención para la salud y la seguridad en el trabajo, se presentan en espacios confinados.

El impacto que produce el monóxido de carbono en la salud humana, radica en la anoxia provocada por el aumento de la carboxihemoglobina en la sangre. Este gas también se adhiere con alta afinidad a otras proteínas como la mioglobina, inhibiendo la entrada de oxígeno a las mitocondrias de los músculos; teniendo en cuenta que el miocardio es un músculo, es posible imaginar los efectos que esta puede desencadenar. Por consiguiente, el proceso de anoxia ocasionado por este gas va desde cefaleas, disnea, paro cardiorrespiratorio y la muerte. En el sistema nervioso puede mostrar cuadros de Parkinson, sordera, reducción de las capacidades intelectuales, alteraciones del comportamiento, desorientación y demencia, entre otras afecciones (Bolaños y Chacón, 2017).

Finalmente, en este grupo se encuentra el cianuro o compuestos cianógenos volátiles, como por ejemplo los nitrilos, bromuro de cianógeno, cloruro de cianógeno, cianógeno, cianuro de sodio, cianuro de calcio, cianuro de potasio y el ácido cianhídrico. Los gases de cianógeno, por ejemplo, se usan como plaguicidas, aparecen en grandes hornos e igualmente en la síntesis de compuestos orgánicos. También es posible encontrar estos compuestos en disolventes en la fabricación de fibras sintéticas y plásticos; que intervienen en el tratamiento de metales preciosos para aumentar su dureza. Habitualmente se manifiestan en intoxicaciones crónicas en trabajadores en cultivos cubiertos y la industria textil sintética.

Gases y vapores irritantes

Los gases y vapores irritantes cuando son inhalados interactúan con los fluidos de las vías respiratorias, provocando una respuesta inflamatoria por parte del sistema inmune, propio de las vías aéreas, por la presencia de ácidos o bases en el tubo respiratorio. La inflamación depende de los lugares expuestos,

así: traqueítis, bronquitis y bronquiolitis. Si bien es cierto, el efecto de la intoxicación depende de la dosis suministrada, es decir del tiempo de exposición, la cantidad de agente tóxico y la concentración del mismo. Los gases a los cuales se exponen los trabajadores con más frecuencia son:

- Amoníaco: proveniente de escapes o derrames de cañerías; la aplicación de este en campos agrícolas, soluciones para limpiar vidrios, cera para pisos y otros compuestos aromáticos.
- Gases de cloro: usados en la Segunda Guerra Mundial como gases de guerra, en la producción de plásticos y trabajos con PVC.
- Fosgeno: utilizado en la manufactura de plásticos y pesticidas.
- Dióxido de azufre: se origina durante la quema de combustibles y procesamiento de minerales.
- Cloruro o sulfuro de hidrógeno: en descomposiciones de la materia orgánica, combustiones incompletas, plantas de agua residuales, acero y hornos de coquización.
- Dióxido de nitrógeno: cuyos orígenes se encuentran en los escapes de los vehículos, sobre todo el diésel, la combustión del carbón, petróleo o gas, soldadura y galvanoplastia, entre otras.
- Ozono: es un contaminante secundario, que se genera por reacciones de los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre ante la luz solar o radiación ultravioleta.

La exposición a estos gases o vapores puede ocasionar intoxicaciones agudas o crónicas, tal como se detalla a continuación.

Intoxicaciones agudas por gases o vapores irritantes

Los accidentes laborales por intoxicaciones agudas son frecuentes, ya que se presentan en repetidas ocasiones, en dosis esporádicas, en concentraciones elevadas, ya sea por defectos en bombas, válvulas, tanques, combustiones incompletas o labores de transporte, entre otras, lo que hace que muchas personas queden expuestas a los efectos de los gases y vapores irritantes.

Entre las complicaciones más frecuentes por exposiciones a estas sustancias, se encuentra el *síndrome de dificultad respiratoria*

aguda (SDRA), que generalmente se presenta en las primeras 24 horas de exposición, frecuentemente se asocia con infecciones bacterianas complicadas por intoxicaciones con estos gases, la dificultad respiratoria se presenta por la acumulación de líquidos en los sacos alveolares de los pulmones, el líquido dificulta la respiración y el intercambio gaseoso.

Los gases y vapores irritantes causan ardor intenso en las mucosas de los ojos, nariz, garganta, tráquea y bronquios; esta irritación es acompañada por tos constante, sibilancias y disnea. A la postre, la complicación es ocasionada por el edema y el exceso de secreciones; por lo general, la gravedad se relaciona con la dosis de exposición a estas sustancias. El tratamiento *in situ* es simple, pues solo es necesario separar a la víctima del estímulo que ocasiona la intoxicación.

Intoxicaciones crónicas por gases o vapores irritantes

La exposición ha determinado gas o vapor irritante, bien sea de manera continua por un largo periodo de tiempo, o intermitentemente a bajas concentraciones, puede llegar a producir una intoxicación crónica, produciendo una bronquitis crónica, por ejemplo, la exposición a los humos de los fumadores; este tipo de exposiciones puede ocasionar cáncer en las vías respiratorias.

Intoxicación por gases corrosivos e irritantes

Las sustancias corrosivas como los gases y vapores, son capaces de causar injurias en el tejido, llegando al daño del mismo de manera irreversible, cuando un organismo se ve expuesto a estos agentes. Pueden causar irritación o quemaduras de las vías respiratorias, la piel, las mucosas de los ojos y los conductos gastrointestinales. A estas lesiones se les denomina quemaduras químicas.

Por lo general, estos gases y vapores pueden transformar el pH de los lugares corporales expuestos, o ya poseen pH extremos, bien sea ácidos o alcalinos, los cuales catalizan los lípidos de las barreras biológicas o dañan las proteínas que las conforman; este efecto lleva a la destrucción del tejido. Y las bases o sustancias alcalinas desecan los compuestos orgánicos de los mismos tejidos. Algunos ejemplos de estos gases:

- Ácido clorhídrico: llamado también ácido muriático, espíritu de sal, ácido de sal, ácido marino, agua fuerte, ácido

hidroclórico o sulfaman, tiende a tener un peso molecular más alto que el aire; ligeramente amarillo, no inflamable, con olor fuerte, es un fuerte irritante de las vías aéreas, piel, mucosas de los ojos, fosas nasales, lo que puede ocasionar rinitis hemorrágicas, pseudoasma y quemaduras químicas; también pueden producir edema pulmonar. Su límite permisible es 5 ppm. Este puede ser liberado por volcanes en erupción; se usa para limpiar ladrillos en construcciones, galvanizar metales, curtir cueros y se produce durante la quema de plásticos.

- Flúor: es un gas con características corrosivas; se puede encontrar en la naturaleza, de color amarillo, tiene olor, presenta una fuerte reactividad y muchos de los compuestos que forma por asociación son igualmente muy tóxicos. Puede ocasionar quemaduras profundas en la piel, mucosas, nariz y ojos. Se encuentra en la industria del vidrio, en la metalurgia del hierro, en los gases de refrigeración, usado como propelente (para impulsar las partículas de los aerosoles), aditivo en pastas dentales, antiadherentes sobre sartenes y hojas de afeitar.
- Dióxido de azufre: gas incoloro, soluble en el agua, con sabor y olor. Se forma a partir de la combustión de derivados del petróleo y se utiliza como blanqueador en la industria del papel, agente refrigerante, en fumigaciones y es antioxidante. Puede producir irritación de las vías aéreas; en concentraciones fuertes puede llegar al edema pulmonar y ocasionar la muerte.

Otros gases y vapores tóxicos

- Anestésicos, gases y vapores orgánicos: de uso industrial y doméstico como disolventes y, en algunos casos, como combustible. Son altamente volátiles y por esta característica, pueden ser inhalados y exhalados con facilidad. Ejercen acciones en el cuerpo después de ser absorbido y pasar al sistema circulatorio.
- Gas de germano (GeH_4) y silano (SiH_4): utilizados en la industria eléctrica como gas semiconductor, limpiador por su alta velocidad de limpieza y se descompone fácilmente

en el agua. Sus efectos radican en la ruptura de los glóbulos rojos o hemolizante.

- Diborano (B_2H_6): gas incoloro, que puede inflamarse espontáneamente (pirofórico), es usado como propelente de cohetes, vulcanizador de gomas y en microelectrónica, por sus características puede ocasionar edema agudo del pulmón, daños en el SNC y reacciones parecidas a la intoxicación por metales.

Términos clave



- Anestésico
- Espacios confinados
- Gas asfixiante
- Gas irritante
- Gas mixto
- Gas tóxico
- Gases corrosivos
- Gases inertes
- Intercambio gaseoso
- Vías respiratorias



ESTUDIO DE CASO

Un empleo digno

En un barrio popular de un país latinoamericano, donde las condiciones son difíciles debido a las dificultades que se presentan para conseguir empleos dignos, una mujer y sus cuatro hijos se abren camino en su casa como microempresarios, en el negocio de las comidas rápidas.

Durante el mes de mayo, la señora de 52 años de edad presentó un problema de bruxismo, pues le rechinaban los dientes. En la consulta odontológica, ella le adjudicó el problema al estrés producido por las fuertes jornadas de trabajo a las que se sometía, pero nadie se imaginó que la causa de esta enfermedad tenía otro origen. Al poco tiempo, los problemas se agudizaron cuando ella súbitamente presentó mareos, dolores de cabeza, náuseas, vómitos, resequedad en la piel, pérdida del cabello, debilidad en sus uñas, fatiga y problemas en su estado de ánimo.

Por otra parte, la señora disminuyó su capacidad de atención, lo cual tuvo consecuencias graves, además de las familiares, como reducción de la producción y venta de los productos, porque se quemaban en el proceso de producción y no salía con frecuencia a ofrecerlos. Debido a lo anterior y después de consultar varios médicos, que el servicio de salud pública le proporcionó, se encontró la fuente de su enfermedad: intoxicación por exposición al monóxido de carbono.

Desde el punto de vista técnico, la enfermedad fue ocasionado por la falta de mantenimiento de los quemadores de los gasodomésticos, ya que la acometida de la casa estaba diseñada para una estufa de cuatro puestos, pero la microempresa tenía dos estufas industriales en donde preparaban los alimentos para la venta. Esto se evidenció en junio del mismo año cuando realizaron la visita técnica reglamentaria, cuyo informe arrojó que la estufa producía concentraciones de 17 partes por millón (ppm) de monóxido de carbono, que excedía los valores límite permitidos con rango entre 0,5 y 5 ppm.

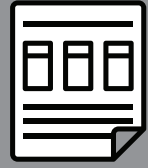
Como se puede observar, la estufa estaba intoxicando a la familia. No obstante, la pregunta que ella se hacía era por qué sus hijos no se habían enfermado. La respuesta era sencilla: durante la cocción de los alimentos sus hijos estaban en el colegio.



Para eliminar la intoxicación, la empresa de gas de la ciudad recomendó: cambiar las acometidas de las dos estufas, remplazar la ventilación de la cocina y solicitar la visita cada 6 meses del servicio técnico para revisar el estado de los gasodomésticos del hogar.

Con base en este caso, responda las preguntas:

1. ¿Qué clase y tipo de intoxicación tuvo la señora? Justifique su respuesta.
2. ¿Cuáles fueron las razones (mecánicas y fisiológicas) para que la exposición durara tanto tiempo?
3. En su país, ¿qué regulación estatal obliga a las personas a efectuar revisiones periódicas de los gasodomésticos?
4. Si no se hubieran dado cuenta del problema, ¿qué hubiera sucedido con la salud de esta familia?



RESUMEN

El aire atmosférico que se respira es una mezcla compuesta por varios gases, cuya anormalidad se determina al establecer la concentración de estas sustancias. En este sentido, el gas de nitrógeno tiene la mayor proporción debido a que alcanza 78% de la concentración total; por otra parte, el oxígeno en oposición a lo que se piensa, por las necesidades vitales de los seres vivos, solo llega a 21%, y los demás gases conforman 1%, que por su baja concentración no causan alteraciones negativas a los seres vivos.

En la actualidad, existen numerosos gases y vapores que producen fuertes daños al ambiente y a la vida del planeta, los cuales son generados por los seres humanos en su mayor parte. De hecho, la inhalación de gases y vapores se produce con mayor frecuencia en la industria y en otros sectores dedicados a labores de explotación indiscriminada.

Por otra parte, el comportamiento tóxico de cada gas es diferente; así, en este capítulo se estudiaron las generalidades de cada uno de los grupos de estos compuestos, y se prestó especial atención a los ejemplos más representativos, con base en su uso frecuente y capacidades toxicológicas.




CUESTIONARIO

1. Elabore un mapa mental que explique los conceptos acerca de gas, vapor, gas asfixiante, gas irritante y gases mixtos.
2. En un cuadro sinóptico relacione los conceptos aprendidos en los capítulos sobre gases y vapores tóxicos; vías y rutas de ingreso de las sustancias tóxicas y toxicología regulatoria, respectivamente.
3. Describa la toxicocinética del monóxido de carbono en el cuerpo humano.
4. En las industrias dedicadas a la producción de gasolina, aromatizantes domésticos y lacas para el cabello se producen gases o vapores. Con base en el enunciado anterior, describa qué tipo de gases y vapores se pueden producir y plantee al menos una estrategia de prevención y control para cada una de estas industrias.

Referencias

- Berrade, N. (s/f). *Gases tóxicos irritantes*. En *Libro electrónico de toxicología clínica. GASES*. Servicio de Urgencias Generales CHN. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/394981914/Gases-toxicos-irritantes-2-pdf>
- Bolaños, P. y Chacón, C. (2017). Intoxicación por monóxido de carbono. *Med. leg. Costa Rica*, 34(1): 137-146. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152017000100137&lng=en
- Katz, M. (2011). La química y sus contextos: el caso Fritz Haber. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325204066_LA_QUIMICA_Y_SUS_CONTEXTOS_EL_CASO_FRITZ_HABER
- Luna Mendoza, M. (14 de septiembre de 2017). 'Estuvimos envenenados por más de un año y no lo sabíamos'. Jean Pierre Grazi y Lilliana Alayón padecieron una intoxicación debido al gas carbono. En *El Tiempo*. Disponible en <https://www.eltiempo.com/bogota/historia-de-pareja-que-se-intoxico-por-mal-funcionamiento-de-gasodomicos-117018>
- Santiago Aguinaga, I. (2003). Intoxicación por gases. En *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26 (Supl. 1), 173-180. Disponible en http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200010&lng=es&tlng=es
- Woodnyet. (2007). The Haber Rule: The Effect of Poisonous Gas Concentration. Disponible en: <http://burningissues.org/car-www/science/HaberRule.html>



*De pronto los vi, los átomos danzaban
ante mis ojos... Vi cómo, frecuentemente,
dos pequeños átomos se unían formando
un par; vi cómo uno más grande
aceptaba dos más pequeños; cómo uno
aún mayor sujetaba a tres e incluso a
cuatro de los más pequeños, mientras el
conjunto continuaba arremolinándose
en una danza vertiginosa. Vi cómo los
más grandes formaban una cadena...*

August Kekulé, 1890.

A photograph of several laboratory glassware items, including Erlenmeyer flasks and beakers, some containing a clear liquid and others containing an orange liquid. The background is blurred, showing more glassware and a laboratory setting.

CAPÍTULO 11

Solventes

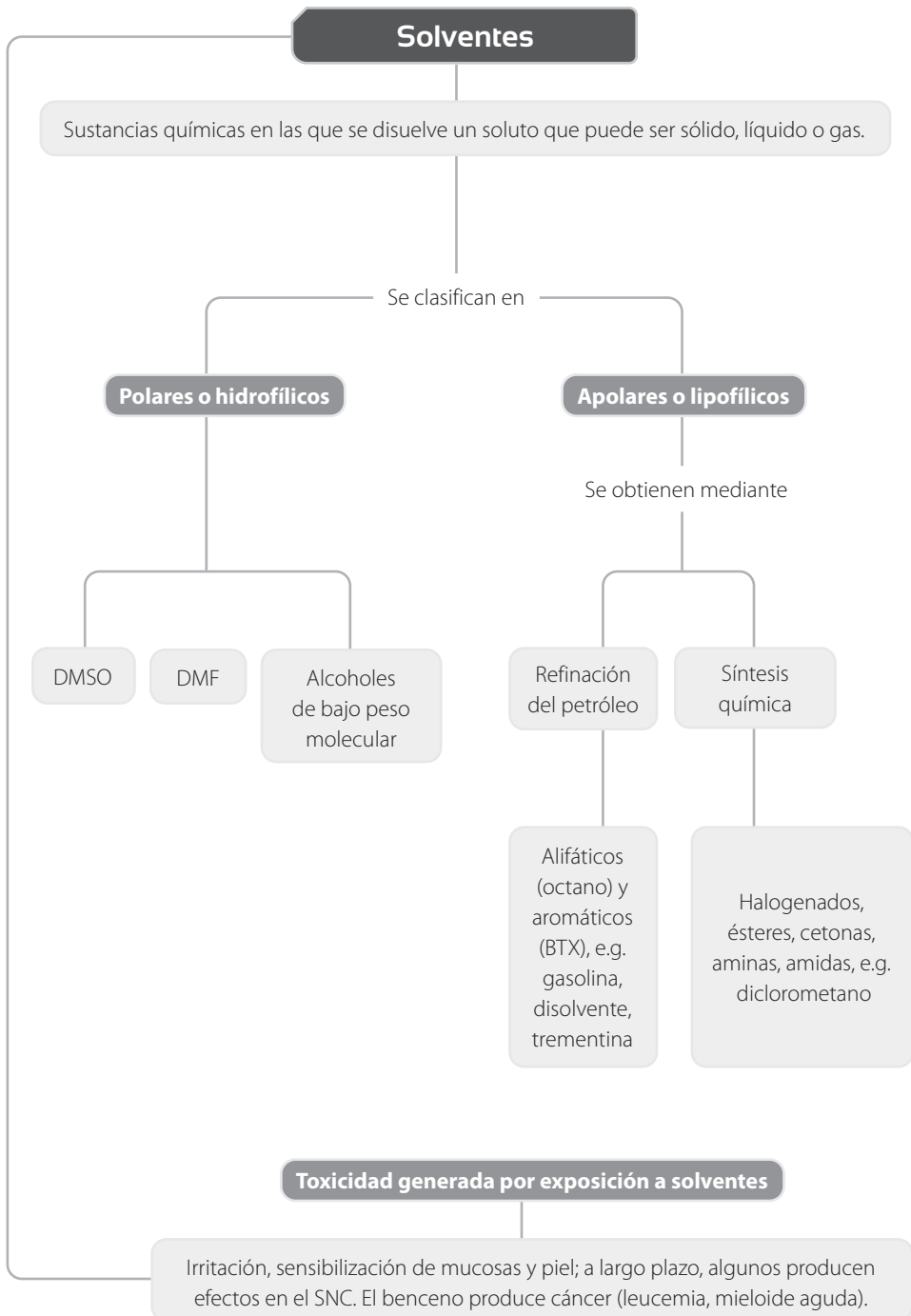
Diana Carolina Chaves Silva

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Diferenciar el concepto de solventes e hidrocarburos.
- Conocer y comprender la clasificación de los solventes.
- Explorar el uso de solventes en la actualidad.
- Dar la importancia toxicológica a estas sustancias químicas.

Figura 11.1 Mapa conceptual sobre la clasificación de los solventes



Introducción

Frecuentemente en seguridad y salud en el trabajo, los términos hidrocarburos y solventes se confunden. Los *hidrocarburos* son un grupo de xenobióticos que producen toxicidad por inhalación, ingestión o contacto dérmico. Tienen origen en el petróleo y se componen de átomos de hidrógeno y carbono principalmente. La cantidad de átomos de carbono y su disposición en las moléculas de los diferentes compuestos provee a los derivados del petróleo una variedad de propiedades físicas y químicas; por ejemplo, los hidrocarburos que tienen uno a cuatro átomos de carbono son gaseosos, los que contienen de 5 a 20 son líquidos, y los de más de 20 son sólidos a la temperatura ambiente.

La mayoría de hidrocarburos existe como mezcla de varias sustancias químicas. El uso creciente en la sociedad ha llevado a que la exposición a estos xenobióticos sea muy común. La población expuesta a estas sustancias y de mayor riesgo son los niños quienes potencialmente pueden ingerir productos del hogar con contenido de hidrocarburos generando efectos nocivos que les pueden llevar a casos de urgencias, mientras que algunos trabajadores que manipulan este tipo de sustancias se exponen por inhalación y contacto dérmico; también puede haber casos de adolescentes y niños que intencionalmente inhalan hidrocarburos volátiles como práctica de abuso.

La toxicidad de estas sustancias se determina según la ruta de exposición, la vía y la composición del tóxico; y cuando se ingiere, una de las principales consecuencias es la neumonitis. La mayoría de hidrocarburos, de acuerdo con Goldfrank, Gummmin & Hryhorczuk (2015), producen depresión del sistema nervioso central y anestesia si se absorbe en forma sistemática. Asimismo, ciertos hidrocarburos generan toxicidad en un órgano específico, por ejemplo, los hidrocarburos halogenados son cardiotoxicos, hepatotóxicos y nefrotóxicos. Según Goldfrank, Gummmin & Hryhorczuk (2015), no existen antídotos específicos disponibles para el tratamiento de la intoxicación por estas sustancias.

Por otro lado, los *solventes* también denominados disolventes, son sustancias químicas en las que se disuelve un soluto que puede ser sólido, líquido o gas. Los solventes se encuentran en estado físico líquido con propiedades de volatilidad y lipofílicas

variables. Estas propiedades, como menciona Casarett (2019), acopladas a un tamaño molecular pequeño y neutralidad en su carga eléctrica, permite que la inhalación sea la mejor vía de absorción.

Los solventes se clasifican químicamente según sus propiedades en *polares* y *apolares*. Los solventes polares son aquellos *hidrofílicos* solubles en agua, por ejemplo, alcoholes de bajo peso molecular, mientras que los apolares son lipofílicos, entre los cuales existen la mayoría que usamos actualmente y provienen de la refinación del petróleo, por ejemplo, la gasolina y la nafta son mezclas muy complejas porque están conformadas por múltiples compuestos; éstos a su vez se clasifican en aromáticos y alifáticos, entre otros.

A principios del siglo xx, tal vez había una docena de solventes conocidos de uso común, en la década de 1980 aumentaron a 350, a finales del siglo xx ya existían diez millones de compuestos de carbono, de los cuales cerca de 30% correspondían a solventes. Actualmente se desconoce el número total de solventes que se utilizan en diversos productos industriales y domésticos.

Los solventes también se clasifican según su estructura química en alifáticos, halogenados, aromáticos, alcoholes, éteres, ésteres, acetatos, amidas, aminas, aldehídos y cetonas. Los solventes más lipofílicos son aquellos que tienen mayor número de carbonos, mientras que en aquellos halogenados aumenta cuando disminuye su volatilidad.

Existen cuatro características que determinan la toxicidad de un solvente:

1. El número de átomos de carbono.
2. El número de enlaces dobles, triples o saturados
3. La configuración, es decir, si son lineales, ramificados o cíclicos
4. La presencia de grupos funcionales.

Sin embargo, los solventes en la mayoría de aplicaciones industriales y domésticas constituyen una mezcla compleja de varios compuestos químicos; por ello, no es posible asegurar que los efectos tóxicos por exposición a solventes se deben a una sustancia en particular. Es importante tener presente que, aunque algunos solventes se disuelvan en agua, presentan la

característica de «corrosivos» porque disuelven membranas y algunos, por ejemplo, se preparan a partir del amoníaco, como la etanolamina, componente principal de productos desengrasantes domésticos.

En este capítulo se invita al lector a reconocer los principales solventes más usados a nivel industrial y doméstico, su clasificación, composición y principales efectos para la salud por exposición laboral.

Usos de los hidrocarburos

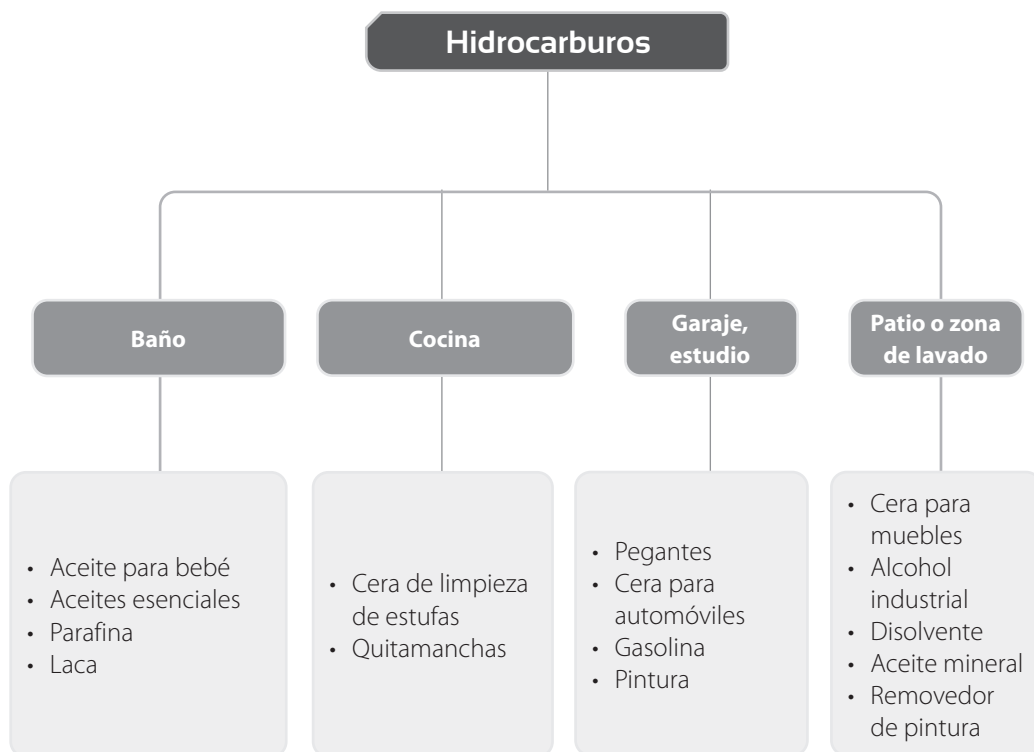
Algunos hidrocarburos se definen como compuestos orgánicos y pueden estar presentes en forma de gases, líquidos, grasas y, a veces, sólidos. El petróleo crudo y el gas natural son sus principales representantes. Los hidrocarburos todavía se consideran una fuente importante de generación de energía para la vida moderna en la industria, en el hogar y en la cotidianidad.

La aplicación de procesos de transformación del petróleo, como la refinación, genera una amplia gama de productos, que se agrupan en energéticos y productos especiales. Los energéticos se refieren a combustibles para el transporte, la industria, la agricultura, la generación de corriente eléctrica y uso doméstico. Los productos especiales son lubricantes, asfaltos, grasas para vehículos y otros de uso industrial.

En la actualidad, los combustibles que se usan a diario en hogares, vehículos e industria, ocupan la mayor demanda de hidrocarburos. La industria petrolera crece año tras año, y los combustibles que más se comercializan en Colombia, por ejemplo, corresponden a gasolina, kerosene y diésel. En último lugar, se encuentra el gas natural, especialmente el usado en vehículos.

A partir de los compuestos presentes en hidrocarburos, la industria petroquímica los aprovecha para producir otros más elaborados que sirven como materia prima en otras industrias. Estos productos se utilizan para producir, por ejemplo, plástico, acrílico, nailon, pinturas, fibras sintéticas, guantes, envases, cosméticos, adhesivos, colorantes, refrigerantes y fertilizantes, entre otros. En la figura 11.2 se presentan algunos ejemplos de productos utilizados en el hogar que contienen hidrocarburos.

Figura 11.2 Productos de uso común en el hogar que contienen hidrocarburos



Usos de los solventes

Los solventes se utilizan ampliamente como desengrasantes y constituyentes de pinturas, barnices, lacas, tintas, aerosoles, tintes y adhesivos. También se usan como síntesis química, y como combustibles y aditivos para combustibles. En la figura 11.3 se ilustran ejemplos del uso versátil de los solventes tanto industrial como doméstico. Los solventes también se usan para limpieza en seco y para la fabricación y tratamiento de productos químicos diversos; por ejemplo, en la aplicación de desengrasado se adicionan solventes orgánicos a las superficies que se van a tratar para eliminar sustancias adheridas no solubles en agua. Estas sustancias indeseadas en superficies, por lo general, son aceites, grasas, ceras y alquitranes. En cuanto a las superficies en las que se aplica solventes como desengrasante, son de diversos tipos: plásticas, metálicas, cauchos, fibras de vidrio, textiles y circuitos electrónicos, entre otros. Las industrias de tratamiento de metales tienen el mayor porcentaje de uso de solventes para desengrase.

Figura 11.4 Clasificación de solventes hidrofílicos y lipofílicos



Clasificación de los solventes

Los solventes se clasifican en gran medida de acuerdo con la estructura molecular o grupo funcional. Las clases de solventes incluyen hidrocarburos alifáticos, muchos de los cuales están clorados, estos son denominados halogenados; e hidrocarburos aromáticos, alcoholes, éteres, ésteres, acetatos, amidas, aminas, aldehídos, cetonas y mezclas complejas que no tienen clasificación. En la figura 11.4 se ilustra el uso de diferentes solventes y su clasificación por estructura química y según su polaridad.

Otra clasificación se basa en la capacidad para disolver un analito hidrofílico o lipofílico, cuya propiedad se puede medir como solventes polares y apolares (Morrison, 1998), que se detalla a continuación:

- **Polares:** el agua disuelve apropiadamente las sustancias iónicas, pero no es un buen disolvente para la mayoría de sustancias orgánicas; entre otros, dimetilsulfóxido (DMSO), dimetilformamida (DMF) y hexametilfosfortriamida (HMPT).
- **Los solventes no polares o apolares:** como el éter, el cloroformo y el benceno disuelven apropiadamente los compuestos orgánicos, pero no disuelven sales inorgánicas. Los alcoholes, como metanol y etanol, disuelven reactivos orgánicos iónicos y no iónicos.

Toxicidad de los solventes

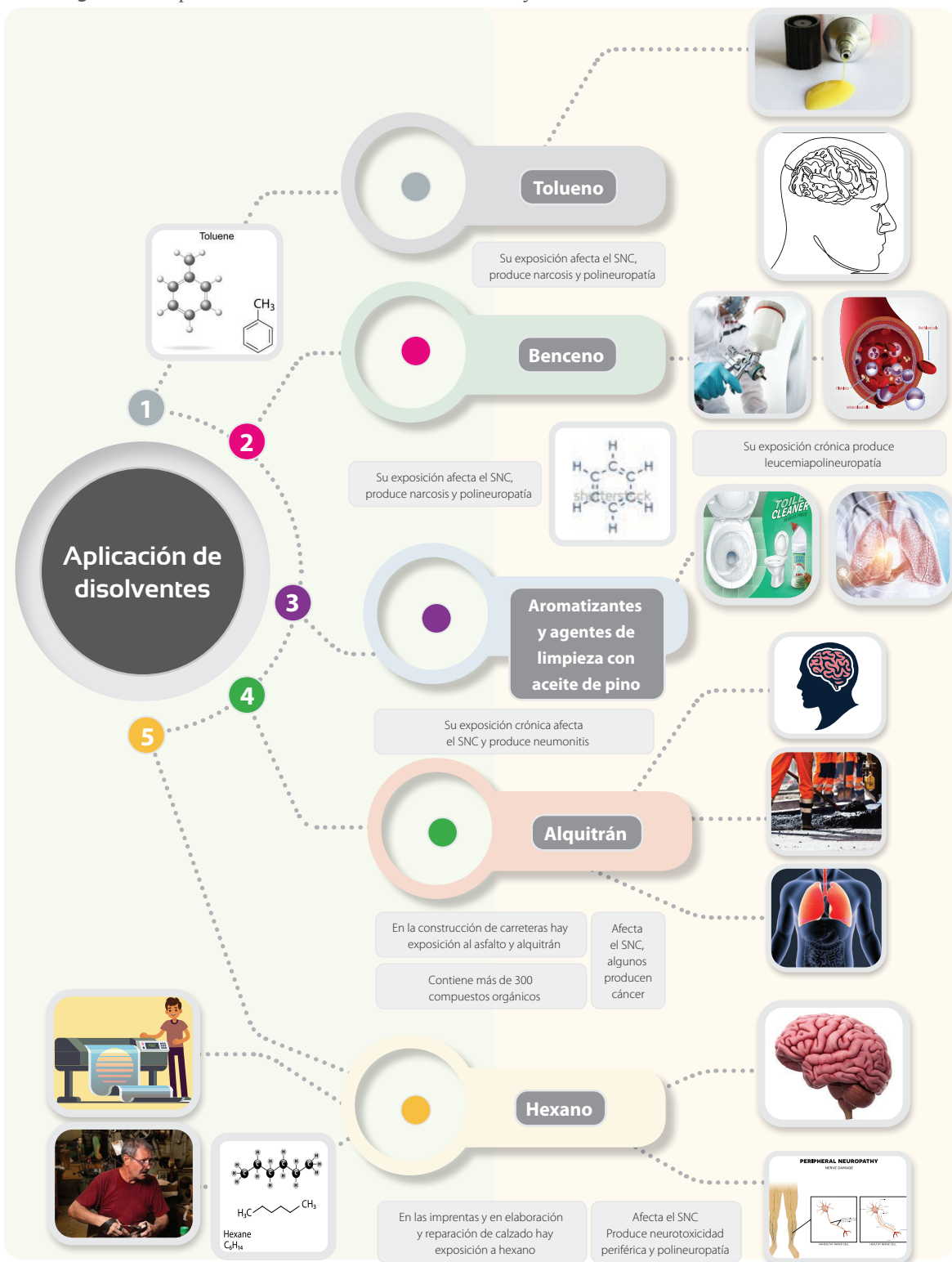
Como se mencionó en la introducción del capítulo, existen cuatro características que determinan la toxicidad de un solvente (por el número de átomos de carbono; por el número de enlaces; por la configuración; y por la presencia de grupos funcionales). No obstante, por su constitución compleja de diversos compuestos químicos, no es posible asegurar que sus efectos tóxicos por exposición se deban a una sustancia en particular. De acuerdo con Goldfrank, Gummin & Hryhorczuk (2015), cuanto más lipofílico sea un solvente, más depresor para el sistema nervioso central (SNC) frente a un solvente hidrofílico. En cuanto a grupos funcionales, los compuestos que contienen amidas y aminas tienden a ser potentes sensibilizadores; los

compuestos que contengan aldehídos son particularmente irritantes; los hidrocarburos que son metabolizados extensamente tienden a ser más citotóxicos y mutagénicos; y los compuestos halogenados de cadena corta no saturados son carcinógenos animales. La toxicidad de los solventes dentro de la misma clase puede variar considerablemente; por ejemplo, 1,1,1 tricloroetano (TRI) y 1,1,2-tricloroetileno (TCE) son compuestos halogenados, aunque, el TCE es *insaturado* y carcinógeno en ratas y ratones, pero el TRI no lo es.

De acuerdo con estudios desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), la exposición a solventes es inevitable. Tanto el aire del ambiente que se respira en el interior de los hogares como en los lugares de trabajo y en la vía pública contiene solventes, al igual que el agua de consumo puede tener trazas de solventes porque algunos se usan como desinfectantes. Goldfrank, Gummin & Hryhorczuk (2015) describen un ejemplo de la vida cotidiana para demostrar que la exposición a solventes es inherente indudablemente a las actividades diarias de cualquier persona: un trabajador técnico del área de pintura de aeronaves en la cual emplea productos desengrasantes, principalmente el tricloroetileno (TCE); después de su jornada de trabajo se encuentra con amigos y comparte bebidas alcohólicas (exposición a etanol) y cigarrillo (exposición a benceno y estireno); luego, de regreso a casa se detiene en una estación de servicio para tanquear su vehículo con gasolina corriente (exposición a benceno, tolueno, 1,3-butadieno). Antes de llegar a casa, pasa por la lavandería a recoger sus prendas (exposición a percloroetileno) y después de cenar disfruta de su pasatiempo favorito construcción de barcos a escala, el cual requiere uso de pegantes (exposición a tolueno). Cada solvente tiene propiedades fisicoquímicas diferentes y, por tanto, su efecto en la salud será específico. En la figura 11.5 se presenta la toxicidad específica de ciertos disolventes.

La exposición laboral a solventes se relaciona con una amplia gama de diferentes espacios de trabajo, desde el de la secretaria que utiliza un líquido corrector de tinta hasta la carga y descarga de camiones cisterna que contienen miles de galones de gasolina. Sin embargo, hay trabajadores más expuestos, por ejemplo, por realizar actividades de pintura y desengrasado de

Figura 11.5 Aplicación de disolventes en la industria y su toxicidad



superficies metálicas. La vía de exposición más frecuente es la inhalatoria y, en segundo lugar, por contacto dérmico. Según Casarette & Doull's (2008), en 2006 la OSHA estimó que 10 millones de personas estaban potencialmente expuestas a solventes orgánicos en el lugar de trabajo. Y las exposiciones más graves se producen como resultado de su uso en espacios reducidos con ventilación inadecuada.

En efecto, la vía inhalatoria es la más importante para la exposición a solventes volátiles. La dosis absorbida se determina por la concentración del solvente en el aire, la duración de la exposición, la ventilación y el coeficiente de partición sangre-aire. La mayoría de los hidrocarburos atraviesan el alvéolo por difusión pasiva. La toxicidad aguda que genera el vapor de hidrocarburo inhalado se manifiesta principalmente a través de la depresión del sistema nervioso central (SNC) generando un efecto anestésico.

En cuanto a la exposición industrial a solventes liposolubles, como hidrocarburos aromáticos, alifáticos o clorados, hay mayor probabilidad que cause en el SNC efectos agudos y crónicos que la exposición industrial a hidrocarburos hidrosolubles mediante alcoholes, cetonas y ésteres. Los hidrocarburos con alta volatilidad tienden a vaporizarse, desplazar el oxígeno y conducir a una hipoxia transitoria.

Por otra parte, si bien la piel es un área común de contacto con solventes, para la mayoría de los solventes, la dosis recibida de la exposición dérmica constituye una pequeña fracción de la dosis recibida a través de otras vías, como por inhalación. Los solventes eliminan lípidos de la córnea, y como algunos tienen grupos funcionales hidrofílicos como los éteres de glicol, el dimetilformamida y el dimetilsulfóxido particularmente se absorben apropiadamente a través de la piel.

Los solventes se clasifican como irritantes para la piel. La exposición aguda y crónica puede causar dermatitis e incluso daño dérmico en todo su espesor. La exposición dérmica crónica al queroseno o al diésel puede causar foliculitis. Una lesión cutánea específica llamada cloracné se asocia a la exposición a hidrocarburos aromáticos clorados como dioxinas y bifenilos policlorados.

Términos clave



- Anemia aplásica
- Carcinogénesis
- Depresores del SNC
- Hidrocarburos
- Hidrofílicos
- Irritantes
- Lipofílicos
- Narcóticos
- Sensibilizantes
- Solventes
- Volátiles



Pintor de autopartes expuesto a solventes

Los disolventes que contienen benceno están prohibidos en la mayoría de países porque producen cáncer; sin embargo, todavía se utilizan en la industria automotriz disolventes de pinturas como mezclas de solventes aromáticos. En este marco, a continuación, se describe el caso de un pintor de autopartes que terminó afectado por la exposición a solventes.

Luigi Cipagauta, de 35 años de edad, trabaja hace 10 años en la industria automotriz como pintor de autopartes. En el desarrollo de esta actividad, utiliza como medida de protección overol de tela y tapabocas; además, acostumbra fumar tres cigarrillos diarios y consume alimentos en la bodega destinada a productos químicos.

Por otra parte, debido a las intensas jornadas de trabajo, todos los viernes la empresa realiza actividades recreativas destinadas a sus trabajadores; entre las cuales se destacan el fútbol y los juegos de mesa. En este escenario, Luigi siempre se ha caracterizado por su activa participación y protagonismo; no obstante, durante el último mes sus compañeros evidenciaron que ha disminuido su desempeño, pues ha perdido agilidad, capacidad de reacción y anota menos goles.

Del mismo modo, en su casa, la familia está preocupada por los cada vez más frecuentes episodios de tristeza que presenta Luigi. También han notado que últimamente no logra abrochar los botones de sus camisas con la suficiente rapidez y que ha perdido su capacidad para recordar fechas o eventos planeados.

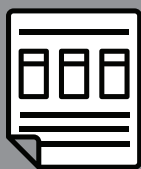
Debido a todo esto, Luigi decide consultar a su médico, quien le diagnostica cefalea, vértigo y falta de coordinación. Además, que se practique exámenes ocupacionales de ácido hipúrico, ácido orto-metilhipúrico, ácido para-metilhipúrico, ácido fenil-mercaptúrico, así como exámenes neurológicos. Los resultados de los exámenes arrojan que tiene biomarcadores de exposición a solventes elevados; por ello, la empresa, a partir de estos resultados, decide trasladarlo temporalmente al área administrativa.



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, reflexione y responda las preguntas:

1. Lea el caso, liste las actividades realizadas por el trabajador y de su opinión al respecto.
2. En grupo, reflexionen y respondan las siguientes preguntas: ¿a qué solventes se exponen los trabajadores? ¿Cuáles son los síntomas que producen? ¿Qué medidas preventivas recomendaría para evitar la intoxicación con solventes? Según los elementos de protección mencionados, ¿el trabajador está protegido?
3. ¿Qué influencia tienen sobre la intoxicación los hábitos de fumar y consumir alimentos en la bodega de almacenamiento de productos químicos? ¿Qué medidas preventivas implementaría?



RESUMEN

La exposición a solventes corresponde a una mezcla de sustancias químicas en lugar de un compuesto puro. La mayoría de productos solventes que se comercializan actualmente son mezclas complejas de hidrocarburos como la gasolina, que es una mezcla de alcanos, alquenos, naftenos e hidrocarburos aromáticos. Otras sustancias presentes en algunos solventes son los aceites esenciales, entre los cuales se encuentran terpenos y aceite de pino, entre otros. Los ungüentos con base en hidrocarburos son, por ejemplo, la vaselina y el alcanfor, que se usan en la piel y las membranas mucosas. El fenol y los fenoles sustituidos corresponden a hidrocarburos aromáticos que se utilizan como desinfectantes comunes. El éter dietílico y los compuestos de hidrocarburos halogenados, como el cloroformo, estuvieron entre los primeros anestésicos generales, utilizados hace más de 150 años. El ciclopropano y el TCE se han utilizado ampliamente como anestésicos generales.

A pesar de que todos los seres humanos estamos expuestos a solventes en las actividades cotidianas, los trabajadores más expuestos son los que pertenecen a la industria petroquímica, o se desempeñan en labores con caucho, imprentas, laboratorios, pinturas y quienes están en contacto con la recuperación de residuos.

Hay que tener en cuenta que la mayoría de solventes volátiles tienen efectos narcóticos sobre el sistema respiratorio y producen irritación de mucosas; mientras que por contacto dérmico, algunos son sensibilizantes e irritantes. En exposiciones crónicas se ha demostrado que algunos producen cáncer y mutaciones.



CUESTIONARIO

1. Mencione 5 solventes que se encuentran en la industria automotriz.

2. Marque la respuesta correcta.

Los solventes benceno, xileno y tolueno son:

- a. Aromáticos _____.
- b. Alifáticos _____.
- c. Halogenados _____.
- d. Ninguno _____.

3. ¿Qué efectos en la salud tiene la exposición laboral a solventes?


4. Marque falso o verdadero:

- a. La manipulación de solventes aromáticos produce dermatitis de contacto _____.
- b. La absorción vía inhalatoria de solventes produce pérdida de memoria _____.
- c. La exposición crónica a solventes puede producir depresión e irritabilidad _____.

5. Mencione los disolventes que se encuentran en su hogar.

Referencias

- Casarett, D. (2019). Toxicology: The Basic Science of Poisons. New York: McGraw-Hill.
- Casarett & Doull's. (2008). Toxicology. The Basic Science of Poisons. USA: Mc Graw Hill.
- Goldfrank, L. et. al. (2015). Toxicologic Emergencies. New York: McGraw -Hill.
- Morrison, R. y Boyd, R. (1998). Química orgánica. México: Addison-Wesley Longman.



Esta noche, un minuto después de las doce, nacerá una nueva nación. El demonio de la bebida hace testamento. Se inicia una era de ideas claras y modales limpios. Los barrios bajos pronto serán cosa del pasado. Las cárceles y los correccionales quedarán vacíos; los transformaremos en graneros y fábricas... Se cerraron para siempre las puertas del infierno.

Andrew Volstead proclama la 18ª. Enmienda en EE. UU. en 1920 que prohibía la destilación y comercialización de alcohol.

(El socialista, 2018)



CAPÍTULO 12

Intoxicación por alcoholes

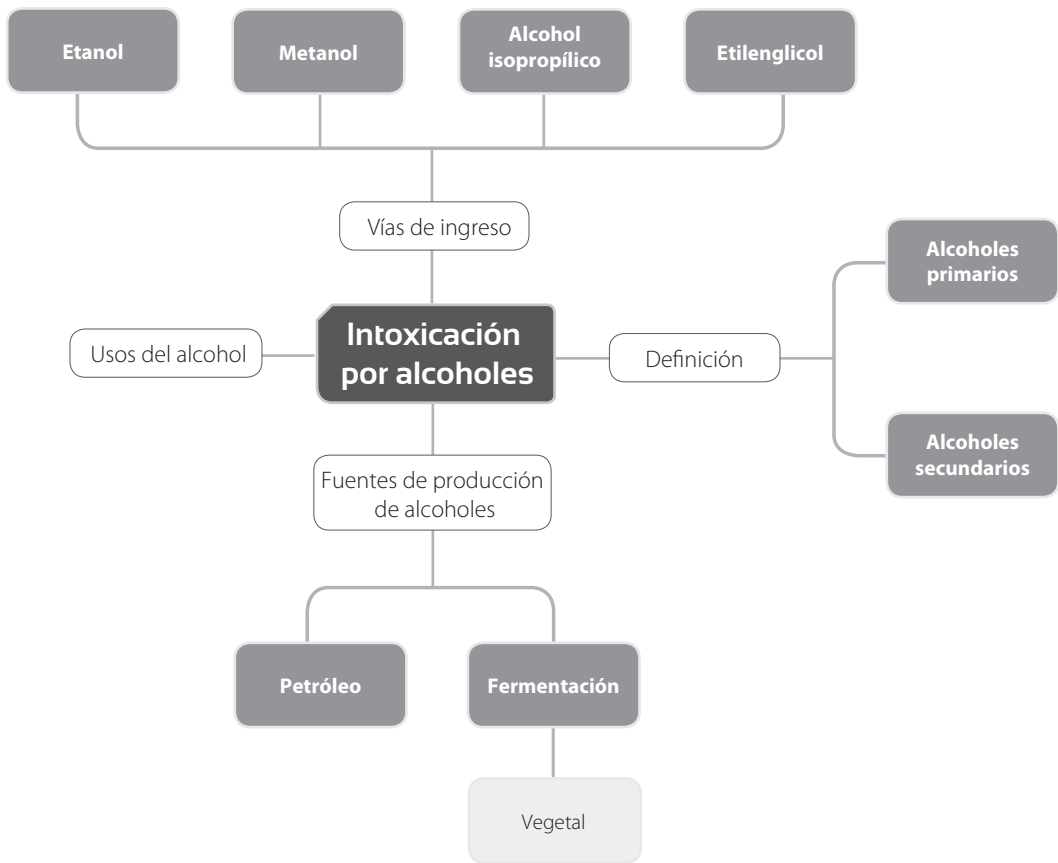
Javier Enrique Cortés Amórtegui

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Reconocer las características de una sustancia alcohólica.
- Determinar las fuentes de producción y uso laboral de los diferentes alcoholes.
- Describir las características, síntomas, toxicocinética y toxicodinamia de los alcoholes en el organismo humano.
- Diferenciar las intoxicaciones producidas por alcohol etílico, metílico, isopropílico y etilenglicol.

Figura 12.1 Mapa conceptual sobre la intoxicación por alcoholes



Introducción

Para comenzar, con respecto a la etimología de la palabra alcohol, es posible decir que su origen proviene del árabe *al-kukbul* que significa *espíritu*, porque se consideraba que era la esencia, la fuerza o lo que estaba en el interior; es decir, el espíritu del vino era el etanol y el de la madera el metanol. El primer acercamiento a esta sustancia se hizo por un método de separación, i.e. la destilación del vino. Asimismo, se atribuye el descubrimiento del alcohol al médico español Arnau de Villanova, cuya referencia aparece anotada en el *Libro de los secretos de la naturaleza o quinta esencia*, donde se hacen ejercicios de alquimia teórica y experimental, y se presenta además un compendio de remedios junto con la obtención de medicamentos de orden natural, a partir de ejercicios simples como la destilación.

En general, es posible definir *alcohol* como un compuesto orgánico derivado de los hidrocarburos, donde uno o varios átomos de hidrógeno (-H) son sustituidos por un grupo hidroxilo (-OH); el término alcohol también se coloca a diversos productos que tienen grupos (-OH) en su constitución. Los alcoholes son líquidos claros y transparentes, cuya viscosidad y solubilidad en el agua dependen del número de carbonos que lo conformen.

Comúnmente, se dice que todos los alcoholes son tóxicos, pero esta determinación se usa para nombrar el metanol, el etanol y el etilenglicol; de igual modo, que en su mayoría los alcoholes producen ebriedad cuando son absorbidos y su toxicidad depende del peso molecular. La clasificación de los alcoholes depende de la posición que adopte el grupo hidroxilo (-OH) en la molécula de alcohol o por su acción toxicológica. Con relación a esta acción tóxica, es posible afirmar que son primarios y secundarios; los primeros hacen relación a la acción directa de este compuesto sobre la salud del ser humano, como por ejemplo el etanol o isopropanol, y los segundos, cuando se producen metabolitos de los compuestos primarios como, por ejemplo, el etilenglicol o el metanol.

Fuentes de alcohol

Los alcoholes se pueden producir mediante varios procesos, por ejemplo, la destilación del petróleo, en donde se obtienen

alcoholes de tres y hasta cinco carbonos, es usual entonces que en el petróleo también se hagan procedimientos como el cracking del petróleo o rompimiento de sus moléculas, de donde se obtienen alcoholes a partir de los alquenos, como el propanol. Asimismo, se efectúan procesos de fermentación de carbohidratos, como azúcares y almidones, provenientes de los vegetales, por ejemplo: caña de azúcar, cebada, maíz, yuca y girasol, entre otros, de donde se obtiene el alcohol etílico. La reducción de aldehídos y cetonas, por su parte, permiten la obtención de alcoholes primarios y secundarios. A partir de la saponificación de las grasas se produce el jabón y la glicerina, un alcohol con tres grupos hidroxilo; de procesos de la destilación seca de la madera para producir carbón vegetal, se pueden obtener cantidades considerables de metanol; y de los mostos que sobran de la destilación de frutas, se pueden obtener alcoholes superiores (propanol, isobutanol, butanol, isoamilol, amilol, entre otros) y fenoles.

Usos de los alcoholes

Los alcoholes se usan constantemente en la industria, en la ciencia e incluso en los hogares; desde diferentes puntos de vista se utilizan como productos químicos intermedios, disolventes, combustibles, alimentos, industria de textiles, colorantes, detergentes, aromatizantes, perfumes, bebidas, cosméticos, pinturas, limpieza, en la salud, anticongelantes y tratamientos de minerales.

El metanol es uno de los alcoholes más sencillos; puede ser fabricado a partir del metano y por la combustión de compuestos orgánicos, ocasionando grandes consumos de madera a nivel industrial; se usa por lo general como disolvente de adhesivos, pinturas, tintas, resinas y colorantes. También se emplea en la industria de plásticos, jabones, tinturas, telas sintéticas, cristalería, desengrasantes, anticongelantes e impermeabilizantes. Se trata de un compuesto tóxico, que si se ingiere en bebidas alcohólicas adulteradas, puede ocasionar ceguera y hasta la muerte. En algunos medios deportivos se usa como combustible para automóviles de carreras.

El etanol, también llamado alcohol, es alcohol etílico o alcohol de grano; es un líquido incoloro reconocido como ingrediente de las bebidas alcohólicas; una de sus propiedades,

la solubilidad en el agua, le da la posibilidad de ser utilizado en diferentes industrias. Es la materia prima del acetaldehído que se usa en medicamentos y plásticos, incluidos el ácido acético, el alcohol butílico y la piridina. El éter etílico se usa como anestésico general, solvente orgánico y en medicamentos, entre otros, mientras que el cloroetano se utiliza en la fabricación de celulosa, tinturas, medicamentos, solventes y refrigerantes. La elaboración del butadieno a partir del etanol sirve para la fabricación de plásticos y caucho. También se usa en perfumes, cosméticos desinfectantes y acelerantes de secado.

El pentanol, también llamado alcohol amílico, se puede encontrar en ocho formas diferentes; se produce mediante la fermentación del almidón de papa o cereales. Se utiliza en vinos, aguardiente, producción de lacas, pintura, plástico, pegamentos, perfumes, medicamentos, al igual que en la extracción de grasas y fabricación de explosivos.

De otra parte, el etilenglicol es un compuesto de características alcohólicas, formado por glicol, etanodiol y glicol de etileno; se trata de un líquido transparente de sabor dulce, cuya alta densidad y viscosidad le permiten ser utilizado como anticongelante, difusor del calor o refrigerante; también se utiliza para evitar la congelación de motores de aviones o vehículos, al igual que en la industria del poliéster, como disolvente, neumática de frenos y tinturas.

El n-propanol (también llamado alcohol propílico normal, n-propil alcohol o 1-propanol) es un líquido incoloro, miscible en agua, alcohol y éter. Una de sus propiedades químicas es que es un buen disolvente, que se utiliza en lacas, lociones, cosméticos, tintas y líquidos de frenos, entre otros, al igual que en salud como antiséptico, aromatizante de alimentos, removedor de esmalte de uñas y como plastificante.

El n-butanol, como la mayoría de los alcoholes, también es un disolvente que se usa principalmente para recubrimientos de superficies, como pinturas, lacas, esmaltes, barnices, gomas y cauchos. También se emplea en la industria farmacéutica, en la fabricación de pastas de caucho y perfumes.

Otros alcoholes en la industria son isopropanol, un solvente industrial y anticongelante para secado rápido de pinturas; de igual modo, en perfumes, antiséptico, lociones capilares,

jabones, aromatizantes, bebidas no alcohólicas y alimentos. El sec-butanol también es un disolvente, usado en frenos para vehículos como líquido hidráulico, limpiador, decapantes de pintura, perfumes y abrillantadores. El isobutanol se utiliza como disolvente para adhesivos y revestimientos, decapante de pinturas, perfumes, limpieza y líquidos hidráulicos. El terc-butanol se emplea como disolvente en la industria de fármacos, perfumes y aromas. También existen alcoholes amílicos, como el alcohol metilamílico. El 2-etilhexanol y el ciclohexanol, entre otros, se usan como espumígenos (elementos que mezclados con agua y aire forman espumas), también sirven como disolventes en la industria textil. El metilciclohexanol se usa como jabón, quitamanchas y sirve para la industria de detergentes, mientras que el alcohol bencílico es un solvente útil en la industria de perfumes, cosméticos, colorantes, desengrasante y productos farmacéuticos. Finalmente, el 2-cloroetanol es un disolvente para productos de limpieza y éteres de celulosa.

Intoxicación por alcoholes

Con relación a las generalidades de las intoxicaciones ocupacionales, puede haber absorción por vía respiratoria, dérmica, digestiva, ocular, mucosa y parenteral; la absorción se relaciona con el tiempo de exposición, la concentración y las medidas de protección utilizadas. Los alcoholes pueden causar dermatitis cuando entran en contacto directo con la piel, ya que estas sustancias disuelven las grasas de la piel.

Una particularidad de los alcoholes es que se diseminan en el cuerpo rápidamente, afectando varios nervios, lo que produce en ellos inflamación, conocida como polineuritis. Esta misma inflamación de los nervios puede causar neuropatía óptica tóxica; se trata de una lesión en el nervio óptico que genera déficit funcional de la visión.

De la misma manera, consumos o exposición crónica a los alcoholes pueden producir la enfermedad de Parkinson; esta es la alteración del sistema nervioso central, que afecta con mayor predisposición a las personas de mayor edad. Esta enfermedad se caracteriza por alteraciones en la motilidad, como temblor, rigidez y espasticidad, entre otras. Las acciones del alcohol en el

sistema nervioso central pueden ser variadas y dependen de la concentración del alcohol en la sangre; el límite de alcohol en la sangre es 3 g/l y cuando se sobrepasa comienzan a observar diferentes alteraciones.

Una de las más importantes es la parálisis del sistema nervioso central, que perturba la corteza cerebral, con la deshidratación de los centros corticales, lo que lleva al organismo a la disminución en rendimiento, reducción de la concentración y desequilibrio. Asimismo, el alcohol estimula los centros de placer del cerebro por aumento de la dopamina, lo que conduce al ser humano en muchas ocasiones a experimentar sensaciones de alegría, tranquilidad y placidez. En el hipotálamo, el alcohol inhibe la síntesis de la hormona vasopresina, que media la retención de líquidos en el organismo, lo que produce la necesidad de expeler la orina.

Intoxicación por alcohol etílico

Esta es una de las intoxicaciones más frecuentes en nuestra sociedad, también conocida como *intoxicación etílica aguda* (IEA); su efecto es directamente proporcional a la concentración y cantidad de alcohol ingerido, pues en términos generales, cuando la dosis de alcohol en la sangre es alta, puede llegar al cerebro. En mujeres embarazadas puede atravesar la barrera placentaria y causar daños en el pulmón, el hígado y el sistema digestivo en general. Los estudios en alcohólicos crónicos evidencian grados de vulnerabilidad entre el hombre y la mujer, siendo más vulnerable el género femenino.

La mayor cantidad del alcohol etílico que haya sido ingerida, se metaboliza en el hígado a través de la enzima *alcohol deshidrogenasa* (ADH) y una mínima parte en el estómago, ya que la mucosa gástrica también presenta la ADH. La eliminación de este alcohol se hace en proporción a la concentración plasmática, mediante la orina, por sudor y a través del pulmón.

Este alcohol actúa como depresor del sistema nervioso central; sin embargo, cuando la intoxicación es aguda, estimula el sistema de recompensa del cerebro, provocando sensaciones de bienestar, desinhibición y somnolencia. Los grados de IEA dependen de muchos factores, como la rapidez con que se ingiera

el alcohol, el consumo de este con otras sustancias, la frecuencia de consumo que conlleva a la intoxicación crónica, la edad de la persona y las concentraciones del producto consumido.

Los síntomas de esta intoxicación varían dependiendo de la concentración del alcohol ingerido; se caracteriza por iniciar con una reducción de la coordinación muscular motora, dificultad en la concentración, sensación de bienestar, entorpecimiento del juicio, trastornos de equilibrio corporal, movimientos incontrolables de los ojos, visión doble, trastornos en los músculos del habla, dificultades en la coordinación de movimientos, pérdida de la función cognitiva crítica, al igual que puede producir vómito, dificultad respiratoria, descenso de la temperatura corporal, baja de energía y, en casos extremos, puede llegar al coma.

La intoxicación crónica por alcohol etílico puede producir hemorragias en el cerebro y encéfalo por déficit de vitamina B1 o tiamina y mala nutrición, al igual que atrofia cortical o atrofia cerebral o atrofia de la corteza cerebral en la que se presenta una pérdida sustancial de neuronas, lo que lleva a una enfermedad neurodegenerativa; la desmielinización y necrosis del recubrimiento protector del cuerpo caloso, que conlleva a la atrofia de este tejido nervioso; la neuropatía alcohólica o pierna alcohólica, que es un desorden neurológico en el que funcionan deficientemente los nervios periféricos de todo el cuerpo. En mujeres embarazadas se puede presentar el *síndrome alcohólico fetal (SAF)*, debido al consumo de alcohol etílico durante el embarazo, que señala una serie de problemas físicos, mentales y de crecimiento en el feto en su etapa de gestación.

El alcohol en el medio laboral es relativamente alto y se convierte en un problema de salud y seguridad en el trabajo. De hecho, la prevalencia del alcohol es más frecuente en la población asalariada, que el total de la población, según el promedio para América Latina, pues al menos 95% de la población trabajadora ha bebido alcohol al menos una vez, y un alto porcentaje de estos lo han hecho el último año (Ochoa & Madoz, 2008). La estimación frente al consumo de alcohol, es que al menos 12% de los trabajadores consume alcohol de manera constante, con riesgos para su salud cuyos sucesos laborales peligrosos se han vinculado a su consumo. Las estadísticas indican que el consumo se presenta más en hombres que en mujeres, aunque

parece que día tras día, la mujer se pone en iguales condiciones que el hombre; en su mayoría, el mayor consumo en la población ocurre entre 20 y 35 años de edad, y frecuentemente se hace los fines de semana. Es importante tener en cuenta que la mayoría de bebedores lo hace en lugares externos al trabajo, aunque una pequeña parte de la población lo hace durante la jornada laboral.

Es probable que la reglamentación frente al consumo de alcohol en muchos países sea precaria o tal vez débil, pero lo que sí es cierto, es que cada día se presentan más casos de enfermedades, peligros relacionados, accidentes de trabajo, alteración de la productividad, discordias, altercados, disfunciones sociales, rotación de personal, descenso en la calidad del trabajo y ausentismo laboral relacionados con el consumo de bebidas alcohólicas, que obligan a los sistemas de gestión laboral a implementar procesos para el manejo de esta conducta, entre otros:

- Campañas direccionadas al manejo de estas sustancias.
- Procesos de capacitación para el reconocimiento de los riesgos asociados al consumo.
- Realización de controles y mediciones.
- Implementación de protocolos de actuación.
- Campañas de ayudas al personal involucrado.

Intoxicación por metanol

El alcohol metílico, alcohol de madera, alcohol de quemar o metanol es uno de los alcoholes más sencillos, que se usa frecuentemente en anticongelantes, disolventes, limpiadores, fabricación de plástico, entre otros. Su intoxicación es poco frecuente, pero de alta morbimortalidad y se presenta con el manejo de productos relacionados con su presencia e intentos de suicidio. Su absorción es rápida y depende de la masa corporal de la persona, el sexo, la edad y otros factores que alteran su concentración y velocidad de recorrido.

Las manifestaciones de intoxicación se presentan entre media hora a 1 hora, llegando en algunos casos hasta los tres días después de su consumo; en adultos se requiere alrededor de 30

ml y 0.4ml/kg de masa en niños para alcanzar la dosis tóxica, aunque la dosis letal es tan solo el doble de las anteriores cantidades. Una persona intoxicada puede presentar vómito, dolor abdominal, problemas de visión que pueden terminar en casos extremos en ceguera.

En el ámbito ocupacional, este alcohol puede ser absorbido por inhalación o por absorción cutánea, aunque la principal causa de absorción en adultos se observa por el consumo de licor adulterado, ya que los síntomas primarios son similares a los del alcohol etílico, además por su fácil adquisición y su bajo precio lo colocan como una elección muy accesible para disolver o mezclar el alcohol etílico. En niños, es frecuente la intoxicación aguda, ya que se utiliza como medicinal para el manejo de la fiebre, por ejemplo, mediante compresas sobre la piel o en la nariz para la estimulación de las vías aéreas, aunque en los niños se presentan los síntomas con mayor rapidez, iniciando por depresión del sistema nervioso central y pasando por convulsiones para llegar a casos graves como el coma y la muerte.

Este alcohol es eliminado en mayor proporción por vía urinaria, luego por vía respiratoria y se metaboliza en mayor cantidad en el hígado por la enzima ADH, donde se transforma en formaldehído, el cual, a su vez, se transforma en ácido fórmico gracias a la enzima aldehído deshidrogenasa; este ácido se convierte en anhídrido carbónico (CO₂) y agua mediante el fenómeno de oxidación provocado por la enzima tetrahidrofolato hepática (THF).

Es importante resaltar que el formaldehído y el ácido fórmico son las sustancias derivadas del metabolismo del alcohol metílico que causan la verdadera intoxicación de esta sustancia. El formaldehído, también se conoce como formalina, aldehído fórmico, formol y óxido de metileno, entre otros; este puede ocasionar asfixia, dolor pulmonar, trastornos de tensión arterial, arritmias cardíacas, depresión del sistema nervioso, acidosis metabólica e incluso la muerte. El ácido fórmico o ácido metanoico, metabolito del alcohol metílico se le atribuye el daño y la pérdida de la visión, ya que inhibe la función mitocondrial de la retina, aumentando el estrés oxidativo en la misma.

Intoxicación por alcohol isopropílico

El alcohol propílico secundario o 2-propanol o dimetil carbinol o isopropanol o alcohol isopropílico es una sustancia de la familia de los alcoholes y constituye la segunda causa de envenenamiento después del alcohol etílico. Es probable que esto se deba a que sus usos permiten su fácil absorción; utilizado industrialmente y en el hogar, en revestimientos, sustancias para la limpieza, lubricantes, agentes espumantes, agentes aglomerantes, combustibles, desinfectantes, descongelantes, fabricación de explosivos, perfumes, cosméticos y preparación de algunos medicamentos.

Este alcohol y uno de sus metabolitos, la acetona, afecta principalmente el sistema nervioso central (SNC). Los síntomas debidos a la absorción incluyen enrojecimiento de la piel por la dilatación de los vasos y aumento de la temperatura corporal, al igual que dolor de cabeza, mareo, náuseas y vómito. Cuando los niveles son altos se comporta como un anestésico y, sin duda, si la intoxicación es crónica puede llevar al coma. La intoxicación con esta sustancia se puede presentar por ingestión involuntaria o inhalación durante su uso; por tanto, se debe manipular en lugares debidamente ventilados con protección de las manos para evitar la absorción por la piel. La sobredosis de este alcohol puede ocasionar problemas respiratorios, ya que la acetona, su metabolito, puede producir el acetato de algunos alimentos y de la glucosa, produciendo acidosis metabólica con cetosis a nivel gástrico; en esos casos es usual solo el mantenimiento de signos vitales y el lavado gástrico.

Intoxicación por etilenglicol

El etilenglicol se acostumbra en líquidos anticongelantes. La sintomatología que produce cuando se absorbe es parecida a la del etanol; posiblemente de todos los alcoholes es la intoxicación más peligrosa. También se conoce como 1,2-etanediol o etano-1,2-diol; en realidad, es un alcohol con dos grupos OH, cuya fórmula es $C_2H_6O_2$; se trata de un líquido incoloro, con sabor dulce e inodoro.

La absorción habitual es por exposición dérmica, ya que laboralmente el contacto con los anticongelantes es común, y muchas veces se produce por desconocimiento y falta de uso de los elementos de protección cutánea. El etilenglicol tiene baja volatilidad, por esa razón es poco frecuente la inhalación de esta sustancia, aunque la elevación de la temperatura o la fuga de este líquido permiten la exposición de las vías aéreas, pues teniendo en cuenta que no tiene olor, la intoxicación se presenta como irritación de las mucosas de las vías aéreas superiores.

Por otro lado, la exposición oral, bien sea voluntaria o accidental, tiene efectos realmente tóxicos y si la dosis es elevada se presenta una serie de síntomas, que inician con la absorción rápida en el sistema digestivo, con una vida media que oscila entre 2 a 5 horas; puesto que es un líquido hidrosoluble puede viajar en el plasma, sin causar un daño apreciable en las proteínas plasmáticas, cuya característica favorece la llegada a todos los tejidos corporales. La mayor parte de este tóxico se metaboliza en el hígado y, finalmente, se elimina por vía renal, de las cuales se reabsorbe una mínima parte de este.

Los síntomas que presenta este alcohol son similares a los del etanol: inician con ebriedad, anestesia del SNC, presentando toxicidad apreciablemente baja; aunque sus metabolitos son realmente peligrosos, el aldehído reduce la fosforilación oxidativa, la respiración, las transformaciones de la glucosa, la fabricación de nuevas proteínas, la producción de ácidos nucleicos, la llegada de oxígeno al SNC, lo que genera alteraciones en las concentraciones de las aminas, todo esto resultando en la producción del glioxal y el ácido glicólico.

El glioxal se transforma en ácido glicólico y este es el encargado de producir la acidosis metabólica; este ácido y otros dos que se forman por el metabolismo del ácido glicólico, producen cristales que se depositan en varios tejidos, como riñones, cerebro, vasos sanguíneos, hígado y corazón, entre otros. Estos cristales terminan ocasionando insuficiencia renal, interferencia en el metabolismo de la glucosa, depresión del SNC, disminución de la respiración en incluso la muerte.

Términos clave



- Alcoholes
- Caña de azúcar
- Destilación
- Disolventes
- Etanol
- Etilenglicol
- Fermentación
- Isopropanol
- Metanol
- Orgánico
- Petróleo



Fallecimiento por intoxicación aguda

Durante los últimos cuarenta años, un hombre de 60 años de edad se ha desempeñado como pintor, barnizador y constructor. Además, tiene un historial de bebedor consuetudinario. El lunes 3 de junio, alrededor de las 8:15 de la mañana, ingirió de forma accidental 120 mililitros de alcohol disuelto en agua; 20 minutos después se comenzó a sentir mal, y presentó un cuadro de síntomas que iniciaron con mareos, vómito no abundante y manifestaciones de visión borrosa, pero no prestó atención a estas señales, sino hasta la noche de ese mismo día, cuando los síntomas continuaron cada vez con mayor frecuencia y, según él, con mayor gravedad.

Esa noche decide asistir al centro asistencial para buscar ayuda médica; asiste al hospital de Kennedy, cerca de la zona donde habita. En el examen médico, el galeno reporta dificultad respiratoria, sin ruidos al respirar, saturación de oxígeno por oximetría de 90%, 35 respiraciones por minuto, pulso de 105 pulsaciones por minuto y 100/74 mm de Hg. En la descripción general se reporta paciente somnoliento, visión con bultos con fotofobia, no enfoca bien, pérdida de la visión, glicemia de 4,5 mmol/L y creatinina en orina de 1,0 mg/dl, entre otros síntomas, lo cual se interpretó como acidosis metabólica; asimismo, en los procesos que se hicieron de forma paralela, en el análisis del alcohol ingerido por el paciente se descubrió metanol, pero con consumo de otros alcoholes que había ingerido en una taberna cerca de su casa.

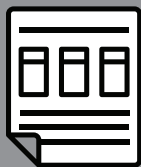
Aunque los exámenes de sangre no reportaron la presencia de este alcohol metílico en el torrente sanguíneo. Entonces, se hizo tratamiento con bicarbonato, alcohol etílico vía venosa y se inició el procedimiento de hemodiálisis, pero al final infortunadamente presentó una marcada bradicardia y fallece el paciente.



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las características de una intoxicación aguda por alcohol metílico? ¿Qué acciones preventivas llevaría a cabo en el escenario laboral?
2. ¿Cuáles de las características señaladas en el punto anterior, corresponden a los síntomas manifestados por el hombre del caso expuesto? Argumente su respuesta.
3. ¿Cuáles son las razones que producen ceguera en una intoxicación por alcohol metílico? ¿Cómo se pueden mitigar?



RESUMEN

Este capítulo tiene en cuenta muchos de los términos que parten de la química, y con base en ello, es posible determinar que los alcoholes constituyen un grupo bastante amplio de sustancias de origen orgánico, que en su mayoría proviene de hidrocarburos y otros derivados de la fermentación de algunas sustancias ricas en azúcares.

Este concepto también se utiliza genéricamente para denominar bebidas que son alcohólicas. La característica más importante de los alcoholes es que poseen un grupo hidroxilo (-OH), unido a una cadena de carbonos. Comúnmente se utilizan como desinfectantes, para la elaboración de medicamentos, perfumes, cosméticos, combustibles, pinturas, disolventes, refrigerantes y anticongelantes, entre otros.

Sin duda, su amplio uso permite la interacción del ser humano de varias maneras, que terminan exacerbando una de sus características, la toxicidad. Esta presenta una gran variedad de afectaciones, que van desde el enrojecimiento de la piel, pasando por dificultades en la respiración, producción de metabolitos con diferentes grados de toxicidad y terminando incluso, en casos extremos, con la muerte.



CUESTIONARIO

1. Describa las dosis letales (DL) de los alcoholes etanol, metanol, etilenglicol e isopropílico.
2. Elabore un mapa conceptual que describa las propiedades físicas y químicas de los alcoholes revisados en este capítulo.
3. Realice una consulta sobre “alcoholes adulterados” y presente un informe donde enfatice en los mecanismos de producción, los soportes legales para su prohibición y los puntos críticos de vigilancia y control de estos alcoholes.
4. Elabore un cuadro que describa los órganos diana de los alcoholes etanol, metanol, etilenglicol e isopropílico.
5. Describa los principales neurotransmisores que intervienen en la adicción del alcohol.

Referencias

- Cacelín-Garza, JR, & Cacelín-Miranda, RS. (2017). Intoxicación por etilenglicol. *Medicina interna de México*, 33(2), 259-284. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-48662017000200259&lng=es&tlng=es.
- Centro de Prensa. (2015, 23 de noviembre). Alcohol. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/alcohol>
- Farés, A. (2016). A 96 años de la ley seca. En *El socialista. Izquierda Socialista*. No. 307. Recuperado de <http://izquierdasocialista.org.ar/index.php/periodico-el-socialista/150-periodico/el-socialista-n-307/3006-a-96-anos-de-la-ley-seca>
- Martínez, A. (2002). Efectos del alcohol etílico sobre el sistema nervioso. *Revista Española de Patología*, 35, 1, 63-76. Recuperado de <http://www.patologia.es/volumen35/vol35-num1/vol35-06.htm>
- Ochoa Mangado, E. & Madoz Gúrpide, A. (2008). Consumo de alcohol y otras drogas en el medio laboral. En *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 54(213), 25-32. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2008000400003&lng=es&tlng=es
- Roldán, J., Frauca, C., & Dueñas, A. (2003). Intoxicación por alcoholes. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26 (Supl. 1), 129-139. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200007&lng=es&tlng=es.
- Torres, Magdalena Mora. (2016). Intoxicación alcohólica. *Medicina Legal de Costa Rica*, 33(2), 66-76. Recuperado de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152016000200066&lng=en&tlng=es.

Los científicos pueden describir los problemas que afectarán el medio ambiente basándose en la evidencia disponible. Sin embargo, su solución no es la responsabilidad de los científicos, sino de la sociedad en su totalidad.

Mario Molina (1943-)



CAPÍTULO 13

Compuestos orgánicos de interés mundial por su impacto toxicológico y ambiental

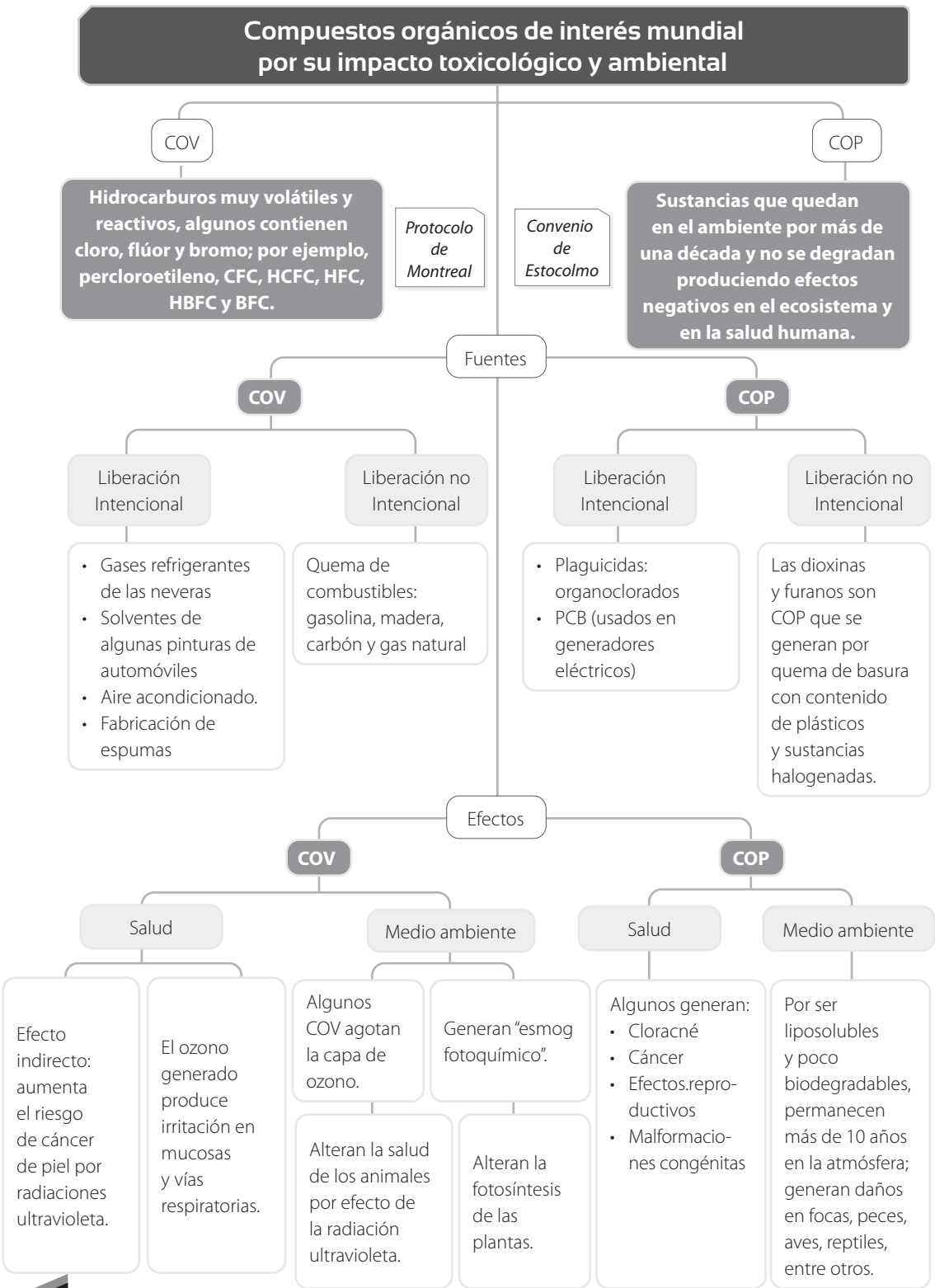
Diana Carolina Chaves Silva

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Reconocer la importancia ambiental y toxicológica de los COV y COP.
- Establecer las diferencias entre las fuentes generadoras de COV y COP.
- Dar a conocer la responsabilidad de los profesionales en seguridad e higiene del trabajo en el cumplimiento del protocolo de Montreal y del convenio de Estocolmo.

Figura 13.1 Mapa conceptual sobre generación de COV y COP



Introducción

En sus actividades cotidianas, el ser humano está expuesto a múltiples sustancias químicas que a su vez paradójicamente le han facilitado la vida; por ejemplo, en la mayoría de ciudades existen establecimientos como lavanderías que son imprescindibles y asimismo ocupan un lugar importante en la generación de empleo.

En América Latina ha aumentado el número de lavanderías en la última década; sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayoría de estos establecimientos de lavado de prendas de vestir usan una sustancia química denominada percloroetileno para la limpieza y desengrase de telas en seco. El *percloroetileno* es un solvente que constituye un ejemplo de compuesto orgánico volátil (COV) que, aunque no es inflamable, es muy volátil y pasa con facilidad al ambiente causando daños en el ecosistema, al trabajador que lo manipula y a la salud pública en general. De acuerdo con Daza & Gómez (2005), en Francia –desde 2013– está prohibido y en los países miembros de la Unión Europea progresivamente también será vedado definitivamente.

Los COV asimismo se generan a partir de actividades entre las que se utilizan pinturas para automóviles, lacas y producción de solventes, entre otras. Algunos COV se han catalogado como sustancias que agotan la capa de ozono (SAO); por ello, en septiembre de 1987 se firma el Protocolo de Montreal con relación a la protección de la capa de ozono. Este protocolo, firmado por 196 países, fijó el tiempo máximo para la eliminación de la producción y consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2019), uno de los compromisos firmados en el Protocolo de Montreal es la sustitución de neveras. Esta actividad la lleva a cabo porque una de las fuentes de COV son los gases refrigerantes como: clorofluorocarburos (CFC), hidroc fluorocarbonos (HCFC) e hidrof luorocarbonos (HFC), los cuales destruyen la capa de ozono. En la actualidad, el PNUD está ayudando a países de América Latina que son los mayores generadores de estas sustancias a cumplir con la congelación del nivel de consumo de HCFC y los objetivos de reducción

de 10%. El PNUD también presta apoyo a los países para que conviertan los procesos de fabricación en alternativas más ecológicas que no contengan HCFC en los sectores de espuma, refrigeración, aire acondicionado, disolventes y otros sectores. Esta sustitución genera beneficios económicos al ambiente, porque disminuye el gasto energético y asimismo a la salud del ser humano.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en cuanto a contaminantes orgánicos persistentes (COP), son sustancias químicas o mezclas, que también han facilitado la vida del hombre al ser empleadas como insecticidas, por ejemplo, para el control del vector causante de la malaria, para controlar plagas como los piojos y mejorar procesos industriales y agrícolas. Algunos son generados por quemas de desechos químicos y otros fabricados por el hombre.

El 22 de mayo de 2001, en Estocolmo (Suecia) se adoptó el Convenio de Estocolmo sobre COP; los países firmantes, conscientes de estas sustancias que por sus propiedades fisicoquímicas se quedan en el ambiente por más de una década y no se degradan produciendo efectos negativos en el ecosistema y en la salud humana. De acuerdo con (PNUMA, 2010), cada país firmante se comprometió a reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción y utilización intencional. En cuanto a los COP generados de manera no intencional, los países se comprometen a mejorar los sistemas de gestión de residuos de sustancias químicas para evitar la liberación en el ambiente.

Para el profesional afín a la seguridad y salud en el trabajo es importante reconocer las fuentes generadoras de COV y COP y su impacto que tienen en el medio ambiente y en la salud de los trabajadores para que esto les posibilite realizar capacitaciones a los trabajadores y apoyar programas de sustitución de estas sustancias.

Definición de los COV

Los COV son sustancias químicas de tipo hidrocarburos que se encuentran en estado gaseoso a temperatura ambiente o son muy

volátiles; su estructura tiene menos de doce átomos de carbono y constituyen grupos activos que contienen oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. En el cuadro 13.1 (más adelante) se observa una lista de algunas sustancias químicas que son consideradas COV. Estas sustancias son altamente reactivas pues al liberarse al ambiente se mezclan con los óxidos de nitrógeno (NO_x) de la atmósfera y generan ozono (O₃); el ozono en el aire representa un peligro para la salud y el ambiente.

Fuentes de COV

Los COV se producen por liberación intencional o no intencional. La *liberación intencional* corresponde a la fabricación de compuestos químicos disolventes, pinturas, adhesivos, plásticos, aromatizantes y otros productos empleados en procesos industriales. En cuanto a la *liberación no intencional*, los COV se pueden formar por actividades como la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. En las figuras 13.2 y 13.3, respectivamente, se presentan algunos ejemplos de COV de liberación directa e indirecta.

Cuadro 13.1 Ejemplo de algunos COV

Acetaldehído	Cloruro de metileno	Percloroetileno
Acetato de etilo	Cloruro de vinilo	Tricloroetano
Ácido acético	Etanol	Tricloroetileno
Alcohol bencílico	Formaldehído	Triclorotrifluoroetano
Benceno	HFC	Tetracloroetileno
Ciclohexano	Isopropanol	Xilenos
Ciclohexanona	Metanol	
Clorodifluorometano	PFC	

Figura 13.2 Ejemplos de COV de liberación directa



Figura 13.3 Ejemplos de COV de liberación indirecta



Efectos de los COV en la salud y el ambiente

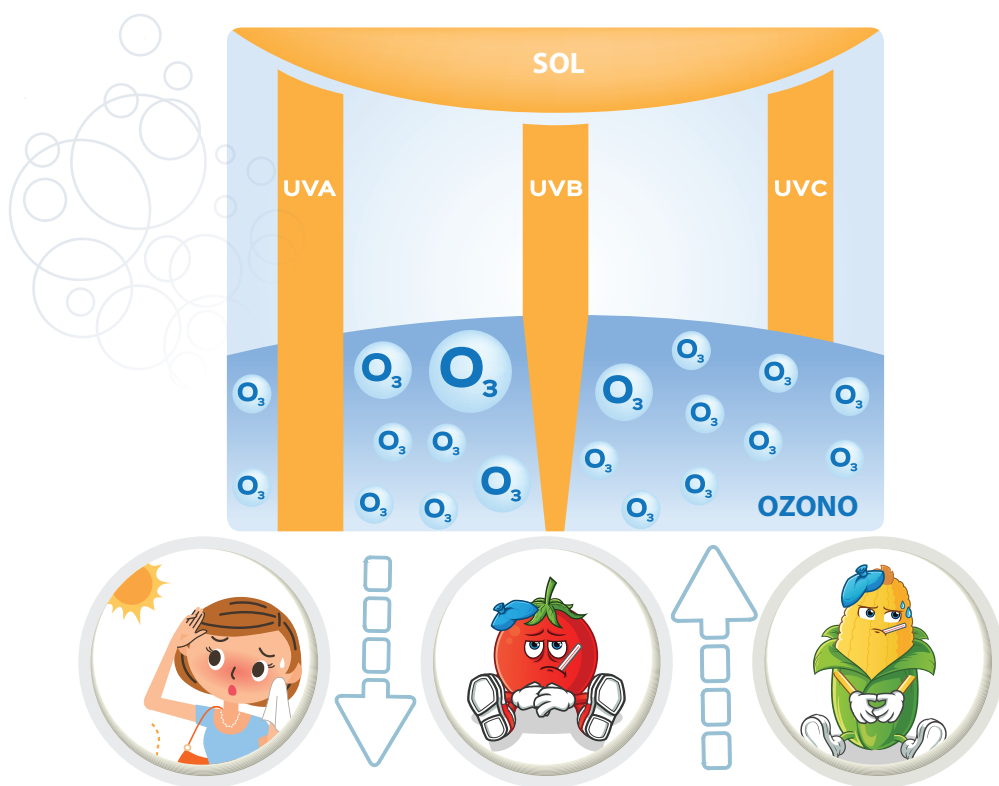
Los efectos de los COV para la salud son variables y dependen del compuesto generado y el tiempo de exposición, así como de las condiciones ambientales. Los COV considerados SAO generan efectos indirectos por la presencia de ozono y por la acción de los rayos ultravioleta en los organismos.

El ozono es una molécula altamente reactiva que ocasiona irritación de ojos y vías respiratorias, cefalea y alergias, al igual que disminución de la función pulmonar y lesiones en el hígado, riñones, pulmones y sistema nervioso central. En cuanto a los efectos de las radiaciones con luz ultravioleta

se encuentra principalmente el cáncer de piel que, de acuerdo con la ATSDR (2014), ha ido en aumento en las últimas décadas.

Los COV, de acuerdo con la IARC (2018), como el benceno, el tricloroetileno y el formaldehído, están clasificados en el grupo 1 como sustancias que producen cáncer en los seres humanos. El óxido de estireno, el percloroetileno y el estireno han sido clasificados como probablemente cancerígenos en los seres humanos. Adicionalmente, algunos COV son disruptores endocrinos. Hay que tener en cuenta que los efectos sobre el medio ambiente de los COV también se atribuyen a las características de volatilidad y alta reactividad; por ello, intervienen en la fotosíntesis de las plantas; asimismo, generan el denominado «smog fotoquímico». En la figura 13.4 se presentan algunos ejemplos de efectos de COV en la salud y ambiente.

Figura 13.4 Efectos de los COV en la salud y ambiente



Definición de los COP

Los COP son sustancias químicas orgánicas cuyas características fisicoquímicas son: alta persistencia en el ambiente, bioacumulación y biomagnificación. Cuando se liberan en la atmósfera penetran las diferentes capas del suelo y se depositan en sedimentos de aguas, tienen baja capacidad para degradarse y, por ello, pueden translocarse a través de los años a diferentes partes del mundo.

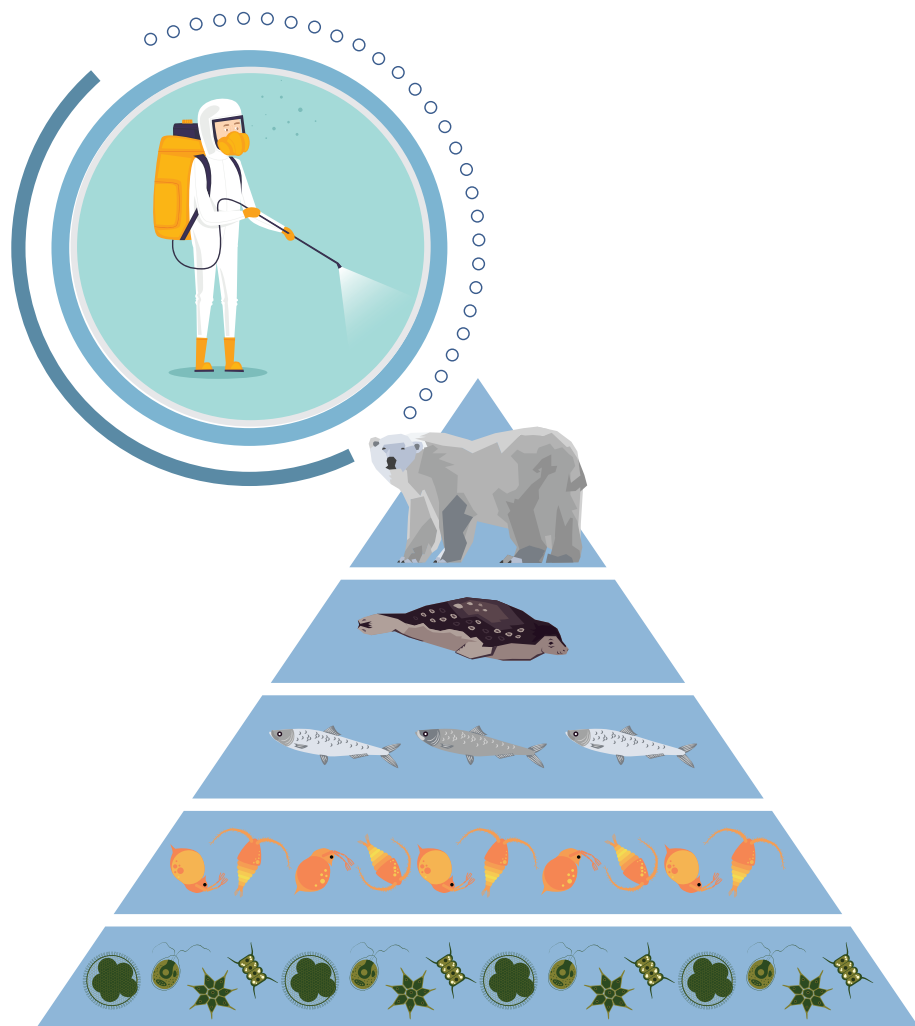
Esto se descubrió porque uno de los COP más conocidos, el dicloro difenil tricloroetano (DDT), ha sido empleado como insecticida y herbicida en países agrícolas, y después de disminuir y restringir su utilización, ha sido detectado en el tejido graso de animales que habitan regiones polares. Esto indica la capacidad de persistencia, bioacumulación y biomagnificación, ya que al depositarse en el fitoplancton y en sedimentos, es absorbido por peces en su proceso de ingesta de alimentos, y a su vez estos peces son el alimento de otras especies, generando un ciclo en la cadena trófica en la cual finalmente llega al ser humano a través de la leche o carne que consume, pues el alimento del ganado (el forraje) está contaminado con estas sustancias.

Esto ha generado preocupación mundial y ha sido motivo de múltiples investigaciones pues se ha encontrado residualidad en leche materna humana; por ello, no se debe descartar que todos los seres humanos del planeta tenemos una mínima concentración de algunos COP por exposición ambiental. En el cuadro 13.2 se presenta un listado de algunos COP y en la figura 13.5 se ilustra un ejemplo sobre el uso de plaguicidas persistentes y su acumulación en la cadena trófica.

Fuentes de COP

Al igual que los COV, los COP se producen por liberación intencional o no intencional. La *liberación intencional* corresponde a la fabricación de compuestos químicos, tales como plaguicidas para eliminar el vector transmisor de paludismo, malaria, broca en el café, entre otros, y otros productos empleados para mejorar la eficiencia de procesos industriales, como los bifenilos policlorados (PCB), utilizados en los transformadores

Figura 13.5 Uso de plaguicidas persistentes y su acumulación en la cadena trófica



Pirámide ecológica simplificada

eléctricos. En cuanto a la *liberación no intencional*, los COP se pueden formar por actividades como la quema de plásticos y residuos en general, lo que produce dioxinas y furanos obtenidos en procesos térmicos, que comprenden materia orgánica y cloro. En las figuras 13.6 y 13.7 se presentan algunos ejemplos de fuentes de COP.

Cuadro 13.6 Fuentes de COP por generación intencional

α -Hexaclorociclohexano (α -HCH)	Clordecona	Endrín	Heptacloro	Nuevos COP
β -Hexaclorociclohexano (β -HCH)	Diclorodifenil-tricloroetano (DDT)	Éter de hepta-bromodifenilo (heptaBDE)	Hexabromociclodecano (HBCD)	Pentacloroben-ceno (PeCB)
Ácido perfluorooctanosulfónico (PFOS)	Dieldrín	Éter de hexa-bromodifenilo (hexaBDE)	Hexacloroben-ceno (HCB)	Policlorobifeni-los (PCB)
Aldrín	Dioxinas	Éter de penta-bromodifenilo (pentaBDE)		
	Lindano (γ -hexaclorociclohexano)	Toxafeno		
Clordano	Endosulfantes	Furanos	Mirex	

Figura 13.6 Fuentes de COP por generación intencional



Figura 13.7 Fuentes de COP por generación no intencional

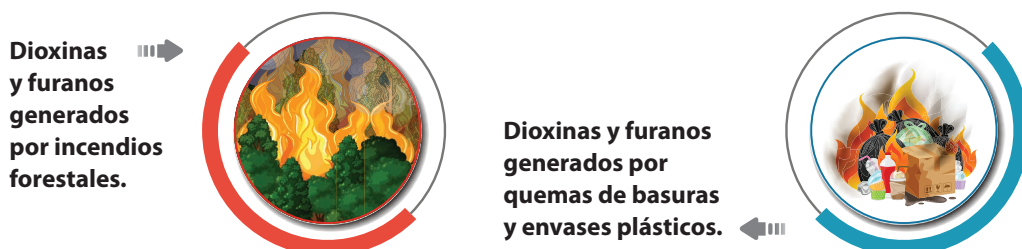
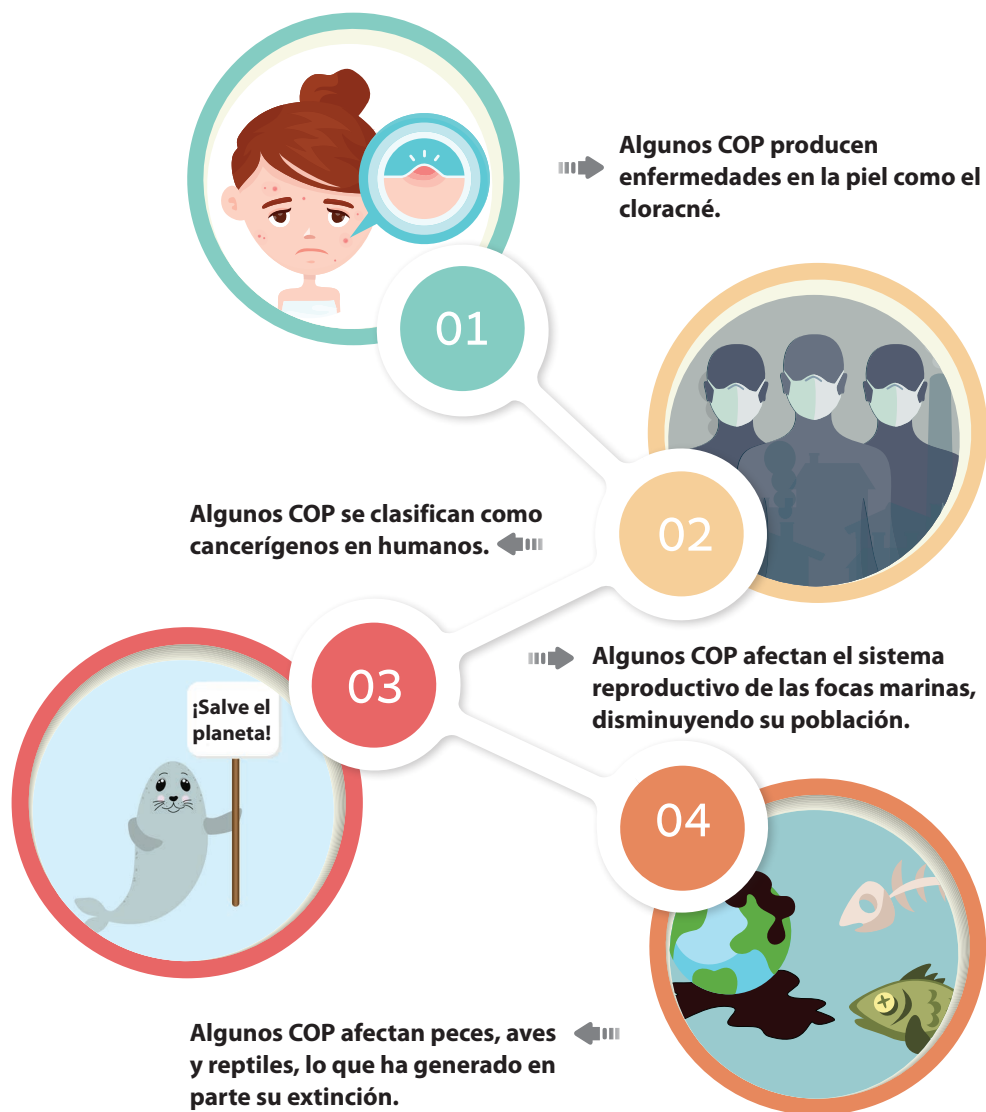


Figura 13.8 Efectos de los COP en el ambiente y la salud humana



Efectos de los COP en la salud y el ambiente

Según la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2008), se ha evidenciado que los efectos en la salud por exposición a COP son cloracné, diferentes tipos de cáncer, malformaciones congénitas, esterilidad, daño en el sistema nervioso central y bajo peso al nacer, entre otros. Mientras que en animales ma-

míferos, focas por ejemplo, afectan su sistema reproductivo; en las aves, los efectos reportados son adelgazamiento de la cáscara de huevo y alteraciones en los embriones; en reptiles, su exposición ambiental ha disminuido el número de caimanes; en peces generan alteraciones reproductivas y en caracoles marinos ha disminuido su población. En la figura 13.8 se presentan los principales efectos de los COP.

Compromiso frente a los COV y COP

La emisión de los COV y COP representa un problema global, ya que afecta a todas las personas en el planeta y al ecosistema y asimismo a las generaciones futuras; por ello, a partir del Convenio de Estocolmo y el Protocolo de Montreal, se han proyectado una serie de compromisos con el fin de reducir su impacto. A continuación, se presentan algunos:

- Eliminar los COP y los equipos que los contengan comenzando con los 12 más nocivos.
- Proponer otras alternativas más limpias ante el uso de los COP y COV.
- Modificar algunas prácticas como quema de desechos, quema de madera, entierro de desechos.
- Promover la clasificación de residuos generados en el hogar y la industria.
- Conocer acerca del cambio de neveras por tecnología que no use COV.
- Mejorar el proceso de incineración controlada para evitar la generación de COP. como dioxinas y furanos.

Términos clave



- Ambiente
- Convenio de Estocolmo
- COP
- COV
- DDT
- Dioxinas
- Furanos
- Protocolo de Montreal
- Salud
- SAO

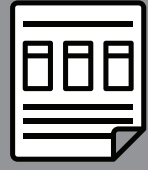


Intoxicación ambiental

Una fábrica de plaguicidas que en la década de 1980 producía insecticidas organoclorados para eliminar la malaria y contrarrestar la broca en el café, cerró su síntesis a principios de la década de 1990 y dejó almacenados 3.000 kilogramos de ingrediente activo. En el mismo lote, 10 años después se instaló una fábrica de espumas. Cierta día se inició un incendio por acumulación de gases de solventes y toda la planta quedó destruida, aunque no hubo pérdidas humanas.

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. Haga una pequeña reflexión acerca del problema expuesto en el caso.
2. En grupos de trabajo respondan: ¿qué se genera al quemar plaguicidas organoclorados? ¿Qué se genera al quemar solventes? ¿Qué medidas preventivas adoptarían?
3. Proponga una posible solución a la disposición de las canecas con 3.000 kilogramos de plaguicidas organoclorados. Argumente su respuesta.

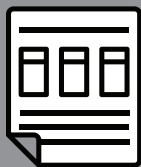


RESUMEN

En este capítulo se presentó un grupo de sustancias químicas orgánicas que representan una preocupación mundial por sus efectos en salud y en ambiente, los COV y COP. Los COV son sustancias químicas sintéticas de tipo hidrocarburos que se encuentran en estado gaseoso a temperatura ambiente o son muy volátiles. Su estructura tiene menos de 12 átomos de carbono y grupos activos que contienen oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Estos se generan a partir de actividades como solventes para lavado en seco (percloroetileno), pintura de automóviles, lacas, producción de solventes, propelentes de aerosoles y gases refrigerantes de neveras, entre otros. Algunos COV se han catalogado como sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) y generan efectos nocivos en el ambiente, como smog fotoquímico, disminución de la capa de ozono, mientras en las plantas afecta el proceso de la fotosíntesis y en los animales y seres humanos genera radiaciones de luz ultravioleta que son nocivas porque producen cáncer de piel.

Los COP son sustancias químicas orgánicas o mezclas, que han facilitado la vida del hombre al ser utilizadas como insecticidas, por ejemplo, para el control del vector causante de la malaria, controlar plagas como piojos y mejorar procesos industriales y agrícolas. Algunos son generados por quemas de desechos químicos y otros fabricados por el hombre. Los COP asimismo generan efectos nocivos en el ser humano, como cloracné y cáncer, y otros efectos en reproducción al igual que ocasionan problemas de fertilidad, entre otros. En cuanto al ambiente, la liberación de COP produce problemas en diferentes especies animales, como en focas marinas, aves, peces, reptiles y mamíferos en general. La preocupación de la liberación de los COP en el ambiente radica en su persistencia, ya que se bioacumulan y biomagnifican en la cadena trófica, al llegar a todos los lugares del planeta.

El Protocolo de Montreal y el Convenio de Estocolmo han sido convenciones mundiales en las cuales la mayoría de países firmantes del compromiso se proponen disminuir el uso



RESUMEN

de los COV y COP para tratar de eliminarlos paulatina y definitivamente. Por último, es importante tener en cuenta que los profesionales en seguridad y salud en el trabajo tienen la responsabilidad de aplicar deliberada y conscientemente dichos compromisos en sus lugares de labores cotidianas y propender por la capacitación y concientización de los trabajadores para eliminar la liberación de los COV y COP en el ambiente.



CUESTIONARIO

1. Mencione cinco sustancias clasificadas como COV liberadas intencionalmente.
2. Mencione cinco sustancias clasificadas como COV liberadas de manera no intencional.
3. Mencione cinco sustancias clasificadas como COP liberadas intencionalmente.
4. Mencione cinco sustancias clasificadas como COP liberadas de manera no intencional.
5. ¿Cuáles serían los compromisos de un trabajador frente a los COP y COV?

Referencias

- Atsdr. (2014). *Resúmenes de Salud Pública - 1,1,1-Tricloroetano (1,1,1-Tricloroetano)*. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/Es/Phs/Es_phs70.html
- Daza, L., & Gómez, D. (2005). *Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (Dama)*. Recuperado de <http://ambientebogota.gov.co/Documents/24732/3987336/Diagnostico+Ambiental+-Del+Sector+De+Lavanderías+En+El+Distrito+Capital.pdf>
- Iarc (2018). *List Of Classifications, Volumes 1-123*. Recuperado de <https://monographs.iarc.fr/List-Of-Classifications-Volumes/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia. (2019). *La Convención De Estocolmo*. Recuperado de <http://quimicos.minambiente.gov.co/Index.php/Contaminantes-Organicos-Persistentes/La-Convencion-De-Estocolmo/Que-Son-Los-Cop>
- Pnud (2019). *Protocolo De Montreal*. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development/environment-and-natural-capital/montreal-protocol.html>
- Pnuma (2010). Convenio de estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (Cop). Recuperado de https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/treaties/es/unep-pop/trt_unep_pop_2.pdf
- Vargas-Parada, L. (2012). Mario Molina propone restringir el uso de automóviles en el Df; El congestionamiento empeora, dice a *Crónica*. *En Crónica.com.mx*. Recuperado de <http://www.cronica.com.mx/Notas/2012/681733.html>
- Who (2008). *Training Package For The Health Sector*. Recuperado de <https://www.who.int/ceh/capacity/pops.pdf>

Con frecuencia las acciones se limitaban a comparar los resultados de las mediciones con los límites permisibles, usando a menudo normas extranjeras de forma indiscriminada debido a la escasez de profesionales competentes que establecieran pautas adaptadas a la realidad del país.

(Berenice Goelzer)





CAPÍTULO 14

Definición de límite de exposición ocupacional (LEO)

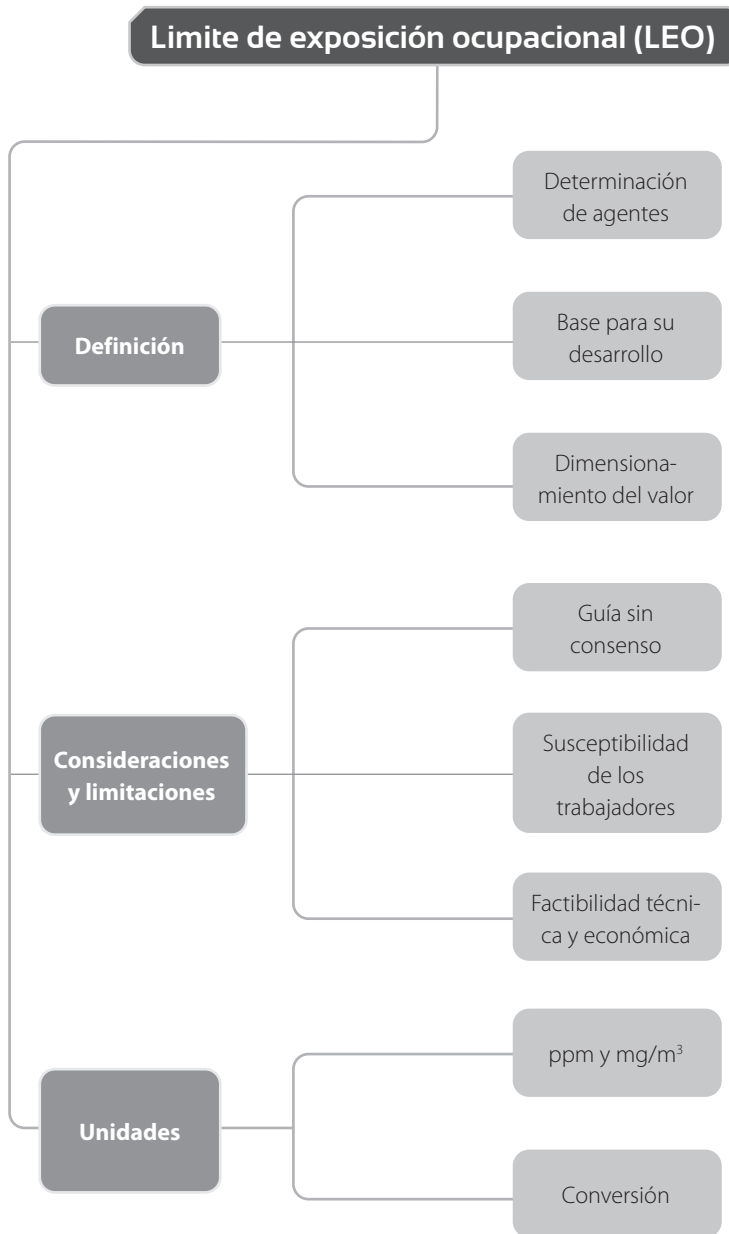
Eduardo Antonio Shaw Morais

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Definir el término límite de exposición ocupacional (LEO).
- Comprender las limitaciones y consideraciones para la aplicación del LEO.
- Reconocer las unidades de dimensión de un LEO.

Figura 15.1 Mapa conceptual sobre las clases de LEO



Introducción

Para este texto, el *límite de exposición ocupacional* (LEO) constituye el nombre genérico de los muchos términos utilizados por diferentes organizaciones y entidades alrededor del mundo con el fin de describir las concentraciones de agentes tóxicos cuando se hace un proceso de evaluación de riesgo para la salud de los trabajadores.

Aunque se trata de un valor numérico simple, el LEO representa determinar el grado de seguridad que puede tener la concentración de una sustancia química en determinado entorno, lo que implica responsabilidad. Los valores del LEO son las referencias más usadas para determinar si un trabajador se encuentra en riesgo de salud y si requiere una combinación de medidas de control y equipos de protección personal. En una aproximación más profunda, un LEO es la concentración de cierta sustancia tóxica en un ambiente laboral que, si se mantiene por un tiempo definido, puede constituir detrimento para la salud de determinado conjunto de trabajadores.

No obstante, resulta importante recalcar que esta concentración no es una línea determinante entre lo sano y lo insalubre (Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales –ACGIH–, 2018); más que un límite, se debe considerar como una banda o rango alrededor de un valor que, si se aproxima, es imprescindible tomar acciones para prevenir una exposición o mitigar un riesgo. En caso de sobrepasar ciertos valores, se deben tomar medidas estrictas, que incluyen seguimiento médico y notificación a los afectados.

Ahora bien, la determinación de un LEO es una tarea de gran envergadura. Una vez escogido el agente por estudiar, hay que establecer y estudiar el volumen de información toxicológica y epidemiológica, entre otros datos, con el poder estadístico adecuado y otros datos científicos confiables. De ahí, el debate y análisis para establecer el valor que corresponda, notificarlo, evaluar comentarios adicionales y, finalmente, publicar su pertinencia. Todo el proceso y decisiones tomadas deben seguir los más rigurosos procesos científicos, puesto que los LEO se encuentran constantemente expuestos al escrutinio de la comunidad médica y legal en casos de demandas y juicios con el fin

de determinar la existencia de una correlación entre exposición y enfermedad laboral.

Ya publicados los datos del LEO, la interpretación y aplicación en el mundo laboral igualmente constituyen una actividad compleja. Este trabajo es ciencia y arte, pues hay que tener en cuenta limitaciones ineludibles, bien sea por (1) variedad de potenciales condiciones en diferentes espacios de trabajo; (2) variabilidad en las susceptibilidades de los trabajadores; y (3) los diversos criterios para determinar un LEO, sin incluir las variantes en los métodos de medición y análisis de las exposiciones con las que se vayan a comparar, tema por abordar en el capítulo 17.

Definición

Alrededor del mundo existen diversas organizaciones que estudian, determinan, proponen y promulgan los LEO. Uno de los LEO más reconocidos son los valores umbrales límite (TLV, por su sigla original en inglés), los cuales son promulgados por la ACGIH, para los ámbitos laborales y los definen como «[...] concentraciones en aire de sustancias químicas bajo las cuales se cree que *casi todos* los trabajadores pueden ser expuestos repetidamente, día tras día, por una vida laboral sin efectos adversos a la salud». (ACGIH, 2018, p. 3).

En esa definición se encuentran implícitas varias afirmaciones que llaman la atención. Primero, estos valores no son definitivos, pues simplemente existe la creencia que –con el mejor respaldo científico– las concentraciones de agentes químicos, no podrán causar perjuicios a la salud. Segundo, los LEO no cubren toda la fuerza laboral y esa interpretación hace hincapié en el «casi todos», pues, para cierto porcentaje de la población laboral, estos valores no se aplican por diferentes razones, tema por explicar en detalle más adelante. Tercero, estos valores son sólo para «trabajadores», no para la comunidad en general (incluidos niños y adultos mayores) ni valores de protección ambiental, que no se deben usar para ninguno de esos otros propósitos. Por último, la explicación se refiere a «efectos adversos a la salud», sin una especificación concreta, ya que cada LEO se establece para protegerse de un peligro determinado

para la salud, regularmente llamado el efecto crítico, aunque el agente tóxico tenga más de un detrimento para la salud. Por consiguiente, el efecto sobre la salud para establecer el LEO, el efecto crítico, por lo regular es el más severo o grave, aunque también puede ser el más investigado simplemente porque hay más datos y menos incertidumbre en el momento de tomar una decisión. Este detalle de cómo y por qué se elige el efecto crítico aparece en la información de respaldo que contiene los datos utilizados como base para establecer el LEO para cada agente.

Determinación

En primer lugar, se debe reconocer que no todos los agentes químicos en uso hoy día tienen un LEO definido. De acuerdo con un estudio del Centro para la Integridad Pública de Estados Unidos, de 84.000 sustancias químicas registradas en ese país, aproximadamente apenas el 0,006% tienen un LEO establecido. En segunda instancia, si nos limitamos a examinar sólo los químicos de uso más comunes, que suman más de 2.200, el porcentaje de agentes con un LEO determinado sube al 10%, cifra aún muy baja y, por ende, en estos casos, la evaluación de riesgo a sustancias químicas no se puede apoyar en la comparación de concentración medida a un LEO (Qui & Hopkins, 2015).

Por otra parte, con el fin de seleccionar cuáles de estos miles de químicos en uso se les debe dedicar recursos para determinar un LEO, se requiere una definición de protocolo para seguir y aplicar. Entre los parámetros para hacer esta determinación se incluyen los siguientes, según el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS, 2010):

- Grado de evidencia epidemiológica.
- Información toxicológica publicada y fiable.
- Calidad de datos de medición.
- Métodos de medición comprobados.
- Gravedad de los efectos para la salud.
- Población expuesta.

Hay que tener en cuenta, asimismo, que los LEO son establecidos por un grupo de especialistas de diferentes disciplinas

relacionadas con la salud ocupacional, entre los que se incluyen toxicólogos, epidemiólogos, higienistas, médicos laborales, estadísticos, químicos e ingenieros, todos expertos muy calificados en sus respectivos ámbitos. La información y datos evaluados y tomados en consideración para establecer un LEO son muy variados e incluyen los siguientes requerimientos, según Paustenbach (1988):

- Propiedades físicas y químicas del agente: presión de vapor, solubilidad en agua, solubilidad en lípidos, etc.
- Toxicidad aguda y crónica: bien sea oral, dérmica y respiratoria en animales y seres humanos, farmacocinética, genotoxicidad, sensibilización y toxicidad reproductiva.
- Estudios epidemiológicos: morbilidad y mortalidad.
- Vigilancia médica: resultados de exámenes, patrones y tendencias.
- Evaluaciones de higiene ocupacional: mediciones de área y monitoreo personal.

El Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT) incluye también el siguiente parámetro (INSSBT, 2018):

Experiencia industrial: métodos y tasas de producción, utilización, manipulación, etc.

Base

Un agente químico puede implicar variados tipos de efectos adversos para la salud de los trabajadores. Éstos pueden ser de carácter agudo y crónico, al atacar uno o varios órganos blanco, e impactar a nivel local y sistémico. No obstante, de todos los efectos a la salud que puede ocasionar un químico, solo uno o unos pocos forman la base del LEO, llamado el efecto crítico. Estos efectos, dependiendo del agente y propósitos para los cuales se desarrolla el LEO, pueden constituir los padecimientos que ocurren a la concentración más baja (Paustenbach, 1988), bien sea para la protección de enfermedades o mantener a los trabajadores razonablemente libres de una posible irritación, molestia u otros tipos de estrés para la salud (ACGIH, 2018).

Dimensionamiento del valor

Los LEO están asociados a un determinado tiempo; los más comunes son de ocho horas (por el turno de trabajo estándar) que se refiere como tiempo ponderado en el tiempo o TWA [*time weighted average*] por sus siglas en inglés y 15 minutos (para tareas de corta duración) que comúnmente se refiere como límite de exposición de corta duración o STEL [*short term exposure limit*] por sus siglas en inglés. Existen LEO que son un techo o valor que no se puede exceder ni por un instante cuando, entre otras razones, los efectos adversos son muy agudos o se manifiestan en un muy corto periodo, como gases o vapores irritantes. En teoría, la exposición para un trabajador a determinado agente no debería aproximarse, o sobrepasar, el LEO en el tiempo establecido para el correspondiente límite. Puesto que estos límites están relacionados con un lapso, bien sea ocho horas, 15 minutos o instantáneamente, mientras más bajo el valor o cifra, más fuertes o tóxicos son los efectos asociados al agente en cuestión. En otras palabras, mientras el valor del LEO más se acerque a 0, esto lo hace más conservador o restrictivo al momento de adoptarlo en la práctica. El tema de los tipos de LEO – dependiendo de su periodo– se abordará con más detalle en el capítulo 15.

En el cuadro 14.1 se muestra en términos generales y conceptuales cómo se relacionan los valores numéricos del LEO con el nivel de toxicidad, ya que en algunos círculos se puede malinterpretar (en forma intuitivamente errada) cómo el valor más bajo corresponde a la más alta toxicidad, y el valor más alto se asocia a una menor peligrosidad para la salud. Se reitera entonces que el LEO no es un número por sí solo, sino que se correlaciona con un periodo de exposición.

Cuadro 14.1 Relación valor numérico y nivel de toxicidad de un LEO

Valor numérico de un LEO (para 8 horas)	Nivel de toxicidad
> 500	Leve
> 100 y < 500	Moderada
> 10 y < 100	Alta
< 10	Muy alta

Para efectos de la sustitución como técnica de control de la exposición, si los químicos de aplicación similar en un proceso operativo, por ejemplo, dos disolventes, tienen efectos adversos parecidos para la salud y ocurren en los mismos órganos, por ejemplo, irritación del tracto respiratorio superior; y en ambos casos, éste es el efecto crítico del LEO, el disolvente con el mayor valor numérico será el más inocuo o menos tóxico. En este ejemplo, el LEO se puede usar como parámetro para determinar el agente más benigno y, por ende, más apropiado para la sustitución. Obsérvese que en este tipo de comparación entre agentes químicos y sus correspondientes LEO, sólo se deben aplicar cuando sus consecuencias para la salud sean similares, ataquen los mismos órganos blanco y asimismo constituyan la base para la determinación del LEO.

Consideraciones y limitaciones

Al aplicar un LEO se debe tener muy en cuenta consideraciones importantes y limitaciones que poseen estos valores, las cuales se abordan en los siguientes cuatro subtemas.

Guía sin consenso

En este apartado, resulta importante aclarar qué otros criterios se utilizarían para determinar los LEO. Por ejemplo, la ACGIH (2018) establece que no llegan a conclusiones por consenso. A pesar de que invitan a la opinión pública a participar mediante investigaciones científicas relevantes y además tienen un periodo de notificación de cambios en el cual se reciben comentarios, al final el organismo toma su decisión con base en criterios científicos y otros argumentos enfocados a la protección de la salud. No obstante, en un estándar por consenso, la opinión de todas las partes interesadas se pondera y se llega a un convenio en el cual todos estén de acuerdo. Si se adoptan decisiones como norma en alguna jurisdicción, pasan de ser recomendaciones a concentraciones que no son permisibles por ley, y deben pasar por un proceso legislativo y político que tiene en consideración los intereses de todas las partes representadas (ChemDAQ, Inc., 2017).

Susceptibilidad de los trabajadores

La ACGIH y demás organizaciones que establecen los LEO ofrecen varias consideraciones importantes para tener en cuenta al aplicarlos durante el proceso de evaluación de riesgo, haciendo énfasis en que estos límites no protegen a todos los trabajadores. Estas entidades reconocen que, dependiendo de susceptibilidades individuales, estos valores no protegen a toda la fuerza laboral por igual, y por ende no se deben de interpretar como una línea determinante entre lo saludable y lo dañino. Más aún, se debe considerar como una guía para apoyar el proceso de evaluación y prevención de riesgos.

A partir de la experiencia de consumo de sustancias nocivas (por ejemplo, el tabaco como producto comercialmente disponible), se puede demostrar la hiper e hiposensibilidad de ciertos individuos a este artículo que depende de varios factores. En un extremo está el fumador exclusivamente pasivo, que desarrolla una enfermedad crónica asociada al humo del tabaco, como el cáncer pulmonar; en este caso, hipersensibilidad. En el otro extremo, el fumador activo que llega a avanzada edad sin padecer este tipo de enfermedad (aunque pueda padecer otras afectaciones), cuyo ejemplo muestra un caso de hiposensibilidad. Es de vital importancia entonces, comprender que este concepto igualmente se traduce a los agentes que se encuentran el lugar de trabajo y que tienen un LEO asignado. Para el tema relacionado con la protección de la salud, el caso que nos ocupa es el de la hipersensibilidad, pues por más que se evalúe, estudie y determine un LEO, habrá individuos cuya salud se verá afectada adversamente ante la concentración del límite o por debajo de ese valor.

Entre los factores que puedan afectar la susceptibilidad a un agente se incluyen edad, género, etnicidad, genética, opciones de vida (nutrición, tabaquismo, uso de drogas), medicamentos y condiciones médicas preexistentes (por ejemplo, asma o cardiopatías). Un trabajador también puede presentar diferentes reacciones a una misma concentración si su actividad requiere demanda cardiopulmonar más alta (trabajo estrenuo versus sedentario) o condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa (ACGIH, 2018).

«Opinión científica»

Los datos y análisis para evaluar y considerar un LEO son complejos y llevados a cabo por organizaciones y expertos de gran reconocimiento, los cuales se encargan de proponer los estudios pertinentes. Estos mismos profesionales se refieren a los LEO como «opiniones científicas», es decir, a pesar de ser criterios científicos debidamente respaldados, apenas constituyen una aproximación en el momento, la cual debe ser constantemente revisada y actualizada mediante otros estudios, de los cuales se obtienen más datos para afinar o confirmar conclusiones formadas. Son múltiples los ejemplos de agentes tóxicos cuyo LEO se ajusta con el tiempo al haber mayor evidencia científica, convirtiéndose en valores más conservadores o protectores debido a la confirmación de su correlación con efectos más tóxicos o enfermedades más severas. Los agentes que se encuentran en esta categoría incluyen benceno, formaldehído, monóxido de carbono, sílice, amianto, cromo hexavalente, por nombrar solamente algunos.

Factibilidad técnica y económica

Varios LEO, como los promulgados por ACGIH, no toman en cuenta la factibilidad técnica o económica para su implementación. Por tratarse de estándares de salud, no consideran si al momento de establecer un LEO, existe tecnología de procesos operativos para mantener las exposiciones a esas concentraciones. Tampoco contemplan si es económicamente factible implementar controles necesarios para reducir las exposiciones a los valores establecidos como límites. Para la entidad que establece un LEO, la falta de capacidad financiera de una empresa o industria para adoptar un LEO, no constituye un factor en su toma de decisiones –bien sea por costos de las medidas de control o cambio en sus actividades operacionales. Tampoco es un factor si existen métodos validados para la medición y análisis de muestras. Esta es la razón de mayor peso por la cual se recomienda evaluar detenidamente todos los factores mencionados antes de adoptar un LEO como norma legislativa o hacerlo de obligatorio cumplimiento en cualquier jurisdicción.

Por todas las consideraciones y limitaciones relacionadas en esta sección, los LEO sólo deben ser aplicados por personal familiarizado con la documentación evaluada para determinar su valor. Usualmente, ésta se limita a personal educado y capacitado formalmente en higiene industrial y toxicología. De otra manera, se pueden malinterpretar o usar para propósitos no intencionados (Paustenbach, 1988). En la documentación de los LEO es donde un profesional puede reconocer la cantidad y nivel de certidumbre de estudios y datos, factores de seguridad, su fundamentación a partir de análisis en seres humanos o extrapolación a partir de investigaciones en animales, etc.

Unidades

Las concentraciones de los LEO son cantidades de sustancias muy bajas y se requiere una unidad igualmente pequeña para darle una dimensión que sea útil y manejable. Entre las unidades más comunes que se usan para expresar los LEO están *partes por millón* (ppm) o *miligramos por metro cúbico* (mg/m^3), si el agente es un gas o vapor en condiciones de presión y temperatura normal (101.325 pascales y 25 centígrados). También se usa mg/m^3 para otros materiales como metales, sales, humos y otros sólidos que no forman vapores o gases en las mismas condiciones de presión y temperatura normal. Por la forma como se encuentren en estado natural, hay agentes (como el amianto) que se miden en otra unidad: fibras por centímetro cúbico (f/cc).

Los ppm se pueden convertir a mg/m^3 , al multiplicar el valor en ppm por el peso molecular de la sustancia y dividir entre 24,45. De manera similar, los mg/m^3 se pueden transformar en ppm, al multiplicar el valor en mg/m^3 por 24,45 y dividir entre el peso molecular del agente en cuestión. La cifra 24,45, en este caso, corresponde al volumen en litros de un mol de un gas o vapor en condiciones normales de temperatura y presión. La necesidad de esta conversión se puede dar cuando se hacen mediciones para estimar la exposición, y al enviar los resultados al laboratorio se pueden reportar en una unidad, dígame mg/m^3 , aunque el LEO de referencia se da en ppm.

Fórmulas de conversión de unidades de LEO (ppm y mg/m³)

$$\text{LEO (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{LEO (ppm)} \times \text{peso molecular}}{24,45}$$

$$\text{LEO (ppm)} = \frac{\text{LEO (mg/m}^3\text{)} \times 24,45}{\text{(peso molecular)}}$$

Es importante recalcar que estas unidades son extremadamente pequeñas. En términos porcentuales, una ppm es 0,0001% del universo. Mediante otras analogías con tiempo, distancia y volumen, se podría interpretar como 1 minuto en 2 años, 2,5 centímetros en 26 kilómetros, cinco gotas de leche en 208 litros de café, respectivamente. En este último ejemplo, si se revuelve ese contenido en un envase y una persona consume un poco, desconociendo el añadido de leche, ¿podría percibir el lácteo en la bebida? Seguramente, la respuesta es no. Así, igualmente, hay sustancias químicas que, a una concentración en fracciones de dos y tres órdenes de magnitudes más pequeñas, pueden causar daños a la salud en un turno laboral. Éste es el caso de los agentes que tienen un LEO definido en décimos, centésimos y milésimos de ppm.

Términos clave



- Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH)
- Efecto crítico
- Guía sin consenso
- Hipersensibilidad
- Hiposensibilidad
- Límite de Exposición Ocupacional (LEO)
- Miligramos por metros cúbico (mg/m³)
- Órgano blanco
- Partes por millón (ppm)
- Valores umbrales límite



Selección de componente químico menos tóxico

Como profesional de higiene y salud ocupacional, le piden evaluar un nuevo disolvente para uso en una fábrica, y el laboratorio corporativo le presenta un organoclorado porque sus propiedades químicas harían el proceso de limpieza en forma más eficiente para los materiales que allí se producen. El departamento de compras hizo una evaluación de mercado de productos de limpieza cuyo ingrediente activo es un organoclorado y ofrece cuatro opciones, cada uno con un componente diferente. La política actual de la empresa exige que todo producto nuevo, antes de su compra, debe pasar por revisión en el departamento de seguridad e higiene. Al hacer la evaluación sobre la toxicidad del ingrediente principal del producto, se da la información que aparece en la tabla a continuación:

Cuadro 14.2 LEO, anotaciones y efecto crítico de organoclorados

Organoclorado	TWA	STEL	Anotaciones	Efecto crítico
Cloroformo	48,8 mg/ m ³	--	--	Daño en hígado y sistema nervioso.
Diclorometano	50 ppm	--	--	Anemia y daño en sistema nervioso.
Dicloroetano	100 ppm	--	--	Irritación de ojos y garganta; daño en hígado/riñón.
Tricloroetano	54,5 mg/ m ³	--	Vía dérmica/piel	Daño en el hígado y sistema nervioso.

Se supone que los productos son de igual composición, excepto el ingrediente activo, el organoclorado, que se encuentra en proporción similar en todas las opciones.

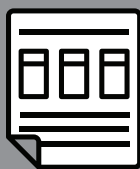
La tarea consiste en dar una recomendación al departamento de compras sobre cuál producto se debe adquirir, tomando en cuenta cuál sería el más inocuo o menos peligroso para la salud de los trabajadores.



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, resuelva los puntos 1 a 3:

1. Convierta los valores de LEO - TWA de cada organoclorado dado en el cuadro 14.2 a mg/m^3 o ppm para comparar los valores usando una sola unidad.
2. Establezca el nivel de toxicidad de cada organoclorado según el cuadro 14.1.
3. Indique el organoclorado por recomendar al departamento de compras con base en su toxicidad, tomando en cuenta cuál sería el más inocuo o menos peligroso para la salud de los trabajadores.



RESUMEN

Los LEO no son valores definitivos que en esa medida señalen una concentración de potencial riesgo de generación de una enfermedad, aunque sí podrían propiciar detrimento para la salud de un trabajador. Estos valores deben considerarse más como guía o rango, y para su aplicación, se deben tener en cuenta otras variables y condiciones que son relevantes.

Pese a que un agente químico puede ocasionar variados efectos adversos para la salud, los LEO registran como base uno o pocos efectos dependiendo del propósito por el cual se establece el valor o los estudios científicos respaldados que se tengan para el agente en cuestión. Es importante reconocer igualmente que, aunque el LEO sea evaluado como base para cierto efecto adverso (el efecto crítico), puede ocasionar otro tipo de reacciones en determinado grupo de trabajadores.

Para efectos de estudios rigurosos, no es fácil establecer un LEO, puesto que se requiere análisis de una vasta cantidad de información compleja con carácter científico, el cual debe ser llevado a cabo por profesionales calificados. Además de las implicaciones morales y éticas que conlleva determinar una concentración con sus potenciales efectos adversos para la salud de un trabajador a corto, mediano y largo plazos, también se encuentran los intereses económicos en conflicto en cuanto a las implicaciones de adoptar un límite de exposición ocupacional y el posible impacto en ciertas operaciones.

La interpretación y aplicación de un LEO también presenta sus dificultades, ya que existen varias limitaciones; entre ellas, (1) los LEO no son totalmente determinantes científicamente por formar parte de un proceso de evaluación donde hay niveles de incertidumbre, (2) existen trabajadores menos o más sensibles, (3) los valores pueden cambiar según nuevos estudios, y (4) existen valores publicados sólo para un pequeño porcentaje de químicos en uso en la actualidad.

Para los profesionales dedicados a la prevención de enfermedades profesionales, una de las tareas más importantes

consiste en medir la exposición en el ambiente laboral mediante muestras personales y de área, a fin de comparar estos valores con respecto a los límites correspondientes. No obstante, vale la pena reiterar que el simple hecho de estimar una exposición y evaluar si se ajusta al LEO, no constituye *per se* una evaluación de riesgo. Aunque es un paso importante, es apenas una etapa en el proceso completo de evaluación de riesgos para sustancias químicas, en el cual se deben incluir otras tareas, tales como identificación, valoración, adopción de medidas preventivas y documentación (ACGIH, 2018).




CUESTIONARIO

1. Dé algunos ejemplos de individuos que los LEO no protegen.
2. Relacione cinco parámetros que una entidad debe tener en cuenta al momento de desarrollar un LEO.
3. Explique qué es un estándar sin consenso.
4. Dé tres razones por las cuales la aplicación de un LEO sólo se debe hacer por personal capacitado en higiene industrial, un toxicólogo o un profesional con formación similar.
5. Convierta el LEO de monóxido de carbono (peso molecular 28,01 g/mol) de 35 ppm a su valor equivalente en mg/m³.

Referencias

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH]. (2018). *TLVs® and BEIs® Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices*. Cincinnati: ACGIH.
- ChemDAQ, Inc. (2017). [Blog] *What is the difference between a REL and a PEL?* Recuperado de www.chemdaq.com/difference-rel-pel-2/
- Goelzer, Berenice. (1996). “*El desarrollo armonizado de la higiene ocupacional – una necesidad en países en vía de desarrollo*”. American Industrial Hygiene Association Journal.
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo [INSSBT]. (2018). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. Madrid: INSSBT.
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud [ISTAS]. (2010). *Los límites de los límites. Valores límite de exposición ocupacional: Razones y limitaciones*. Barcelona: ISTAS, pp. 80. Recuperado de <http://www.istas.ccoo.es/descargas/LIMITES.pdf>
- Paustenbach, D.J. (1988). Occupational Exposure Limits. En J.M. Stellman (Ed.) *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* (pp. 30.27-30.34). Geneva: International Labor Office.
- Qui, Y. and Hopkins, J.S. (2015). A Tattered Safety Net for Workers. *En The Center for Public Integrity*. Recuperado de <https://publicintegrity.org/workers-rights/unequal-risk/a-tattered-safety-net-for-workers/>



La historia ha demostrado que al introducir el concepto de “un nivel seguro de exposición” y al establecer un tipo de “gestión por objetivos”, los profesionales de la salud ocupacional establecerán y perseguirán un programa sistemático para reducir la exposición.

(D. J. Paustenbach)



CAPÍTULO 15

Clases de límites de exposición ocupacional (LEO)

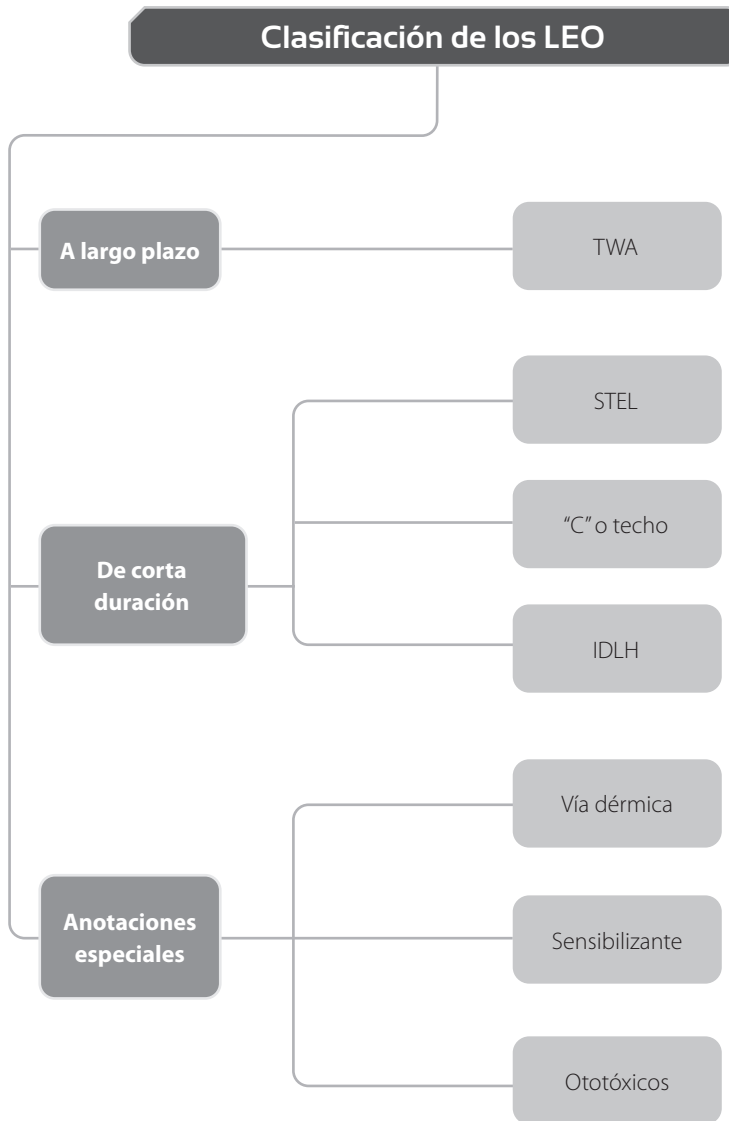
Eduardo Antonio Shaw Morais

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Describir los diferentes tipos de LEO según el periodo que abarquen.
- Conocer cuándo aplicar un límite de excursión, si un agente no tiene un LEO de corta duración.
- Reconocer las anotaciones especiales más comunes para resaltar riesgos adicionales de sustancias químicas.

Figura 15.1 Mapa conceptual sobre las clases de LEO



Introducción

Los límites de exposición ocupacional (LEO) se pueden dividir en diferentes clases dependiendo del periodo que cubran y la rapidez con que se manifiesten los efectos para la salud en el organismo humano. Los lapsos más comunes para definir un LEO son ocho horas, 15 minutos e instantáneamente. Éstos no necesariamente se deben usar de manera independiente ya que los agentes químicos pueden tener ambos tipos de efectos; a largo plazo (8 horas) y de corta duración (15 minutos). También existen otros tipos de concentraciones que, aunque no son límites, se usan para otros propósitos como la selección del equipo de protección personal.

A los LEO de varios agentes se les asigna una anotación especial al tener una condición muy particular de riesgo con el fin de identificarla y resaltarla. Los riesgos más comunes incluyen el potencial de absorción dérmica y sensibilización. Recientemente se han añadido alertas para los agentes ototóxicos (químicos que afectan el sistema auditivo). Ésta es información complementaria cuya base para la notificación puede variar según la entidad que desarrolle el LEO y, por ende, merece explicación más detallada.

Clasificación de los LEO

En esta sección se profundiza en los diferentes tipos de LEO según el periodo que cubren. Recordemos que un LEO es la concentración que se debe mantener en determinado periodo, no se trata de una concentración de sustancia en absoluto o por sí sola. Cada unidad de LEO, bien sea ppm, mg/m³ o f/cc, tiene un lapso estándar y, en realidad, corresponde al promedio de la concentración con respecto a la protección de la salud en un tiempo definido, bien sea ocho horas, 15 minutos o instantáneo.

A largo plazo

TWA - promedio ponderado en el tiempo

El primer tipo o clase de LEO cubre un periodo de ocho horas, el cual tiene su origen en el turno de trabajo estándar de ocho horas al

día por cinco días consecutivos, seguido por dos días de descanso, para un total de 40 horas a la semana. Este límite se conoce como *promedio ponderado en el tiempo* (TWA, por su sigla original de *Time-Weighted Average*), u otra variación de esta nomenclatura. Cabe resaltar que esta concentración es un promedio, es decir, la exposición puede estar por debajo o por encima (sin exceder una exposición pico) a través del turno siempre que al final de las ocho horas el resultado promedio se encuentre al límite, o por debajo de éste.

De corta duración

STEL - límite de exposición de corta duración

El segundo lapso comúnmente se establece como un promedio ponderado para un periodo de 15 minutos, el cual no debe exceder en ningún momento durante el turno laboral. Un acrónimo común para referirse a este tipo de límite es STEL (por su sigla original *Short Time Exposure Limit*), que significa límite de exposición de corta duración. Según la Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, 2018), este límite funciona como complemento del TWA de ocho horas cuando el agente también ejerce efectos agudos o se desarrollan en un corto periodo, pero igualmente se puede usar como límite independiente.

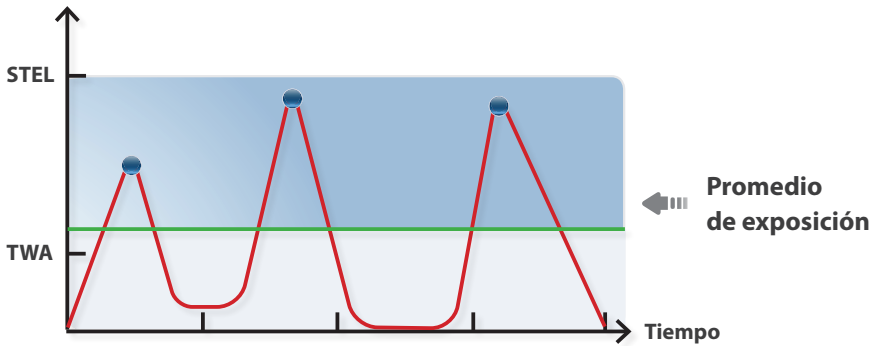
La ACGIH (2018) además presenta las siguientes pautas:

[...] Exposiciones por encima del TLV-TWA hasta el TLV-STEL deben ser por menos de 15 minutos, deben ocurrir no más de 4 veces al día, y debe haber un espacio de al menos 60 minutos entre exposiciones sucesivas dentro de este rango (p. 4).

En el perfil de exposición hipotética que se ilustra a continuación (figura 15.2.) donde el químico tóxico posee un límite TWA y un STEL, a través de la línea roja se muestran tres situaciones en un turno de ocho horas que se aproximan al STEL pero se supone cumplen con los requisitos dados anteriormente (los picos son de menos de 15 minutos; sólo se dan tres en total y están distanciados por más de una hora). Pese a que se mantienen las guías para los STEL y éste nunca se sobrepasa, puede darse el caso que exceda el promedio del límite TWA,

representado por la línea verde. En este ejemplo, se demuestra cómo el STEL puede ser complemento para el límite TWA y por qué evaluar ambos límites cuando existen.

Figura 15. 2 Relación límite TWA y ST



Un perfil de exposición puede ser tal que tenga tareas donde se presenten picos de exposición que no sobrepasen los parámetros dados para el STEL, pero donde al mismo tiempo, la exposición promedio del turno entero sí exceda el límite TWA.

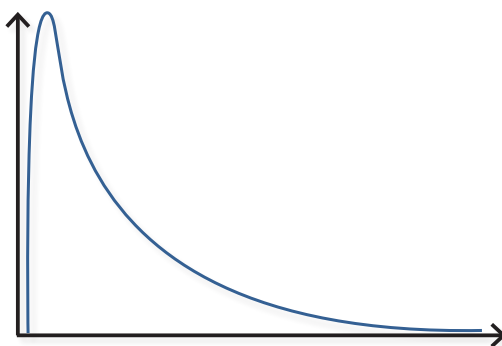
Límite de excursión

En el ejemplo anterior se supone que el agente tóxico tiene un límite TWA y un STEL, aunque en muchas ocasiones las sustancias químicas solo relacionan un límite TWA y carecen de un STEL. En estos casos, algunas entidades como la ACGIH (2018) presentan una alternativa. Se trata de una regla en la cual toman el valor del límite TWA establecido y se multiplica por 3. A este valor (tres veces el límite TWA) le aplican las mismas reglas que al STEL, y se le añade una más: nunca se debe exceder una concentración que iguale cinco veces el límite TWA. Las exposiciones pico tienen tanta importancia como el promedio en ocho horas e igualmente deben cuantificarse y controlarse, y – por ende– se desarrollan este tipo de opciones para el beneficio del proceso de evaluación de todos los riesgos. Asimismo, donde exista un STEL para un agente tóxico, no se debe aplicar un límite de excursión, ya que el STEL siempre tendrá preferencia.

Para más claridad sobre esta regla, tómese un agente que tiene un límite TWA de 15 ppm y no tiene un STEL. En el lugar de trabajo se observa una tarea donde puede haber exposiciones altas, pero de corta duración (un momento donde se usa el agente fuera de las medidas de control técnicas) y el higienista industrial decide medir la exposición durante esta tarea. Este resultado no se comparará contra el límite TWA por tratarse de una tarea de corta duración, pero al no tener un STEL, se permite tomar tres veces el límite TWA; en otras palabras, $3 \times 15 \text{ ppm} = 45 \text{ ppm}$, y comparar la medición del ambiente contra este valor. Vale recalcar, que la exposición durante esta tarea nunca debe exceder cinco veces el límite TWA, es decir, $5 \times 15 \text{ ppm} = 75 \text{ ppm}$.

La aplicación de esta regla, tres veces el límite TWA, no es casual y encuentra su razón de ser en la estadística. Resulta que en una distribución log-normal, como son los datos de medición de higiene industrial, con una desviación estándar geométrica igual a 2,0, el 5% de los datos exceden 3,13 veces la media geométrica (ACGIH, 2018). Todo esto solo quiere decir que en un proceso bien controlado (sin mucha variabilidad), un muy bajo porcentaje de datos (5%) estarán por encima de aproximadamente tres veces el promedio, usando valores acordes al tipo de distribución estadística que se está manejando. De este análisis se desprende que, a falta de un STEL, el uso de tres veces el límite TWA, constituye una mejor práctica con base en las estadísticas, teniendo en cuenta que nunca se debe exceder cinco veces el límite TWA.

Figura 15.3 Distribución log-normal



En la figura 15.3 se muestra una distribución log-normal que se caracteriza por tener un sesgo hacia la derecha. Para propósitos de higiene industrial, esto significa que la mayoría de los datos de monitoreo de la exposición tienden a ser más bajos con un porcentaje pequeño de concentraciones altas. Este tipo de distribución se diferencia de la distribución normal que no tiene sesgo; es asimétrica con un repartimiento más equitativo.

Es importante anotar que las estadísticas descritas en el párrafo anterior se producen en un proceso altamente controlado y consistente, cuando la exposición es casi la misma, independientemente de variables como trabajadores y equipos, factores que no siempre se van a dar en la realidad. Por ende, hay que ser cuidadoso al aplicar esta regla y tomar en cuenta las condiciones que la originan (ACGIH, 2018).

C - Techo

El tercer tipo de LEO en realidad no tiene un periodo definido, ya que es la concentración que nunca se debe exceder, ni por un instante. A este límite se le asigna la letra “C”, por la palabra original (*ceiling*, “techo”), término que explica suficientemente su significado. Este límite se reserva para agentes en los cuales el tiempo entre la exposición al trabajador y el desarrollo del efecto para la salud es muy rápido: entre segundos o minutos. A diferencia de los límites TWA y STEL que son promedios y permiten picos de exposiciones, siempre y cuando no superen ciertos parámetros, el límite “C”, o techo, es el único caso de una concentración que establece explícitamente una línea que no se debe de cruzar ni por un momento.

Pese a que usualmente el efecto crítico de un límite techo, es decir, el detrimento para la salud que se toma como base para desarrollar el LEO, es irritación, este no debe tomarse a la ligera, pues hay evidencia que aumenta y apunta a que este síntoma actúa como indicador de otros efectos adversos para la salud al interactuar con otros agentes o mecanismos. (ACGIH, 2018).

IDLH - inmediatamente peligrosos para la vida y la salud

En Estados Unidos, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, por su sigla original), desarrolló una guía que denominan *concentraciones inmediatamente peligrosas para la vida y la salud* (IDLH, por su expresión original *Immediately Dangerous to Life and Health*). La NIOSH (2004) define el concepto de la siguiente manera:

[...] condición que presenta una amenaza de exposición a contaminantes transportados por el aire cuando esta exposición probablemente cause la muerte o efectos adversos para la salud permanentes de manera inmediata o retardada o impida el escape del afectado de este tipo de ambiente (p. 20).

Para establecer la condición IDLH, se deben cumplir los siguientes requisitos (NIOSH, 2004):

- la habilidad de escapar sin padecer efectos para la salud, que sean irreversibles o que produzcan la muerte del trabajador (en un lapso de 30 minutos).
- Prevenir irritación severa en los ojos o en el tracto respiratorio u otra reacción que dificulte el escape del trabajador.

Obsérvese que IDLH es una condición, no un límite, y difiere de un LEO (TWA, STEL o C) en que las consecuencias que se usan para establecerlo (los efectos que forman la base para determinar la concentración) *siempre* constituyen el mismo conjunto y son extremadamente severas. La NIOSH (2004) establece esta condición como parte de los criterios para la selección de protección respiratoria y es una de las diversas condiciones mediante las cuales se exige una clase de dispositivo/respirador que sea altamente fiable. En este punto, igualmente se recalca que no es un límite ocupacional por definición, sino un parámetro que –si se cumple– apoya en la decisión de un tipo de equipo de protección personal que se debe usar.

Anotaciones para riesgos especiales

Organizaciones que desarrollan estándares LEO, con frecuencia, tienen una anotación por resaltar para un riesgo en particular.

Los más comunes son los agentes sensibilizantes y cuando una absorción por vía dérmica tiene impacto adverso en otros órganos del cuerpo. En los últimos años, se ha gestado un movimiento para destacar cuándo una sustancia química afecta adversamente el sentido auditivo, además de su efecto crítico.

Vía dérmica

Históricamente, la atención en cuanto a rutas de exposición por agentes químicos siempre se ha concentrado en las vías respiratorias. Es más, los LEO se desarrollan tomando en cuenta exclusivamente la inhalación de la sustancia (Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo [INSSBT], 2018). En los últimos 30 años, se ha dado más reconocimiento al papel que desempeña la absorción dérmica de agentes tóxicos en lo que respecta al total de la dosis que pueda recibir un trabajador durante una exposición (Pierce, Cathy y Weber, 2011). Cuando se trata de agentes químicos y la absorción dérmica presenta consideraciones adicionales, se les designa una anotación como “vía dérmica”, *Skin* (piel en inglés) o simplemente “SK” (ACGIH, 2018; INSSBT, 2018; NIOSH, 2009).

Esta designación tiene la intención de identificar sustancias químicas que en cualquier estado físico (gas, vapor, líquido o sólido) poseen características que permiten penetrar fácilmente en la piel (además de membranas mucosas y oculares, añade la ACGIH (2018)) de un trabajador expuesto, al igual que entrar en el torrente sanguíneo y afectar otros órganos; es decir, presentar un efecto sistémico pese a que la ruta de exposición es a través de la piel. La designación de *Skin* no se usa para señalar químicos que tienen efecto directo en la piel, tales como ácidos o cáusticos u otros agentes corrosivos, o agentes que causen irritaciones en la piel u otro tipo de dermatosis, al menos que también tengan un efecto sistémico.

Químicos con esta designación alertan a profesionales de la salud ocupacional que la medición de la concentración ambiental puede ser insuficiente para la evaluación completa del riesgo y que aún cuando la concentración está por debajo del LEO, se puede dar un efecto adverso para la salud. También se recomienda que para sustancias químicas con esta anotación se considere

el monitoreo biológico para tener un mejor balance del total global de la dosis recibida (ACGIH, 2018; INSSBT, 2018).

Hay que tener presente asimismo que cada entidad que desarrolla estándares LEO tiene su propio criterio para asignar una anotación sobre la vía dérmica y cada una es diferente. Por ende, es factible que –dependiendo de la referencia que se consulte– un mismo químico puede tener o no esta anotación. Un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 2006 rescató varias de estas definiciones de diversos países donde se puede contrastar las diferencias (véase el cuadro 15.1). Vale recalcar que, desde el año de su publicación, cada criterio haya podido cambiar ligeramente, pero igualmente no deja de ser válido que cada uno en efecto varíe según la organización.

Sensibilizantes

Los químicos sensibilizantes son aquellas sustancias cuyo potencial –una vez dada una (sobre)exposición, contactos subsiguientes con el mismo agente, bien sea por inhalación o absorción, puede ocasionar una reacción negativa para la salud, aunque sea una concentración muy baja. A este efecto se le llama *hipersensibilidad*. En estos casos se puede dar que durante la(s) primera(s) exposiciones no se presenten grandes impactos para la salud o sean mínimos, sin embargo, en encuentros siguientes, las manifestaciones sean altamente intensas. A estos químicos se les asigna la anotación “Sen” o “DSen”, para la sensibilización producida por vía dermal, y “RSen” si es por vía respiratoria. La sensibilización *per se* no es el efecto crítico, el cual forma la base del LEO, y este último tampoco está desarrollado para proteger trabajadores que se encuentren sensibilizados ante un agente en particular.

Ototóxicos

La ACGIH, en su listado de TLV de 2018, ha anunciado su propósito de incluir una nueva anotación para agentes ototóxicos, que se definen como químicos, los cuales –al ser introducidos por cualesquiera de las rutas de exposición tradicionales– causan perjuicio en la estructura del sistema auditivo, ocasionando hipocusias (pérdida del sentido auditivo). La anotación escogida es “OTO”; para ello, la Unión Europea en su última publicación

Cuadro 15.1 Criterios por países para asignar anotación de riesgo por vía dérmica

País	Criterio para asignar anotación por vía dérmica
Dinamarca	"Cuando se sabe que la sustancia puede ser absorbida vía la piel".
Noruega	"Sustancias que se pueden captar vía la piel".
Finlandia	"Cantidades absorbidas y el riesgo para la salud no se puede evaluar sólo por concentraciones en el aire".
Suecia	"Sustancias que fácilmente se pueden captar por el cuerpo vía la piel".
Alemania (Comisión para la Investigación de Riesgos para la Salud de Sustancias Químicas en el Área de Trabajo)	"Cuando la exposición dérmica incrementa la carga en el cuerpo".
Unión Europea (Comité Científico para los Límites de Exposición Ocupacional)	"Contribución sustancial del total de la carga al cuerpo vía exposición dérmica".
Estados Unidos (ACGIH)	"Contribución potencialmente significativa a la exposición total por ruta cutánea, incluidas membranas mucosas y oculares, bien sea por contacto con vapores o, probablemente más importante, por contacto directo de la sustancia con la piel".
Holanda (Comité para los Estándares Ocupacionales)	"Contribución de más del 10% de la exposición total...".

Fuente: Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006.

de la metodología para la deducción de LEO (de 2017) opta por hacer esta misma designación con la palabra *noise* (ruido) (Comité Científico para los Límites de Exposición Ocupacional [SCOEL, por su acrónimo original], 2017). Esta mención tiene como propósito advertir que el agente en cuestión puede causar daño en el sistema auditivo en concentraciones por encima o por debajo del LEO. Además, el agente ototóxico, en coexposición con ruido, puede multiplicar o potenciar una hipoacusia aun cuando la exposición a los niveles de presión sonora se encuentre por debajo del LEO para ruido, típicamente 85 decibeles en la escala A.

Al igual que la anotación para los sensibilizantes, la ototoxicidad no es el efecto crítico que forma la base del LEO. Existen recomendaciones que incluyen el seguimiento médico para trabajadores que se encuentren expuestos a un ototóxico confirmado en combinación con ruido (Shaw, 2018).

Términos clave



- Anotaciones especiales (IDLH)
- Inmediatamente peligroso para la vida y la salud
- Límite de excursión
- Límite de exposición de corta duración (STEL)
- Ototoxicos
- Promedio ponderado en el tiempo (TWA)
- Sensibilizante
- *Skin* (piel)
- Techo (C)
- Vía dérmica



Evaluación de la exposición en el corto y largo plazo

En una planta de químicos se produce óxido de etileno (gas incoloro e inflamable) y materia prima para varios productos como detergentes, disolventes y plásticos. Un operador tiene que hacer una tarea de no más de 30 minutos de duración, tres veces al día, donde se considera puede haber riesgo de exposición, pese a que la tarea se realiza al aire libre. El óxido de etileno tiene un TWA (8 horas) de 1 ppm, no tiene un STEL asignado y el efecto crítico de la entidad de referencia es cáncer y daño en el sistema nervioso. No posee ninguna otra anotación de riesgo adicional.

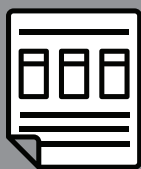
Durante la ejecución de la tarea, se han tomado varias mediciones personales y se tiene un importante número de datos acumulados durante diferentes temporadas a través del año. Al realizar el análisis estadístico, la higienista calcula que el promedio de la exposición durante 30 minutos de tarea es 2,1 ppm y observa que la variabilidad es alta (desviación estándar geométrica > 3,5).



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. Para la evaluación de la exposición de la tarea de 30 minutos, confirme el valor del LEO que se debe usar, cómo se calcula, y por qué arriba a esa conclusión.
2. Dado el promedio de exposición calculado y su variabilidad, al compararlo con el LEO determinado en la pregunta anterior, señale si se deben tomar medidas de control y que otras acciones se pueden tomar para mejorar la evaluación de la exposición.
3. Indique si se debe considerar el impacto de la exposición durante la tarea (corta duración), en la exposición del turno entero (largo plazo) y por qué.



RESUMEN

Existen diversas clases de LEO que dependen del periodo que cubran y el tiempo que duren en manifestarse el efecto crítico de la exposición sobre la salud, el cual forma la base del límite, bien sean a corto o largo plazos. Para ello, se determinan el TWA, que es un promedio ponderado en tiempo de ocho horas; el STEL, un promedio de 15 minutos; y el límite techo (“C”) que no se debe exceder ni por un instante; para químicos con un efecto crítico para la salud de muy rápida acción. El STEL es un complemento para el TWA cuando una sustancia tóxica tiene ambos efectos, agudos y crónicos, aunque también se puede aplicar como límite independiente del TWA.

Diversas organizaciones que establecen LEO, proporcionan asimismo guías para usar cuando un agente tiene un límite TWA pero carece de un STEL. La regla más común para estos casos es un límite de excursión que triplica el límite TWA y se aplica por un periodo de 30 minutos, pero nunca debe superar cinco veces el límite TWA. Asimismo, existen otras limitaciones que se deben tener en cuenta para el uso apropiado de este tipo de límite. La regla tiene su fundamento en cálculos estadísticos para una distribución log-normal y conlleva varias suposiciones teóricas que no necesariamente se mantienen en la práctica donde existe mayor variabilidad. Este es uno de los muchos detalles para tener en cuenta al momento de aplicar un LEO y una de las razones que solo personal capacitado y con experiencia en estos temas debe considerar para efectuar evaluaciones de exposición con los correspondientes límites.

Los LEO también contienen anotaciones especiales para resaltar riesgos específicos que no se encuentren relacionados con el efecto crítico o la afectación principal que trata de evitar un LEO. Las anotaciones más comunes son agente sensibilizante y químicos que fácilmente puede penetrar la piel e impactar otros órganos. En los últimos años se han hecho llamados para identificar las sustancias que impactan negativamente el sistema auditivo al ser absorbidas o inhaladas, los denominados ototóxicos, y al menos una

organización ha empezado a emplearla en su listado de LEO. No todas las entidades implementan el mismo criterio en sus definiciones de cada anotación. El higienista industrial o profesional que evalúe la exposición mediante determinado LEO, debe estar familiarizado con el criterio que se ajuste a determinada referencia.



CUESTIONARIO

1. Elabore una lista de las pautas que propone la ACGIH para la aplicación de un STEL.
2. En Gran Bretaña, el glicerol (en niebla) tiene un límite TWA de 10 mg/m³ y no tiene STEL definido. ¿Cuál sería su límite de excursión y en qué caso amerita su aplicación?
3. Explique por qué los datos de medición de higiene tienen distribución estadística log-normal (y no normal).
4. Describa el significado de IDLH, identifique qué entidad los promulga y especifique su propósito.
5. Explique las tres anotaciones más comunes en un listado de LEO, para resaltar riesgos adicionales que pueda tener un agente químico.

Referencias

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH]. (2018). *TLVs® and BEIs® Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices*. Cincinnati: ACGIH.
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo [INSSBT]. (2018). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. Madrid: INSSBT.
- National Institute of Occupational Safety & Health [NIOSH]. (2004). *NIOSH Respirator Selection Logic 2004*. (DHHS (NIOSH) Publication No. 2005-100). Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-100/default.html>
- _____. (2009). *Current Intelligence Bulletin 61 - A Strategy for Assigning New NIOSH Skin Notations* (DHHS (NIOSH) Publication Number 2009-147). Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-147/default.html>
- Pierce, T.J.; Cathy, M. & Weber, L.W. (2011). Dermal Exposure and Occupational Dermatoses. En A.H. Anna (Ed.) *The Occupational Environment: Its Evaluation, Control, and Management* (pp. 285-299). Falls Church, EE UU: AIHA.
- Scientific Committee for Occupational Exposure Limits [SCOEL]. (2017). *Methodology for derivation of occupational exposure limits of chemical agents: The General Decision-Making Framework of the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits*. (UTF-8). Recuperado de <file:///E:/2019-01/ProLearning/Toxicolog%C3%ADa/KEY%20Documentation%20version%207%20June%202013.pdf>
- Shaw, E. (2018). The Ear Poisons. An Introduction to Ototoxicants. En *The Synergist*. Recuperado de <https://synergist.aiha.org/201811-the-ear-poisons>
- World Health Organization [WHO]. (2006). *Dermal Absorption*. (Environmental Health Criteria 235). Recuperado de <https://www.who.int/ipcs/features/2006/ehc235/en/>
- Paustenbach, D. J. (1990) Occupational Exposure Limits: Their Critical Role in Preventive Medicine and Risk Management. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 51, A332-A336.

Aunque los LEO tienen como base datos científico, hay diferencias en cómo se establecen los LEO ... Estas diferencias ... dependen de las culturas y percepciones locales y no puede cuantificarse.

(J. H. Vincent)





CAPÍTULO 16

Referentes internacionales de límites de exposición ocupacional (LEO)

Eduardo Antonio Shaw Morais

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:


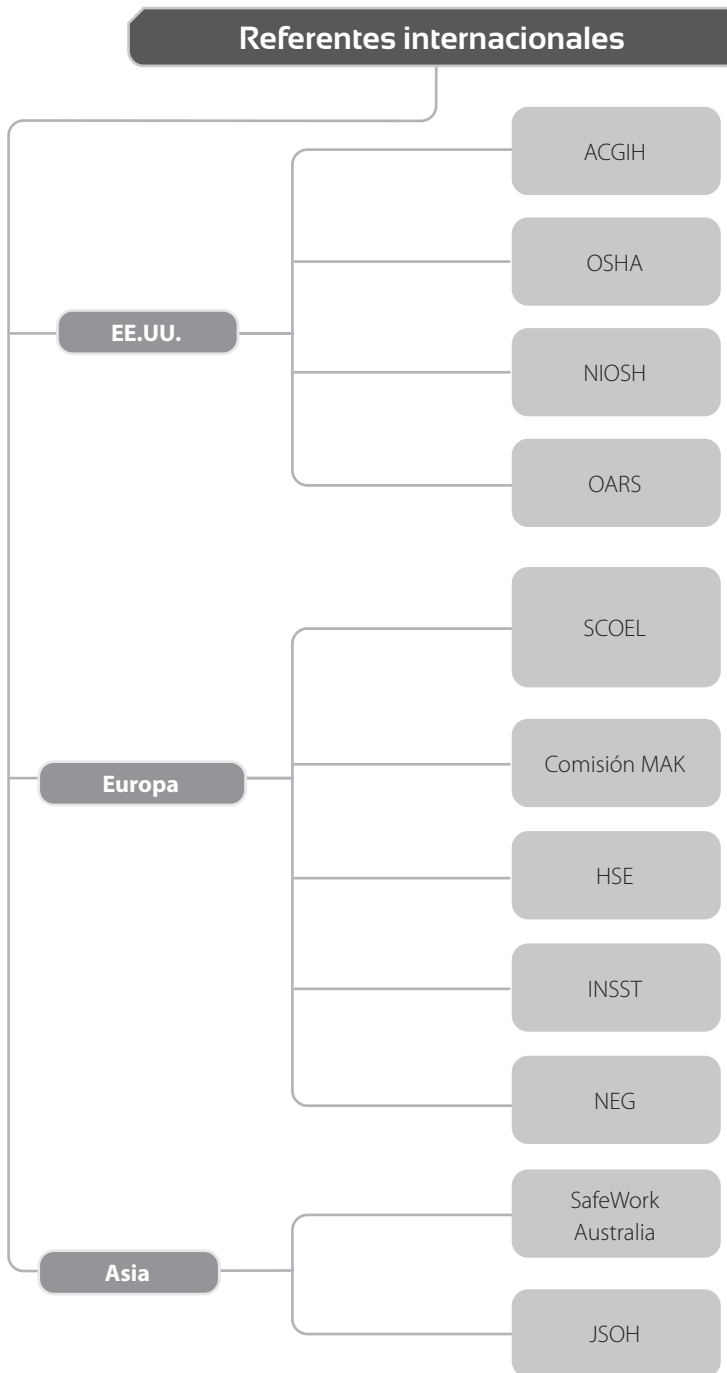
- Conocer la evolución histórica de los LEO.
 - Reconocer diferentes entidades alrededor del mundo que desarrollan e impulsan los LEO.
 - Buscar, comparar y contrastar entre LEO de diferentes entidades.
- 

Figura 16. 1 Mapa conceptual sobre los referentes internacionales de los LEO



Introducción

Desde finales del siglo XIX, cuando en Europa se registran las primeras documentaciones de un LEO, se han producido muchos avances en cuanto a las técnicas de investigación y recopilación de datos, lo que ha permitido límites ocupacionales con un grado de confianza mucho más alto. Al mismo tiempo, el desarrollo en tecnologías para la producción de insumos y materiales de uso cotidiano también ha mantenido su propio ritmo, creando nuevos riesgos para los trabajadores, bien sea por nuevas clases de sustancias químicas, procesos de fabricación y tipos de industrias.

Dada esta continua dinámica, muchas instituciones alrededor del mundo han surgido y evolucionado para establecer los LEO con la mejor ciencia disponible para aportar al proceso de evaluación de riesgos y protección de trabajadores. En muchos países, en su mayoría los más desarrollados, poseen entidades –ya sea de carácter privado o gubernamental– que se dedican al avance de las diferentes ciencias en salud ocupacional y establecimiento de LEO. Por supuesto, hay unas muchas más reconocidas que otras, bien sea por su reputación, procesos transparentes, idioma en que se publican, y cuantas veces son replicadas como referencias en otros países.

En realidad, no existe un estándar internacional para escoger a cuáles sustancias químicas se les debe dar prioridad mediante un LEO o criterio único para las investigaciones que se llevan a cabo en el proceso de establecer un límite. Tal como se indicó en el capítulo 15, son frecuentes las distintas definiciones para términos similares, las cuales dependen de la referencia que se utilice. El profesional de la salud ocupacional que aplique un LEO, debe estar muy familiarizado con la documentación de respaldo específica de la organización que se usa como referencia. Un profesional nunca debe suponer que los LEO de diferentes organizaciones llegan a ciertas conclusiones con las mismas consideraciones o mediante los mismos datos.

Historia

Para abordar esta temática tan interesante, es recomendable inicialmente conocer su evolución histórica. En primer lugar, aunque desde el siglo xv, Ramazzini (el reconocido padre de la medicina ocupacional) había establecido una relación entre ciertas enfermedades y algunas sustancias químicas transportadas por el aire en el ambiente laboral, se desconocían las concentraciones y duración de las potenciales exposiciones, las cuales se comenzarían a evidenciar en los organismos afectados. Aproximadamente cuatro siglos habrían de pasar para comenzar a formalizar una actividad que se concentrara en elaborar listados y hacer estudios científicos de concentraciones de agentes químicos con el propósito de velar por la protección de la salud de los individuos en sus entornos laborales.

El primer registro de un trabajo de documentación de un LEO se remonta a 1883, llevado a cabo por el alemán Max von Gruber del Instituto de Higiene en Múnich, quien expuso a gallinas y conejos a monóxido de carbono en un ambiente controlado. En el proceso, también se expuso él mismo y reportó los resultados. En su informe final, von Gruber plantea que “el borde para la acción dañina de monóxido de carbono probablemente se encuentra en una concentración de 500 partes por millón [ppm], pero con seguridad (a no menos de) 200 partes por millón” (Paustenbach, 1988). Para propósitos comparativos, según entidades internacionales que publican sus límites ocupacionales, el límite TWA de monóxido de carbono en la actualidad oscila entre 17,5 y 50 ppm, mientras que el STEL lleva un rango de 26 a 200 ppm.

El también alemán Lehman, a comienzos de 1886 lidera un trabajo que dura aproximadamente 50 años y construye un listado de límites ocupacionales con base en estudios controlados con animales y humanos, incluyendo sustancias químicas como amonio, cloruro de hidrógeno y varios hidrocarburos clorados, entre otros. (Paustenbach, 1998). Estas publicaciones se consideran la raíz científica de la cual se derivan los límites ocupacionales que se utilizan hoy en día (Borak & Brosseau, 2015).

En 1912, Kobert, también alemán, publica una tabla con límites de exposición de corta duración para 20 agentes químicos, categorizándolos en:

- Fatal rápidamente para el ser humano y animales.
- Amenaza seria para la salud entre media y una hora.
- Sin afectaciones serias entre media a una hora.
- Síntomas leves ante repetidas exposiciones (Paustenbach, 1998).

Entre 1916 y 1917, en Sudáfrica y Estados Unidos, respectivamente, se llevan a cabo estudios en trabajadores que perforaban el suelo en minas con gran contenido de sílice y se establecen límites ocupacionales para sustancias en polvo con un alto porcentaje de cuarzo. En el país africano se fija en 8,5 millones de partículas por pie cúbico de aire (mppcf por su sigla original) y el Buró de Minas de EE.UU. que promulga 10 mppcf (Paustenbach, 2018).

El Buró de Minas de Estados Unidos continuó su trabajo y en 1921 publica umbrales de olor e irritación para 33 agentes que son frecuentes en minas, la primera compilación oficial de este tipo en EEUU (Borak & Brosseau, 2015). El siguiente hito en cuanto a los LEO se refiere, llegó en 1927 con la versión de la Tablas Críticas Internacionales de Datos Numéricos (referencia muy popular publicada por el Consejo Nacional de Investigación de EE.UU. entre 1926 y 1930), que incluye el listado más completo de los LEO hasta ese momento: un total de 27 (Paustenbach, 1988). En la década de 1930, la Unión Soviética, mediante un decreto del Ministerio de Trabajo, establece concentraciones máximas permisibles para 12 sustancias industriales tóxicas (Paustenbach, 1988) y en 1960 ya había 181 (Izmerov, 1988). Alemania, que iba la vanguardia, publicaría un listado de un centenar de LEO.

En Estados Unidos no es sino hasta principios de la década de 1940, cuando se ven publicados los LEO para un número similar de agentes (132), gracias al trabajo de investigadores independientes y asociados a la recién conformada ACGIH y al Comité Z-37 de la Asociación Norteamericana de Estándares (precursora del Instituto Nacional Norteamericano de Estándares [ANSI, por su sigla original]). En 1946, la ACGIH oficializa 144 “concentraciones máximas permisibles” (MAC, acrónimo de *Maximum Exposure Concentrations*). En 1956, se decide cambiar el término por *valor umbral límite* (TLV, acrónimo del original

Threshold Limit Value), el cual se usa todavía en la actualidad (Paustenbach, 1988). En esta misma década, India aprueba una ley para el trabajo en fábricas que incluye una tabla con límites de exposición y en la década de 1950, en China, se publica la primera lista de estándares de exposición.

En la actualidad muchos de los países mencionados y otros más en la esfera de países desarrollados, siguen con su legado y mediante agencias de investigación de gobierno o privadas continúan afinando y desarrollando los LEO. Otros países sin esta infraestructura científica optan por adoptar en su legislación local, LEO determinados por organizaciones extranjeras muy establecidas y reputadas, tales como la ACGIH.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT), en su sitio web, en la sección de seguridad y salud ocupacional, presenta referencias de varios países e incluye la agencia encargada de determinar y publicar sus respectivos LEO, además de un enlace para la tabla de límites (International Labor Organization [ILO], 2011). Hasta 2011, su última fecha de actualización, presenta 34 países en los continentes de América, Europa y Asia, además de la comunidad política Unión Europea y Sudáfrica.

De manera similar, el Seguro Social Alemán de Accidentes (DGUV, por su sigla original de *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung*), mediante su Instituto para la Seguridad y Salud Ocupacional, ha desarrollado una base de datos disponible en internet, la cual también se encuentra como aplicación para dispositivos inteligentes, que presenta valores límites internacionales para agentes químicos (GESTIS, por su sigla original en alemán). Esta recopilación de los LEO incluye 32 países (algunos coinciden con la OIT y otros son diferentes) para una base total de 2.184 sustancias.

Referentes internacionales

Estados Unidos

La ACGIH fue establecida en 1938; una organización sin ánimo de lucro que promueve el desarrollo de la salud ocupacional y ambiental mediante diversas publicaciones de carácter técnico

y científico. Sin duda, su texto más popular es el listado de TLV e Índices de Exposición Biológica (BEI, por su sigla original, *Biological Exposure Index*). Este conjunto de LEO, más de 700 en total, ha sido desarrollado por un subcomité de científicos e investigadores en temas de toxicología, epidemiología, higiene industrial y otras ciencias asociadas. Además, es uno de los listados de LEO más referenciados y adoptados como estándares en países de Latinoamérica, como México, Panamá, Colombia, Brasil y Chile, entre otros.

La excelente reputación de estos listados seguramente se debe a su carácter rigurosamente científico e independiente, además de sus procesos transparentes y constante actualización de periodicidad anual. Los TLV se clasifican en tres tipos: TWA, STEL y C, e incluyen anotaciones para riesgos específicos que ameritan resaltar (véase mayor información en el capítulo 15). Los TLV, aunque conllevan un costo, están disponibles en su sitio web: www.acgih.org.

Este listado tiene como base la documentación de los TLV y BEI, que para todo LEO es importante revisar antes de su aplicación, es decir, comprender la información que se estudia e investiga y, al final, respalda la decisión que se toma para generar el valor del LEO. Vale notar que en las primeras publicaciones de límites de la ACGIH (desde 1941) no incluían la documentación de cómo se obtenían las respectivas concentraciones y no después de críticas al respecto, que se incluirían en 1953 (Borak & Brosseau, 2015).

Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)

La OSHA (sigla original de *Occupational Health & Safety Administration*) legisla y fiscaliza normas referentes desde 1970 cuando se creó mediante acto del Congreso. La regulación inicial de 1970 crea e incorpora en sus estándares una tabla con 212 *límites de exposición permisibles* (PEL, por su sigla original de *Permissible Exposure Limit*), donde se adoptan los TLV de 1968 y pasan de ser una guía (recomendación) a un requisito de cumplimiento legal. Los PEL no se actualizan hasta 1989, pero las denominadas tablas Z fueron demandadas y la OSHA se vio

obligada en 1992 a retraer estos valores revisados, además de un centenar de nuevos PEL que habían sido adoptados para otros contaminantes. Asimismo, otros estándares específicos sobre agentes tóxicos, como plomo y sílice, incorporan PEL que no estaban incluidos en las tablas Z y aún se mantienen vigentes. Como todos los estándares de la OSHA, los PEL se pueden consultar en su sitio web: www.osha.gov.

Muchas hojas, fichas de seguridad y documentos similares con información sobre la salud de un agente comercial incluyen los PEL como requisito de carácter obligatorio en dicho país, por tratarse de productos de empresas estadounidenses o que allí se venden. Una deficiencia de los PEL es que se debe tener cuidado al aplicarlos fuera de territorio estadounidense, ya que varían en gran medida con respecto a otras referencias que sí se actualizan periódicamente. En muchos casos, los PEL tienen valores más altos, es decir, son menos restrictivos y no siempre ofrecen el mismo grado de protección.

Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH)

El NIOSH (por su sigla original, *National Institute of Occupational Safety & Health*) forma parte del Centro de Control y Prevención de Enfermedades de EEUU. Como agencia federal, es el brazo investigador del gobierno para temas de seguridad y salud ocupacional, que además se encarga de desarrollar estándares cuyo propósito es que se usen como base para las regulaciones promulgadas por la OSHA. Como parte de este trabajo, establecen los Límites de Exposición Recomendados (REL, por su sigla original, *Recommended Exposure Limits*), así como los TLV, también con sus tres clases: TWA, STEL y C, además de las anotaciones para sensibilizantes y agentes con consideraciones especiales por daño sistémico vía absorción cutánea. Los REL se encuentran en uno de sus documentos referencia más consultados: *Guía de Bolsillo de NIOSH sobre Riesgos Químicos*, la cual se actualiza periódicamente y es de libre acceso en su sitio web: www.cdc.gov. No obstante, los REL no son de obligatorio cumplimiento ya que son las concentraciones que NIOSH recomienda a la OSHA para su adopción, lo cual nunca ha ocurrido.

La Guía de Bolsillo de NIOSH también contiene concentraciones denominadas Inmediatamente peligrosos para la vida

y salud (IDLH, por su sigla original) para unas 380 sustancias. Como se observó en el capítulo 15, más que límites de exposición, son valores que apoyan la lógica de selección de equipos de protección respiratoria, ya que, a esta concentración, se requiere el más alto nivel de seguridad.

Alianza Ocupacional para la Ciencia del Riesgo (OARS)

La **OARS** (sigla de *Occupational Alliance for Risk Science*) se encarga de mantener y actualizar los Niveles de Exposición en el Ambiente de Trabajo (WEEL, por su sigla original, *Workplace Environmental Exposure Level*), valores que hasta 2013 fueron desarrollados por la Asociación Norteamericana de Higiene Industrial (AIHA, por su acrónimo original *American Industrial Hygiene Association*), una organización sin ánimo de lucro constituida en 1939. Existen entonces WEEL para 131 sustancias químicas publicadas con acceso en su sitio web: www.tera.org, que siguen el mismo formato de los TLV con los tres tipos de clases para efectos agudos y crónicos, además de anotaciones especiales para sensibilizantes y consideraciones de exposición por vía dérmica.

Unión Europea

Comité Científico para los Límites de Exposición Ocupacional (SCOEL)

El SCOEL (por su sigla original *Scientific Committee for Occupational Exposure Limits*) se fundó en 1995 para brindar a la Comisión Europea su opinión sobre los efectos toxicológicos para la salud de agentes químicos y particularmente recomendar a cuál concentración establecer los LEO con base en datos científicos. El SCOEL está conformado por un panel de 21 expertos independientes elegidos por su pericia y experiencia. Los valores estudiados y analizados se presentan a la Unión Europea y cada Estado miembro tiene la potestad de establecer su propio LEO, pudiendo ser más restrictivo, pero nunca menos.

La entidad recomienda dos tipos de LEO, uno que corresponde a un valor indicativo (IOELV, por su sigla original *Indicative*

Occupational Exposure Limit Value) con base en efectos para la salud y establece un estimado de la concentración por fijar para cada país de la Unión; y otro que corresponde a un valor vinculante (BOELV, por su sigla original *Binding Occupational Exposure Limit Value*); en los cuales también se tienen en cuenta factores socioeconómicos y técnicos, cuyo valor no debe exceder. La metodología que usa el comité para determinar el IOELV y el BOELV, junto con los valores se encuentran disponibles en el URL: <https://circabc.europa.eu/faces/jsp/extension/wai/navigation/container.jsp>

Comisión para la investigación de peligros para la salud de agentes químicos en el lugar de trabajo

Mejor conocida como Comisión MAK, esta organización está suscrita a la Fundación Alemana para la Investigación Científica (DFG, por su sigla original *Deutsche Forschungsgemeinschaft*); ente formado por un grupo interdisciplinario de expertos, sin intereses políticos ni económicos para desarrollar sus LEO. El producto más importante de esta comisión, la más antigua de la DFG, es el listado Concentraciones Máximas en el Lugar de Trabajo (MAK) y Valores Biológicos de Tolerancia para la Exposición Ocupacional (BAT). Los MAK, actualizados anualmente, llegan a compilar más de 1,000 sustancias, con base en evidencia científica cuyo acceso es libre en el sitio web: www.dfg.de (DFG, 2018).

Ejecutivo de Salud y Seguridad (HSE)

El HSE (por su sigla, *Health & Safety Executive*) es el ente regulador independiente en Gran Bretaña (Inglaterra, Escocia y Gales), excepto para ciertos comercios de bajo riesgo que son regidos por autoridades locales, cuyo propósito consiste en prevenir fatalidades, lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo. Esta organización está conformada por científicos e ingenieros que trabajan con base en evidencias; como parte de sus responsabilidades, publican los Límites de Exposición para el Lugar de Trabajo (WEL, por su sigla original *Workplace*

Exposure Limits), los cuales son jurídicamente vinculantes. Éstos siguen el mismo formato de las demás referencias con la única excepción que no incluyen un límite techo (C), sólo relacionan los límites TWA y STEL. El documento donde se pueden encontrar los WEL es EH40/2005, editado por tercera vez en 2018 para incluir la cuarta directiva de los IOELV, y se puede obtener de manera gratuita en su sitio web: www.hse.gov.uk (HSE, 2018).

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST)

El INSST –hasta 2018, llamado Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo– fue constituido en España en 1995 como órgano científico técnico bajo el Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social. Está a cargo del análisis, estudio, promoción y mejoramiento continuo de temas relacionados con la seguridad y salud en el trabajo, entre ellos la publicación de Límites de Exposición Profesional (LEP) en España, que fueron emitidos por primera vez en 1999 y se actualizan anualmente, después de la debida aprobación de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (CNSST). El listado de LEP, la documentación toxicológica y una aplicación para dispositivos inteligentes, se encuentran disponibles sin costo en su sitio web: www.insht.es.

Grupo Experto Nórdico (NEG)

El NEG (por su sigla original, *Nordic Expert Group*) documenta los criterios de Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia sobre los riesgos para la salud derivados de sustancias químicas; éstos forman la base para que las autoridades gubernamentales que representan estos países puedan establecer sus LEO. En otras palabras, proveen la base científica para que cada país de forma independiente tome sus decisiones en cuanto a sus límites de exposición. La organización está conformada por expertos en toxicología, medicina ocupacional e higiene industrial, quienes trabajan en colaboración con el NIOSH y un comité experto en seguridad ocupacional holandesa.

Los documentos para los más de 160 agentes se encuentran de manera gratuita en su sitio web: <https://www.av.se/en/the-nordic-expert-group/>

Asia

Safe Work Australia (SWA)

El SWA es el cuerpo estatutario del gobierno australiano fundado en 2008 para desarrollar la política nacional en materia de seguridad y salud ocupacional. Con base en este principio, dictaminan el estándar de Exposiciones en el Lugar de Trabajo (WES, por su sigla original *Workplace Exposure Standard*), con más de 700 agentes definidos como la concentración legal no excedible, es decir, no representan un nivel de exposición aceptable para los trabajadores. Para establecer los estándares WES, Australia toma en consideración sólo información pública como los LEO de otras entidades, investigaciones nacionales y otras fuentes relevantes, que somete a un proceso de evaluación riguroso, público y periódico antes de publicar y hacer disponibles en su sitio web: <https://www.safeworkaustralia.gov.au/doc/workplace-exposure-standards-airborne-contaminants>

Sociedad Japonesa para la Salud Ocupacional (JSOH)

La JSOH (por su sigla original *Japan Society for Occupational Health*) es una organización académica no-gubernamental, encargada de establecer sus LEO mediante un trabajo en conjunto, en el cual hace recomendaciones anualmente con base en los límites de la ACGIH y su propio criterio a partir de estudios a nivel nacional. Estas recomendaciones para los LEO son asumidas por el Ministerio de Salud, y en reunión con expertos según la necesidad, proceden a adoptarlos o no como límites de Controles Administrativos (CA), que tienen carácter de obligatorio cumplimiento.

Tal como se ha resaltado en capítulos anteriores, el LEO para un agente en particular varía dependiendo del criterio que se utilice para definirlo, y puesto que hay varias entidades que los desarrollan, habrá diversos límites para un solo agente. La misma situación se presenta para términos asociados a los LEO,

como las clases de límites y anotaciones. Aunque tengan la misma denominación, pueden tener significado diferente. Una vez más se recalca que al aplicar un LEO en campo, el profesional de salud ocupacional debe estar familiarizado con la nomenclatura y definición específicas de la entidad que se utilice en el momento como referencia.

Términos clave



- Concentraciones máximas en el lugar de trabajo (MAK)
- Exposiciones en el lugar de trabajo (WES)
- Guía de bolsillo de NIOSH sobre riesgos químicos
- Límites de exposición para el lugar de trabajo (WEL)
- Límites de exposición permisibles (PEL)
- Límites de exposición profesional (LEP)
- Límites de exposición recomendados (REL)
- Niveles de exposición en el ambiente de trabajo (WEEL)
- Valor límite de exposición ocupacional indicativo (IOELV)
- Valor límite de exposición ocupacional obligatorio (BOELV)



Comparación de LEO en diferentes entidades

A continuación, se presenta un cuadro comparativo con LEO actualizados (TWA en ppm) de ocho entidades de América, Europa y Asia, para seis disolventes además de otros tres químicos comunes.

Cuadro 16.1 Comparación de LEO en diferentes entidades

Agente químico	EE.UU.	EE.UU.	Gran Bretaña	Alemania	España	Unión Europea	Australia	Japón
	OSHA	NIOSH	HSE	MAK	INSST	SCOEL	SWA	JSOH
	LEO - TWA en ppm							
Xileno	100	100	50	100	50	50	80	50
Trimetilbenceno	-	25	25	20	20	20	25	25
n-Hexano	500	50	20	50	20	20	20	50
Dietiléter	400	100	100	400	100	100	400	400
Tolueno	200	100	50	50	50	50	50	50
Percloroetileno	100	-	50	10	25	20	50	-
Formaldehído	0,75	0,016	2	0,3	-	-	1	0,1
Benceno	1	0,1	1	-	1	1	1	1
Monóxido de carbono	50	35	30	30	25	20	30	50

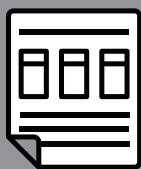
Fuente: base de datos GESTIS, valores límites internacionales para agentes químicos, desarrollada por DGUV, la cual está disponible en su sitio web: <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-internationale-grenzwerte-fuer-chemische-substanzen-limit-values-for-chemical-agents/index-2.jsp>



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, resuelva los puntos 1 a 3:

1. Compare y contraste los valores LEO de los químicos listados y evalúe el agente químico con mayor grado de concordancia, así como aquel que presenta el rango más amplio de diferencia entre las referencias de los países dados.
2. En términos generales, ¿cuál es la entidad que tiene los LEO más conservadores (menos protectores)? ¿Por qué?
3. Si usted se desempeña como higienista industrial en España y debe evaluar la exposición de formaldehído, ¿qué LEO usaría y por qué?



RESUMEN

La historia de los LEO se remonta a finales del siglo XIX con los primeros estudios en animales realizados en Europa. De esos inicios, la ciencia que desarrolló los LEO ha evolucionado con los avances en epidemiología, biología, medicina ocupacional, higiene ocupacional y las estadísticas. En la actualidad, más de una treintena de entidades gubernamentales o privadas alrededor del mundo desarrollan o adoptan los LEO como recomendaciones o cumplimiento obligatorio. La gran mayoría de estos valores y sus correspondientes documentaciones, están disponibles en internet en su lengua de origen.

A falta de un criterio de desarrollo de LEO universal o único, existen diferencias entre los estándares de cada entidad que establecen los LEO y que dependen de cómo se definen ciertos términos con nombres similares, al igual que de las investigaciones o publicaciones que utilizan, e incluso consideraciones particulares del país que los publica. Para aplicar un LEO esta nota es de suma importancia.



CUESTIONARIO

1. Elabore una línea de tiempo que incluya los acontecimientos más importantes en el desarrollo de los LEO.
2. Liste las cualidades que debe cumplir una entidad que desarrolle LEO, para obtener reputación a nivel internacional.
3. ¿Cuál es la diferencia entre desarrollar y adoptar un LEO?
4. ¿Cuál es la consideración más importante por tener en cuenta al usar como referencia un PEL publicado por la OSHA?
5. Si no existe LEO en la regulación de su país, ¿qué entidad utilizaría como referencia?
6. Explique por qué existen diferencias entre LEO para una misma sustancia química, pero publicada en diferentes países.

Referencias

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). (2018). *TLVs® and BEIs® Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices*. Cincinnati: ACGIH.
- Borak, J. & Brosseau, L.M. (2015). The Past and Future of Occupational Exposure Limits. En *Journal of Occupational & Environmental Hygiene*, 12(sup1), S1–S3.
- DGUV (German Social Accident Insurance). *International limit values for chemical agents (GESTIS)*. Recuperado de <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-internationale-grenzwerte-fuer-chemische-substanzen-limit-values-for-chemical-agents/index-2.jsp>
- Fundación Alemana para la Investigación Científica (DFG). (2018). *Listado de valores MAK y BAT*. (Comunicado 54). Recuperado de http://www.dfg.de/en/dfg_profile/statutory_bodies/senate/health_hazards/index.html
- Health and Safety Executive (HSE). (2018). *Workplace Exposure Limits: Containing the List of Workplace Exposure Limits for use with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations*. (EH40/2005). Recuperado de <http://www.hse.gov.uk/pubns/books/eh40.htm>
- International Labor Organization (ILO). (2011). *Chemical Exposure Limits*. Recuperado de https://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_151534/lang--en/index.htm#P158_12821
- Izmerov, N.F. (1988). Case Study: Exposure Standard in Russia. En J.M. Stellman (Ed.) *Encyclopaedia Of Occupational Health and Safety* (p. 23.35). Genève: International Labor Office.
- National Institute of Occupational Safety & Health (NIOSH). (2018). *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*. Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/npg/default.html>
- Paustenbach, D.J. (1988). Occupational Exposure Limits. En J.M. Stellman (Ed.) *Encyclopaedia Of Occupational Health and Safety* (pp. 30.27–30.34). Genève: International Labor Office.
- Scientific Committee for Occupational Exposure Limits (SCOEL). (2017). *Methodology for derivation of occupational exposure limits of chemical agents: The General Decision-Making Framework of the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits*. (UTF-8). Recuperado de <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=148&langId=en&intPageId=684>
- Vincent, J. H. (1998). *International Occupational Exposure Standards: A Review and Commentary*. American Industrial Hygiene Association Journal. 59, 729–742.

Para el higienista ocupacional el "paciente" es el lugar de trabajo. Para "diagnosticar" el estado de salud del ambiente laboral se desarrollaron instrumentos como los equipos para cuantificar exposiciones, el uso de valores límites para la exposición y, lo más importante, la aplicación de estrategias sistemáticas para prevenir y controlar los riesgos.

Organización Panamericana de la Salud





CAPÍTULO 17

Medición de la exposición a sustancias tóxicas ocupacionales

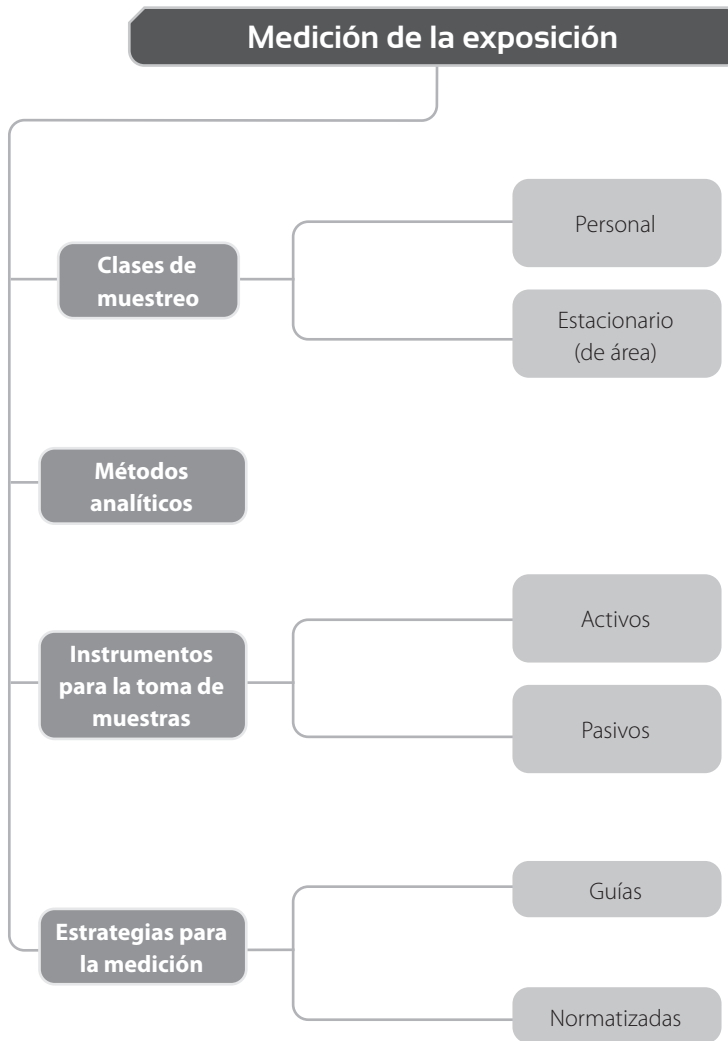
Eduardo Antonio Shaw Morais

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Diferenciar entre una medición personal y estacionaria (de área).
- Conocer los instrumentos para la medición de una exposición.
- Reconocer los métodos analíticos de medición y estrategias de campañas de monitoreo.

Figura 17.1 Mapa conceptual sobre aspectos principales de la medición de la exposición



Introducción

Al principio del siglo xx cuando se empezaba a estudiar y evaluar las enfermedades ocupacionales, no existían medios ni estándares para estimar la concentración de sustancias químicas en el aire. Es plausible que en esos tiempos no eran necesarios. Las condiciones indicaban que a través de una simple observación de las actividades laborales se podía establecer la relación causa-efecto. Muy pronto, el avance en los procesos industriales y diferentes tecnologías demandarían la necesidad de maneras más exactas y confiables de cuantificar una exposición. (Paustenbach, 1988)

En el mundo de la higiene industrial existen diferentes instrumentos, métodos y técnicas para medir una exposición. Asimismo, como un solo guante no puede proteger contra todos los químicos, no existe un solo sensor o filtro para todos los químicos en todos sus estados, bien sea vapores, gases o partículas. Para mediciones llevadas a cabo de manera certera y confiable, se han desarrollado una serie de métodos analíticos (guías científicas) que dictaminan el medio recolector apropiado por utilizar y además describen el procedimiento para tener en cuenta. Estos métodos de medición aseguran el nivel de certeza necesario para que, al momento de comparar el resultado de una medición con un LEO para emitir una decisión sobre la exposición, se haga con confianza. Esto también asegura cierta consistencia al momento de acumular datos de diferentes entidades como en el caso de un estudio epidemiológico o al hacer comparaciones entre diferentes organizaciones, mediante la evaluación del mismo agente/tarea.

Sin embargo, no solo los instrumentos se encuentran estandarizados, también las estrategias para homologar cómo abordar la evaluación cuantitativa de un grupo de trabajadores, desde la definición del propósito de una campaña de medición hasta el número, duración y frecuencia de muestras. Cabe notar que, en ciertas jurisdicciones, algunos de estos aspectos están normatizados por ley, bien sea en términos generales o específicos por agente tóxico. La mayoría de estas estrategias tienden a ser recomendaciones de asociaciones profesionales y cuerpos académicos, al contrario de los métodos analíticos que son procedimientos avalados por entidades certificadoras sujetos además a auditorías.

Clases de muestreo para evaluar la exposición

La medición de un agente químico se puede clasificar en dos ámbitos: personal y estacionaria (de área). En la de tipo personal, el monitor se fija al trabajador quien lo lleva consigo durante la actividad que se requiere evaluar o durante el turno de trabajo. Este método estima directamente la exposición del trabajador, incluidas las variabilidades de cada individuo al realizar una tarea. En el caso de mediciones de turno completo, incluyen todos los periodos donde se pueda dar una exposición a una sustancia química y otros donde la exposición pueda ser mínima, bien sea por tareas administrativas o periodos de descanso. La ubicación del monitor para que el monitoreo se entienda como personal, debe estar dentro de la zona de respiración que se define como espacio comprendido dentro de una semiesfera imaginaria de 30 cm de radio, medido a partir del rostro del trabajador (Todd, 1998).

En el segundo tipo, las mediciones estacionarias o de área –el monitor se mantiene en un solo lugar o área –son útiles para identificar la fuente de una exposición, seleccionar equipo de protección personal y medir concentraciones en el límite de una propiedad, entre otros. También pueden ser de valor para una evaluación preliminar de la exposición a un trabajador o evaluar indirectamente la exposición, teniendo en consideración que se puede subestimar o sobrestimar la exposición, dependiendo de la ubicación del monitor con respecto a la fuente y si el trabajador tiene una posición fija o se encuentra en constante desplazamiento. En términos generales, casi todos los mismos instrumentos se pueden usar para ambos tipos de mediciones, personales o de área.

Métodos analíticos

Diversas entidades reconocidas a nivel internacional trabajan en el desarrollo y publicación de métodos analíticos que se aplican para medir la concentración en el ambiente de trabajo y definir también las técnicas que se utilizan en el laboratorio con el fin de analizar filtros y demás medios de recolección. De este proceso de medición y análisis se calcula la concentración, valor con el que se compara el LEO como parte de la evaluación de

riesgo y juicio sobre la exposición. Entre las agencias de investigación y promulgación de estándares que establecen este tipo de método se encuentran:

- ISO (International Organization for Standardization).
- ASTM International (anteriormente American Standard for Testing and Materials).

Específicamente de Estados Unidos, pero igualmente referentes internacionales:

- NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health).
- OSHA (Occupational Safety & Health Administration).
- MSHA (Mine Safety & Health Administration).
- EPA (Environmental Protection Agency).

Adicionalmente, existen guías de proveedores y fabricantes comerciales de equipos e instrumentos de medición y análisis que detallan instrumentos, procedimientos y especificaciones necesarios para hacer una medición de manera confiable; de suma importancia que se utilicen como referencias y se sigan al llevar a cabo una medición. Entre la información que brindan, se encuentran el medio recolector, el mínimo y máximo volumen de aire requerido, el flujo de aire y técnicas de análisis en el laboratorio, entre otra información específica para el agente y método en cuestión, aunque puede existir más de un método por tóxico.

Al igual que los LEO, cada método está sujeto a un estricto proceso de evaluación científica para demostrar su confiabilidad. Además, estos procedimientos se actualizan mediante publicaciones de nuevos estudios sobre desempeño o con el surgimiento de nuevas tecnologías. Es importante consultar la última versión de los métodos analíticos de cada entidad para asegurar que se utilice la edición más actualizada.

Instrumento para la toma de muestras

El propósito más común de una medición de higiene de tipo personal es tratar de aproximar o actuar como sustituto de la dosis que

recibe el trabajador a través de la inhalación de una sustancia química (Todd, 1998). Para esto, se puede recurrir a dos clases de instrumentos que por lo general se clasifican como activos y pasivos.

Activos

Los sistemas activos son los que fuerzan gases, vapores o partículas en el ambiente a través de una corriente de aire, a que sean llevados al medio recolector. Se pueden usar para hacer mediciones personales o estacionarias (de área).

Tren de muestreo

El primer tipo de equipo activo por analizar en realidad es un conjunto de dispositivos denominado *tren de muestreo*, compuesto por a) una bomba para jalar el aire a través de b) un medio que capta la sustancia que se quiere analizar, y c) el tubo o manguera que los conecta entre sí. Si se sigue el método analítico para el agente en cuestión y las guías de calibración de los equipos, estos instrumentos tienen un alto nivel de confiabilidad.

La bomba es el aparato diseñado para succionar el aire y agentes a través del medio recolector con dimensiones tales que el trabajador lo pueda llevar sin molestia colgado en su vestuario, cuando se trate de mediciones personales. La bomba debe jalar determinado volumen de aire por un tiempo específico de manera constante y verificable. Usualmente, la unidad que se utiliza para medir el flujo es litros por minuto (l/min). Para asegurar el correcto flujo, las bombas deben ser calibradas antes y después de cada medición. En mediciones prolongadas como las de turno entero, existen equipos llamados rotámetros para verificar el flujo entre la calibración inicial y final.

El medio recolector es el material que absorbe o retiene los agentes que se requieren medir para su posterior análisis en un laboratorio. Para gases y vapores, el medio se encierra en un tubo de vidrio de cinco centímetros de longitud cuyo grosor es de un lápiz. Tubos más pequeños también se pueden usar para mediciones de corta duración (30 minutos o menos). Los medios más comunes en esta presentación son el carbón activado para sustancias orgánicas (hidrocarburos aromáticos y alcoholes) y el gel de sílice para hidrocarburos polares, metanoles, amines, ácidos inorgánicos y algunos mercaptanos (Todd, 1998).

Antes de usar estos tubos, se quiebran ambos extremos, uno queda apuntando hacia el ambiente que se quiere medir y el otro hacia la bomba. El aire jalado por la bomba pasa a través del tubo donde el medio adsorbe (un proceso químico a diferencia de la absorción) el o los agentes en cuestión. Posteriormente, el tubo es analizado en un laboratorio donde por un método químico, desprende los agentes a evaluar y se calcula su concentración.

Para las partículas, el medio recolector es un filtro, siendo los más comunes la fibra de vidrio, ésteres mixtos de celulosa (MCE) y policloruro de vinilo (PVC), cuyo uso en una medición depende de la clase de partícula que se vaya a medir y el tipo de análisis de laboratorio que se requiere para poder cuantificar la concentración. El filtro, de diámetro y grosor de una moneda grande, viene dentro de un casete de plástico con apertura en ambos extremos, una para captar el aire por evaluar y el otro en dirección hacia la bomba. Una vez terminada la medición en campo, el casete igualmente es analizado en un laboratorio por métodos físicos o químicos para determinar la concentración.

Independientemente si se usa tubo o filtro, la calibración se hace con el mismo tipo de dispositivo con el que se haga la medición, que se descarta una vez terminado el plan de muestreo. Cabe recalcar que los métodos analíticos aprobados son lo que van a especificar el flujo y medio por utilizar.

Para conectar el medio con la bomba, se usa un tubo que generalmente es de polímero (por ejemplo, Tygon®) por sus características –aconsejables para mediciones de higiene especialmente porque ofrece una superficie que limita la adsorción de los contaminantes durante su recorrido por el tubo, lo que permite el pase expedito del agente al medio de captación. Otros beneficios del material de construcción es proporcionar un sello apropiado en la boquilla de la bomba y el tubo o casete, y su flexibilidad, aunque al mismo tiempo rígido para prevenir que el tubo se pellizque o retuerza, obstruyendo así el flujo de aire. La longitud del tubo debe ser lo más corta posible. Si se usa para medición personal, debe permitir el libre movimiento del trabajador que porta el tren de medición.

Bomba de aire y sensores

El segundo tipo de instrumento activo combina la bomba de aire y sensores en un solo paquete con los beneficios adicionales de ser portátiles y de lectura directa. Pueden albergar desde uno hasta seis sensores que proporcionan la concentración en tiempo real. Cabe notar que este tipo de instrumento, más que para mediciones personales de higiene (i.e. evaluación de la exposición a un trabajador), tienen el propósito de evaluar atmósferas para determinar el equipo de protección personal necesario, alarmar a un trabajador ante la presencia de una sustancia química en concentraciones que se aproximen a un LEO, emitir permisos de trabajo (e.g. espacios confinados), delimitar zonas seguras durante emergencias que involucren escapes o derrames de químicos, e identificar fuentes de escapes de gases o vapores.

No obstante, con el avance de las tecnologías de estos monitores, además de ser suficientemente pequeños para ser portados por los trabajadores durante un turno completo, también llevan un registro (*data log*) de todos los puntos de medición a través del día, calculan el promedio de la concentración por el tiempo de la medición y el promedio ponderado en ocho horas, marcan las concentraciones más altas y bajas y en el momento en que ocurrieron, además de la información que permite definir el perfil de la exposición. Este registro se puede descargar y almacenar.

Los sensores más comunes que utilizan estos aparatos son los fotoionizadores para los compuestos orgánicos volátiles, los de ionización de llama para metano y los electroquímicos que son agente-específico (este último también puede funcionar en modo pasivo, véase el apartado “Pasivos”). Estos sensores tienen ventajas, como alto nivel de certeza en medición y resultados inmediatos, aunque también tienen varias limitaciones; por ejemplo, no deben exponerse con frecuencia a altas concentraciones, los factores ambientales como la humedad relativa pueden afectar el correcto funcionamiento y pueden padecer de sensibilidad cruzada, es decir, pueden activarse al detectar un compuesto similar arrojando falsos positivos.

Por otra parte, resulta importante tener en cuenta que no existe un sensor universal o un solo sensor que pueda detectar todas las sustancias químicas. El usuario debe estar familiarizado con qué agente o familias de químicos el sensor pueda o no

detectar y con qué grado de certeza. Además, los sensores deben ser calibrados y verificados según instrucciones del fabricante; para ello, una práctica aconsejable de la industria es verificarlo diariamente antes de cada uso.

Tubos colorimétricos

La tercera y última clase de instrumento activo son los tubos colorimétricos. La aplicación de este dispositivo es más para hacer un sondeo o chequeo de un área muy puntual, no para estimar directamente la exposición de un trabajador. Su uso más común consiste en determinar la presencia de un gas tóxico y su concentración aproximada para establecer medidas de control, en caso de ser necesario, al comparar la medición que se hace con un LEO.

Estos tubos son similares en dimensión y forma los del tren de medición (tema ya analizado), solo que detectan exclusivamente gases y son de lectura directa (no hay necesidad de enviarlos a un laboratorio para su evaluación de la concentración). El contenido del tubo es un reactivo químico diseñado para cambiar de color al contacto con un gas o familia de gases. A través de una bomba de fuelle (una bomba que opera manualmente) que se conecta a un extremo, jala un volumen predeterminado del aire a través del tubo y si existe el químico que reacciona con el reactivo, este cambiará de color. El vidrio del tubo está graduado mediante una escala de ppm que indica la medición según viaje o se desplace la descoloración a través del tubo, en proporción a la concentración del químico en el ambiente.

Los tubos colorimétricos tienen varias ventajas, incluidos bajo costo, portabilidad y variedad, puesto que –dependiendo de la marca– hay tubos para medir hasta 500 gases diferentes. Los resultados de una medición se pueden dar entre segundos y minutos, dependiendo del tubo. Entre sus desventajas se encuentran el gran margen de error de la lectura, que puede variar entre $\pm 10\%$ y $\pm 40\%$, además que algunos tubos padecen de sensibilidad cruzada (arrojan falsos positivos por reacción con otros gases). Con este dispositivo, al igual que cualquier otro, es importante leer y entender las instrucciones del fabricante para su correcto funcionamiento y desempeño.

Pasivos

Los sensores pasivos, al contrario, no requieren una bomba que fuerce o empuje el aire a través del medio recolector. Además de los sensores electroquímicos abordados en la sección anterior, que también pueden funcionar sin bomba, existen los que poseen una cama de carbón que adsorbe los gases o vapores. El mecanismo de acción de estos monitores pasivos es por medio de la difusión que involucra:

1. La primera ley de Fick que describe cómo los químicos se mueven de un área de alta a una de menos concentración.
2. El hecho de que las moléculas del gas o vapor por medir tiene afinidad o atracción más alta al tipo de medio recolector que el aire que lo rodea.

Una vez se completa la medición, el monitor se envía a un laboratorio para su análisis y evaluación de la concentración.

Los monitores pasivos tienen una forma de disco o cilindro, de dimensiones pequeñas y livianas que permiten fijarse fácilmente a, por ejemplo, el cuello o bolsillo de la camisa de un trabajador para propósitos de mediciones personales o a un equipo o instrumento fijo con el fin de hacer mediciones estacionarias (de área). Las corrientes de aire naturales o artificiales creadas por unidades de ventilación en ambientes cerrados (por ejemplo, ventiladores o aires acondicionados) son suficientes para llevar el agente tóxico en cuestión al medio adsorbente. En el caso de una medición personal, el simple andar de un trabajador o los movimientos de un quehacer diario también son suficiente para promover que el aire, en conjunto con sus contaminantes, pase a través del monitor.

En cuanto al uso y aplicación de monitores pasivos, también es importante seguir las instrucciones del fabricante. En términos generales, no es recomendable que se utilicen en ambientes con aire estático (dentro de un clóset o gabinete), ya que es una situación que se presta para concentración subestimada. De igual manera, se sugiere no usar en condiciones donde predominen velocidades de aire altas, como en el caso de monitoreo ambiental al aire libre en condiciones atmosféricas que incluyen fuertes vientos o ráfagas constantes. Otra situación para ser cuidadoso es en mediciones a corto plazo (pocos minutos de

duración) donde el flujo de aire a través del monitor puede no ser el mínimo requerido para posterior análisis en el laboratorio.

La geometría de un monitor pasivo que puede poseer una cara abierta, lo hace susceptible a recibir en el caso de una salpicadura de un químico en forma líquida, mucho más de una sustancia de lo que recibiría el trabajador por vía respiratoria. Aunque los fabricantes de estos dispositivos incluyen una membrana protectora para que líquidos derramados no contacten directamente el material adsorbente, sobreestimando la exposición, es una situación para tener en cuenta. Los monitores pasivos ofrecen varias ventajas sobre activos, incluyendo que no tienen partes móviles, no requieren baterías ni calibración, además de ser livianos y económicos.

Estrategias de medición

Antes de tomar una medición o empezar una campaña de monitoreo, es recomendable definir o adoptar una estrategia donde se trace el objetivo y se optimicen los recursos. Las estrategias de medición tienden a estructurar y organizar la toma de muestras para cumplir con un propósito y brindar consistencia a un proceso que puede ser altamente variable. Una estrategia apropiada de medición posee respaldo científico e incluye aspectos como el propósito de la campaña, qué sustancias y a quién muestrear, la duración de cada muestra, el número de muestras y la frecuencia con que se lleva a cabo el monitoreo (Todd, 1998).

Propósito

Las razones para tomar una muestra y evaluar la exposición a un trabajador son diversas e incluyen: cumplimiento legal, queja, evaluar la efectividad de una medida de control recién instalada, procesos legales (correlación de la exposición con una enfermedad profesional) e investigaciones científicas, entre muchas otras. La Asociación de Higienistas Industriales de Norteamérica (AIHA, por su sigla original *American Industrial Hygiene Association*) ha desarrollado una estrategia para caracterizar el perfil de la exposición de todos los trabajadores, para todos los agentes a los que se expone y en todo momento. Esto implica la documentación y validación (por observación o medición)

de exposiciones tanto bajas como altas, durante todos los turnos laborales, estaciones del año y condiciones operacionales que se puedan presentar (Mulhausen & Damiano, 2018).

Químicos y trabajadores por medir

Una vez definido el propósito de la medición, hay que concretar la sustancia o sustancias que se van a medir. El agente en cuestión puede ser una sustancia individual o un compuesto. Puesto que tomar muestras de todos los agentes presentes sería muy costoso e ineficiente, una estrategia brinda protocolos que ayuden a priorizar agentes químicos en los que debería enfocarse, teniendo en cuenta toxicidad, número de personas expuestas, cantidades manipuladas (volúmenes manejados), duración de la exposición, medidas de control en uso y propiedades químicas del agente.

Al igual que en el caso de las sustancias químicas, tampoco se puede monitorear a todos los trabajadores. Una estrategia de medición detalla la información que se debe recabar y explica los métodos de observación y estadísticos que se aplican para agrupar a un conjunto de individuos que pueden exhibir un perfil de exposición similar. Así, la medición de uno o unos pocos trabajadores seleccionados de manera aleatoria, representa la exposición del grupo. Un error común en la selección de los trabajadores por monitorear consiste en escoger a la persona con la tarea que se supone tiene la exposición es más alta e ignorar los individuos con tareas donde se estima una exposición baja. Este tipo de metodología se conoce como la del “peor de los casos” y se reserva para mediciones con el propósito de revisar un cumplimiento legal, ya que –al no ser aleatorias– poseen sesgo y carecen de representatividad de todas las exposiciones.

Duración de la muestra

La duración de la muestra depende del periodo asociado al LEO del agente que se va a medir (de corta duración o a largo plazo), la duración de la tarea o el tipo de efecto adverso que se requiere prevenir (agudo o crónico). Para el muestreo de sustancias con límite STEL o C, la medición de la concentración de dicha sustancia en el ambiente de trabajo generalmente debe

ser de 15 minutos a media hora. Si se trata de un límite para ocho horas, como un TWA, la muestra debe tomarse durante el turno de trabajo completo (mínimo 7 horas), considerando el volumen de aire que requiere el método analítico. Si hay concentraciones pico durante el turno, estas también deben medirse para complementar el perfil de exposición.

Número de muestras y frecuencia del monitoreo

La concentración de químicos en el ambiente de trabajo tiene muchas razones que pueden variar a través del tiempo: picos de producción, rotación de la fuerza laboral, cambios en equipos y procesos operacionales, cambio en patrones de ventilación por estaciones o condiciones climáticas, etc. Una campaña de monitoreo que, por ejemplo, se dé durante pocos días de la misma semana no tomará en cuenta toda esta variabilidad.

Por ende, una estrategia de medición ofrece guías que indican el número de muestras por tomar para validar que sean una buena representación del universo de condiciones que afectan la concentración de contaminantes en el lugar de trabajo. También se busca que las mediciones sean tomadas aleatoriamente durante el curso de un tiempo (ejemplo, un año) para cubrir las diferentes variables. Por último, sirven para optimizar los recursos ya que limitan el número de muestras al mínimo necesario.

Términos clave



- Adsorción
- Estrategias de medición
- Instrumentos de medición activos
- Instrumentos de medición pasivos
- Medición estacionaria
- Medición personal
- Mediciones de corto plazo
- Mediciones de turno completo
- Medio recolector
- Método analítico



Determinación de instrumentos de medición para realizar una tarea en espacio confinado

Una empresa de servicios generales para la industria petrolera tiene como tarea la limpieza de un tanque de gasolina una vez drenado. El análisis de riesgo arroja que se debe medir la atmósfera dentro del tanque por benceno y gasolina, como parte de la evaluación de agentes tóxicos por tratarse de un ingreso a un espacio confinado, además de la exposición a los trabajadores para una investigación. El turno de trabajo de la cuadrilla es de ocho horas, de las cuales la mayoría estará dentro del tanque recogiendo el remanente del fondo del tanque. Los LEO e información adicional para los agentes son los siguientes:

Cuadro 17.1 LEO e información adicional

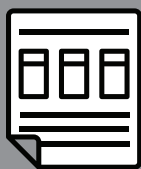
	TWA (ppm)	STEL (ppm)	Anotaciones	Efecto crítico
Benceno	0,5	2,5	Vía dérmica (piel)	Leucemia
Gasolina	300	500	--	Irritación en ojos y garganta; daño en el sistema nervioso.



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. Indique si se deben utilizar instrumentos de medición pasivos, activos o de lectura directa y por qué.
2. Determine si han de hacerse mediciones de corto y largo plazo. Argumente su respuesta.
3. Liste algunos de los métodos analíticos y organizaciones que los publican para dichos agentes tóxicos.



RESUMEN

Un paso importante en la evaluación de riesgo a sustancias químicas es comparar la exposición del trabajador de un agente contra su correspondiente LEO y así establecer si representa riesgo para el individuo. Este proceso de cuantificación del riesgo incluye la medición de la exposición al trabajador mediante la toma de muestras del ambiente laboral para tratar de estimar la dosis o cantidad del contaminante que realmente ingresa en el cuerpo y permanece ahí sin ser metabolizada causando un efecto adverso para la salud.

La toma de muestras implica instrumentos especializados con sensores o agentes reactivos que pueden dar resultado inmediato mediante lectura directa. Otros equipos poseen filtros o compuestos para la captación de contaminantes químicos que deben ser llevados a laboratorio para análisis mediante técnicas físicas o químicas con el fin de calcular la concentración. Estas muestras se pueden fijar al trabajador que lo porta durante una tarea o un turno completo de trabajo, lo que se denomina una muestra personal. De esta manera, se aproxima a la exposición real del trabajador pues el monitor está siempre con él. Los monitores también se pueden usar para medir la concentración en un área y así obtener una primera idea de la exposición potencial. Este tipo de muestreo se llama estacionario o de área.

El manejo de instrumentos y métodos analíticos tiene procedimientos que desarrollan entidades internacionales para estandarizarlos y que los resultados señalen alto nivel de certidumbre y confiabilidad. Los laboratorios que analizan este tipo de muestras tienen que pasar por un proceso de certificación sujetos a auditorías. Los métodos analíticos se encuentran en constante revisión y actualización, lo que amerita verificar que se está aplicando la versión más corriente.

La estrategia para la evaluación de la exposición también tiene una estructura u organización para mantener consistencia en la toma de muestras. Existen varias fuentes a nivel internacional que recomiendan estrategias donde se define

el propósito de la medición, priorización de los agentes por medir, dónde medir y duración de las muestras. Diferentes aspectos de la estrategia, como el número de muestras por grupo representativo de trabajadores y la frecuencia de las mediciones se pueden incluir en las normas del manejo de sustancias químicas ocupacionales en algunos países.



CUESTIONARIO

1. Explique la diferencia entre monitoreo personal y estacionario (de área).
2. Elabore una relación de la información que se puede encontrar en un método analítico.
3. Compare y contraste el monitoreo activo del pasivo.
4. Detalle los tres componentes del tren de monitoreo.
5. Brinde los parámetros que aborda una estrategia de medición.

Referencias

- Mulhausen, J.R. y Damiano, J. (2015). *La estrategia de la evaluación de la exposición*. 4a. Edición. Falls Church: AIHA.
- Organización Panamericana de la Salud. (2001). *La Higiene Ocupacional en América Latina: una guía para su desarrollo*. Van der Haar y Goelzer (Ed.). Washington, D.C.: OPS, OMS. p. 8.
- Paustenbach, D.J. (1988). Occupational Exposure Limits. En J.M. Stellman (Ed.) *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. Geneve: International Labor Office, pp. 30.27-30.34.
- Todd, L. (1998). Evaluation of the Work Environment. En J.M. Stellman (Ed.) *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. Geneve: International Labor Office.

*Mejor poner una fuerte barrera
al borde de un precipicio que una
ambulancia abajo en el valle.*

(Joseph Malins, 1895)





CAPÍTULO 18

Prevención y control de las intoxicaciones de origen laboral

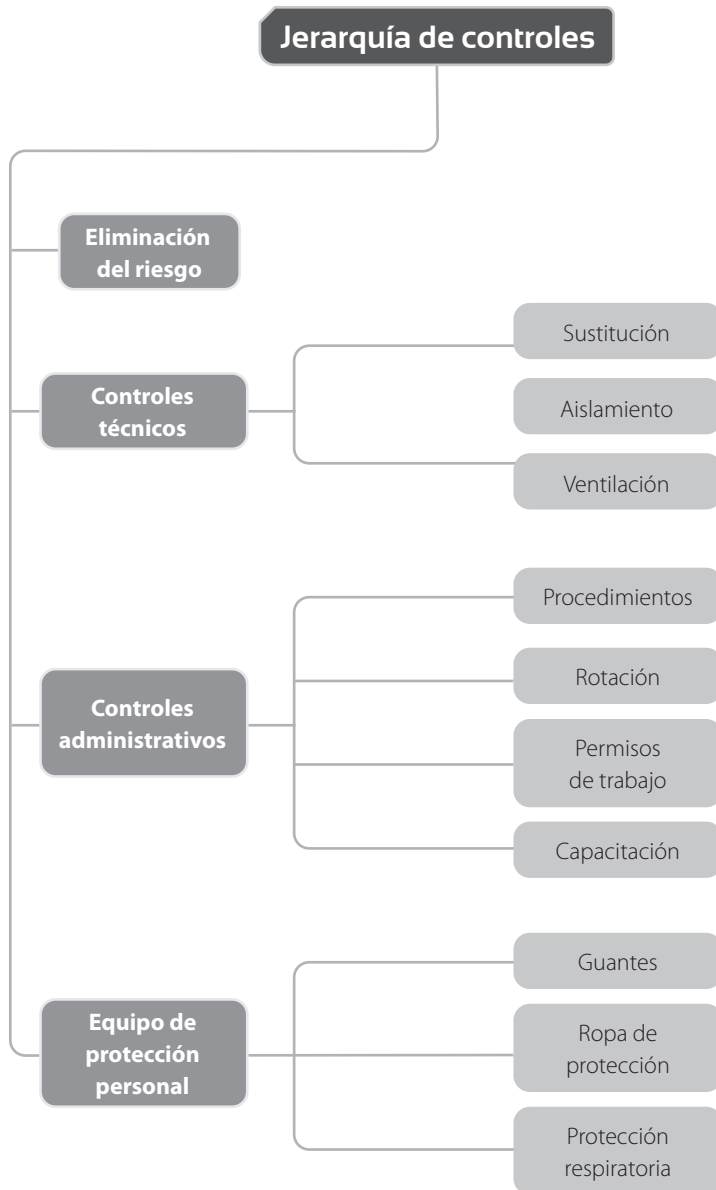
Eduardo Antonio Shaw Morais

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Comprender la jerarquía de controles de exposición a químicos.
- Diferenciar entre eliminación de riesgos, controles técnicos y administrativos, y equipos de protección personal.
- Profundizar en las limitaciones de los equipos de protección personal.

Figura 18.1 Mapa conceptual sobre la jerarquía de controles



Introducción

La higiene industrial está llamada a reconocer, evaluar y controlar riesgos para la salud en el ambiente de trabajo. Los capítulos anteriores se han enfocado básicamente en explicar aspectos relacionados con la evaluación de agentes químicos, pero el control y la prevención son los componentes que hacen destacar las profesiones dedicadas a la salud ocupacional, pues es donde se evidencia el valor agregado a la gestión operacional. Para tener impacto positivo, los controles se deben aplicar de acuerdo con un orden que favorezca la eliminación del riesgo por encima de cualquiera otra medida. Puesto que no siempre es factible esta opción, los controles se deben aplicar siguiendo una jerarquía que de alguna manera le dé más peso a los controles técnicos que minimizan el error humano sobre las medidas de carácter administrativo y, como última opción, el uso de equipos de protección individual.

Jerarquía de controles

Una vez se evalúa un riesgo en su totalidad (más allá de simplemente comparar la concentración con el LEO) y se determina que debe implementarse una medida de control, las opciones son varias: desde eliminar el riesgo a controles altamente sofisticados que exigen una alta inversión (con su debido retorno y valor agregado) y, por último, opciones válidas, pero simples y económicas. En este sentido, se ha desarrollado el concepto de la jerarquía de controles, que no es más que una manera de ponderar las diferentes opciones disponibles, dándole más peso y preponderancia a las medidas que eliminan el riesgo sobre las que establecen una barrera ante el riesgo y, por último, las que simplemente brindan una alerta sobre el riesgo.

Evidentemente, está claro que no siempre se puede eliminar el riesgo, pero la jerarquía de controles busca que se aborden medidas de control en un orden específico, empezando por las que anulan el riesgo, y desde este punto se vayan considerando otras opciones que van desde lo más a lo menos eficiente. Obviamente, hay medidas de control que sin eliminar el riesgo hacen un excelente trabajo de proteger al trabajador y otras que,

aunque conllevan muchos estudios, son difíciles de implementar, requieren muchos recursos o son incómodas para el trabajador.

La jerarquía de controles comúnmente se divide en cuatro categorías, en orden descendiente, empezando por la más más eficiente, segura y saludable:

- Eliminación del riesgo.
- Controles técnicos.
- Controles administrativos.
- Equipo de Protección Personal (EPP).

Estas se deben de analizar e implementar en esta secuencia. Aquí cabe notar que las tres últimas clases de controles usualmente se aplican en combinación para una mayor eficacia, o se puede escoger una más bajo en la jerarquía mientras se evalúa la implementación de uno más alto en la lista.

La inversión en las medidas de control no siempre tiene una relación directa a qué tan alta están en la jerarquía. Es decir, suprimir el riesgo no siempre conlleva la más alta inversión y, en consecuencia, colocar barreras no es invariablemente la opción más económica. Opciones que inicialmente pueden acarrear un alto costo, pueden tener otras ventajas para los procesos de producción o calidad o un retorno más rápido sobre la inversión. Alternativas con un costo inicial más bajo, a la postre pueden requerir gastos de mantenimiento o capacitación que se van sumando al valor inicial y muchas veces no se tienen en cuenta. Sin duda, también hay opciones que son muy económicas y eficientes a la vez.

Para ejemplificar la jerarquía de controles, se da el siguiente caso: un peatón tiene como tarea desplazarse del punto A al punto B, lo que supone cruzar una avenida con el riesgo de ser atropellado por los vehículos que transitan a alta velocidad. En lo más bajo de la jerarquía está brindar EPP, que en este caso sería darle al trabajador un chaleco reflectante y pedirle que cruce la avenida, poniéndolo en medio del riesgo. Entre las posibles medidas administrativas se listan: construir un paso peatonal con líneas de cebras, un semáforo o un puente peatonal (estas medidas solo mitigan el riesgo, ya que se pueden ignorar y el

riesgo aún se mantiene). El control técnico puede considerarse como la construcción de un túnel. Por último, eliminar el riesgo se daría cuando el punto B se muda al lado de la avenida donde está el punto A. El riesgo se erradica ya que no se tiene que cruzar la avenida y exponerse a los vehículos.

Eliminación del riesgo

Eliminar el riesgo es la cima de la jerarquía y el ideal en términos de la prevención. El concepto se refiere a que el trabajador no tenga contacto alguno con un químico ni el potencial de hacerlo. Para llegar aquí usualmente se deben producir cambios en la tecnología o en los procesos. Por ejemplo, es posible anular el contacto con los hidrocarburos si se cambian a fuentes de energía hídrica, solar o eólica. El transporte de petroquímicos a través de un oleoducto subterráneo directo de una refinería a un puerto marítimo elimina el riesgo de exposición a vapores a los transportadores durante la carga y descarga del producto en carrotanques o vehículos cisterna.

Otro caso: exposiciones a amianto (fibra natural cancerígena) se dejaron de dar a personal involucrado en la remoción de aislamiento que contiene este agente al determinar que, si el material está intacto, en buen estado físico y retirado o no susceptible a golpes o condiciones que lo hagan friable, no representa un riesgo para las personas a su alrededor. Como se puede apreciar, por tanto, pueden ser cambios transformadores, sustanciales o simples a raíz de una evaluación.

Controles técnicos

Los controles técnicos reducen el riesgo al restringir la interacción del trabajador con los agentes tóxicos o cuando se busca controlar el ambiente. Dentro de esta categoría se encuentra la sustitución, el diseño de procesos cerrados para aislar al químico o separar al trabajador y la ventilación. En general, estos controles involucran cambios originados por la rama de la ingeniería, bien sea en los procesos o conformación química y se pueden dar en equipos y materiales ya instalados o incorporados en nuevos instrumentos e insumos. Estos están en el

segundo escalafón de la jerarquía por su alto grado de eficiencia al controlar una exposición.

Sustitución

La sustitución se refiere a cambios en la formulación de productos que contienen agentes tóxicos a ingredientes químicos menos peligrosos o inocuos. Casos registrados a nivel mundial incluyen la erradicación del plomo de las pinturas y las gasolinas, además de parar el uso de policlorobifenilos (PCB) en aceites dieléctricos de transformadores (aunque este último sea por razones de toxicidad ambiental primariamente).

Aislamiento

El hecho de aislar o encerrar un químico durante su manipulación tiene que ver con encapsular la sustancia y sus emanaciones (gases, vapores o partículas) de una manera fija y constante para que le sea difícil al trabajador entrar en contacto durante su manipulación o transporte. Ejemplos incluyen tapar y sellar un tanque, así como la inyección de un químico al pasarlo de un contenedor a otro (versus verter en un proceso abierto).

Ventilación

Existen dos tipos de ventilación para propósitos del control de la exposición: general o por extracción. La primera puede ser natural al hacerse un trabajo al aire libre o artificial por equipos mecánicos de movimiento de aire, llámese sistemas de acondicionamiento de aire o ventiladores de techo o de pedestal.

El propósito de la ventilación general simplemente consiste en mover el aire a través de un espacio determinado (por ejemplo, una fábrica o línea de producción) generando suficientes cambios del volumen total de aire en un periodo para evitar así acumulación de gases o vapores. La clave está en que haya suficiente desplazamiento de aire para que la concentración no exceda un límite ocupacional.

La segunda instancia es la ventilación por extracción que se usa para tareas o procesos que generan un alto volumen de vapores, gases o partículas como, por ejemplo, la emanación de humos cuando se hace alguna labor con soldadura. Para que la extracción sea lo más eficiente posible, la cara del tubo o manga

debe estar a no más de 30 centímetros de la fuente y la velocidad del aire en la cara del tubo o manguera debe mantenerse al menos a 30 metros por minutos (ACGIH, 2013). El tubo o manguera que va desde el ventilador hasta la fuente de generación debe ser lo más corto y recto posible, evitando quiebres y giros que intervengan en el flujo de la corriente. Asimismo, algunas herramientas manuales portátiles o fijas contienen un sistema de extracción incorporado o tienen la opción de instalarlo en el equipo.

Otra situación muy común sobre la aplicación de ventilación por extracción son las campanas de laboratorios que también requieren reglas específicas para su correcto funcionamiento. Por ejemplo, la ventana deslizante al frente debe estar lo más cerrada posible, no solo para la protección del usuario en caso de salpicadura de químicos, sino también para maximizar la velocidad del aire a través de la cara de la campana. Así, el ambiente potencialmente tóxico puede ser jalado por el ventilador del otro extremo del equipo. En segundo lugar, la parte interna de la campana no debe usarse para almacenar equipos o envases, ya que pueden obstaculizar el flujo de aire e incluso formar corrientes que expulsan los gases o vapores hacia afuera, exponiendo al usuario (ACGIH, 2013).

Para todo equipo de ventilación, el mantenimiento es absolutamente clave. Los filtros deben ser cambiados periódicamente según las instrucciones del fabricante, pues este componente tiene un impacto importante en la velocidad y flujo del aire. El mantenimiento y balance de equipos de mantenimiento de ventilación general debe hacerse por personal especializado. La ventilación para propósitos de control de exposición a químicos es un tema muy desarrollado en textos y literatura de carácter científico.

Controles administrativos

Las medidas administrativas continúan en el orden de jerarquía, las cuales se refieren a prácticas de trabajo que reducen el riesgo mediante la sistematización en la manera como se llevan a cabo algunas tareas y se comportan los trabajadores, buscando siempre que se haga en el modo más seguro y saludable. Entre

los controles administrativos más comunes se incluyen:

- Procedimientos de trabajo.
- Rotación de trabajadores.
- Permisos de trabajo.
- Capacitación o formación.
- Señalización.

Un ejemplo de un procedimiento de trabajo para reducir la exposición se puede dar al reducir la temperatura del asfalto durante su aplicación con el propósito de minimizar la emanación de vapores en la pavimentación de una carretera. Otro caso es dar la instrucción de portar un monitor de dióxido de carbono de lectura directa cuando se trabaja en un túnel y hay maquinaria y generadores que operan por combustión. La rotación se puede dar cuando trabajadores se turnan el lavado de instrumentos con un disolvente. De igual manera, cuando operadores en una gasolinera se intercambian tareas administrativas en una tienda de servicio y en la pista abasteciendo carros, calibrando los surtidores o midiendo los tanques de almacenamiento (todas tareas donde existe el potencial de exposición a vapores de gasolina).

Los permisos de trabajo más comunes se asocian a tareas de alto riesgo como el ingreso a un espacio confinado donde existe un potencial de entrar en contacto con un agente tóxico. El permiso funciona como una lista de verificación donde se van enumerando los posibles riesgos, medidas de control y pasos para seguir en caso de una emergencia. La tarea no se puede comenzar hasta que el nivel jerárquico definido haya puesto su firma de aprobación. La capacitación o formación en temas de riesgos para la salud por exposición a riesgos químicos debe incluir información sobre todos los posibles riesgos, efectos para la salud, niveles de concentración encontrados, medidas de control, limitaciones y qué hacer en caso de emergencias. Este es un requisito que se encuentra en muchos sistemas de gestión y regulaciones, incluyendo la frecuencia en la que se deben impartir.

La debilidad de las medidas de control administrativas es que precisamente dependen del comportamiento o conocimiento de los trabajadores. Para que se apliquen consistentemente, requieren esfuerzo en materia de supervisión

y monitoreo que se suman al costo de su implementación. La rotación de trabajadores tiene una deficiencia adicional, ya que solo reduce en parte la exposición al distribuirla en periodos de riesgos altos y bajos. Existe una creciente evidencia que apunta a que varios picos de exposiciones tienen más impacto negativo para la salud que exposiciones bajas por largos periodos (Stewart, 2011). Con respecto a la capacitación, el simple hecho de que la fuerza laboral haya recibido información en una sesión no significa que vaya a seguir en estricto cumplimiento todo lo enunciado por el instructor.

Equipo de Protección Personal (EPP)

En la base de la jerarquía, como último escalón, se encuentra el EPP. Con este rubro y específicamente para la protección de químicos, existen tres elementos de más alta relevancia: guantes, vestimenta para el cuerpo y protección respiratoria. Aunque estos equipos están respaldados por muchos estudios, pruebas sofisticadas y estandarizados, su ineficacia se debe a la incomodidad, limitaciones y potencial de mal uso. Además, valerse del EPP como única medida de control es reconocer que hay riesgo e incluso poner al trabajador en medio de la exposición.

Guantes

Los guantes para la protección de absorción dérmica de químicos tienen una diversidad de materiales, grosores, longitudes y composiciones, y no hay un guante que sirva para proteger contra todos los químicos o todas las tareas. Además, ningún guante es completamente infalible por un tiempo indefinido; es decir, todos los guantes tienen un lapso en el cual el agente químico va a traspasar el material. La clave con los guantes es seguir las recomendaciones del fabricante sobre las sustancias químicas para las cuales está diseñado a proteger. Entre los materiales de fabricación de guantes más populares para uso industrial se encuentra el policloruro de vinilo (PVC), el nitrilo, el neopreno, y el caucho, entre otros.

Es importante anotar que una empresa de guantes puede calificar el uso de un material de fabricación como apropiado para una familia de químicos, y eso no significa que otra marca tenga igual rendimiento con el mismo material, ya que el guan-

te puede tener diferencias en confección, grosor y sellos. Cada fabricante tiene una guía o matriz en la que lista los modelos (o materiales que conforman el guante) y cómo se comportan ante las diferentes familias de químicos, bien sea de manera cualitativa (con calificativos como excelente, bueno, o pobre) o cuantitativa dando las horas (o fracciones) que el químico puede estar en continuo contacto antes de que el químico traspase completamente el guante. El material de guante más recomendado para cierto químico es el que los estudios del fabricante dictamine dure más tiempo en atravesar el grosor del guante.

Ropa de protección

Para la ropa de protección contra químicos, el caso es el mismo, ya que también depende del fabricante. Con ropa de protección, se puede referir a 1) un delantal para la protección del torso y piernas, 2) trajes que cubren todo el cuerpo pero que excluyen el rostro, pies y manos, y 3) trajes totalmente encapsulados que envuelven el cuerpo entero. Estos últimos se utilizan en situaciones de emergencia como derrames y escapes de materiales peligrosos.

Para medir el grado del rendimiento del material de fabricación ante un químico se usan dos tipos de exámenes:

Prueba de penetración, la cual analiza el flujo de químicos a través de cremalleras y costuras, en el cual el resultado es binario, bien sea “pasa” o “falla”.

Prueba de impregnación, la cual calcula la difusión a través del material intacto (medido en unidad de masa/área/tiempo, como $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{hora}$). Si se trata de vapores, el estudio se hace en cámara hermética, y si se trata de líquido, es inmersión total en el agente.

Ambos estudios se hacen para determinar qué tan bien se puede comportar el material del guante o ropa protectora ante una familia de químicos (INSHT, 2012).

Protección respiratoria

La selección de protección respiratoria es extremadamente variada. Su clasificación empieza por los dispositivos que filtran el aire contaminado y los que suplen aire, bien sea de un tanque, cilindro o de un compresor. Cada tipo conlleva consideraciones importantes que el usuario debe tener en cuenta.

Los dispositivos que filtran tienen varias presentaciones. La primera son máscaras que cubren boca y nariz y constituyen su propio filtro exclusivamente para partículas (no protegen contra gases ni vapores). Por otro lado, están los dispositivos de material elastómero de medio rostro (nariz y boca) y de rostro entero (para asimismo evitar absorción a través de los ojos). A este tipo de máscara se le pueden acoplar diferentes tipos de filtros para los diferentes riesgos, bien sea partículas, gases/vapores o ambos. Los filtros tienen un código de color para una mejor identificación. Por ejemplo, negro para vapores orgánicos; amarillo para gases ácidos y vapores orgánicos; verde para amoníaco; y magenta para partículas. Los filtros se deben cambiar dependiendo de varios factores, incluida la frecuencia de uso, la concentración a la que fueron expuestos, el esfuerzo que requiere la tarea (ritmo de respiración), entre otros. Diferentes fabricantes ofrecen guías en línea para apoyar esta decisión, la cual debe ser consultada con un higienista industrial. Es importante anotar asimismo que no todos los químicos tienen un filtro. Por esta razón, químicos como el monóxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno no deben usarse con protección respiratoria con filtros.

Los dispositivos que filtran el aire no se pueden usar en atmósferas deficientes en oxígeno. Los dispositivos que suplen el aire son los únicos que se pueden usar en este tipo de ambiente y ofrecen un mucho más alto nivel de protección contra la exposición a químicos al operar en presión positiva. El aire que suplen, bien sea directo de un cilindro o de un compresor, debe asegurarse de que sea seguro para la respiración de seres humanos. Existen estándares que determinan los parámetros y rangos por analizar para cumplir este requisito, entre ellos están el contenido de oxígeno, hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono y olor.

A los diferentes dispositivos de protección respiratoria se les han asignado factores de protección; es decir, las máscaras de filtro solo se deben de usar en una concentración que no supere cinco veces el LEO. Las máscaras de filtro de medio rostro y rostro entero proporcionan un factor de protección de 10 y 50 veces el LEO, respectivamente. Los dispositivos que suministran aire protegen entre 1.000 y 10.000 veces el LEO, dependiendo de los mecanismos de operación.

No todos los trabajadores pueden hacer uso de la protección respiratoria. Individuos con problemas respiratorios no son buenos candidatos ya que la carga adicional al inhalar a través de un filtro puede agravar la situación. Es recomendable, y hasta obligatorio en algunos países, que se realice un examen físico antes de aplicar esta medida de control. Los empleados con pelo facial tampoco deben usar protección respiratoria, si ésta interfiere con el sello entre la máscara y la piel. Estudios revelan que entre 20 y 1.000 veces más aire se escapa (y se inhala) a través de un sello comprometido por el pelo facial que en una persona afeitada en estas áreas (NIOSH, 2017).

Todos los equipos de protección personal están sujetos a un programa de inspección y mantenimiento. La inspección se debe dar antes y después de su uso o turno de trabajo, asegurando que los EPP se encuentren en buen estado y no tengan agujeros que permitan el ingreso de contaminantes. Algunos dispositivos de protección respiratoria deben ser certificados anualmente.

Términos clave



- Aislamiento
- Controles administrativos
- Controles técnicos
- Eliminación del riesgo
- Equipo de protección personal
- Jerarquía de controles
- Protección respiratoria
- Ropa de protección
- Substitución
- Ventilación



Aplicación de la jerarquía de control

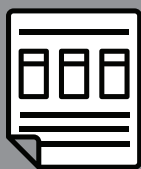
En una operación de llenado de gasolina por el costado superior de un tanque cisterna, un transportador se ubica cerca de las escotillas superiores para abrirlas, hacer el llenado a través de un sistema de bombeo abierto y cerrar la tapa. La duración de la tarea aproximadamente es de 45 minutos y se puede hacer entre 2 y 3 veces durante un turno de trabajo. El único EPP que usa es guantes de neopreno. La estrategia de medición del plantel recomienda hacer una evaluación cuantitativa de esta tarea. El resultado de la campaña de mediciones aleatorias a través de un año resulta en concentraciones muy cerca al LEO del combustible.



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. Investigue medidas de control técnicas que se han implementado en la industria de petroquímicos para reducir el riesgo de exposición a químicos durante esta operación. Indique si tienen beneficios adicionales para otras gestiones como la medioambiental.
2. Verifique que el material de construcción del guante indicado (neopreno) es el correcto para la potencial exposición a gasolina o si hay que recomendar otro material.
3. Si en conjunto con los controles administrativos, se requiere el uso de protección respiratoria, indique que tipo sería necesario y que otras consideraciones debe tomar en cuenta para su implementación.



RESUMEN

La prevención de riesgos químicos va más allá de identificar un riesgo, medirlo, valorizarlo y recomendar un EPP. El valor agregado de la higiene es poder identificar, siguiendo la jerarquía de controles, la manera de eliminar el riesgo o reducirlo, haciendo la operación más eficiente en costo y tiempo. Después de todo, una operación más saludable y segura, es una operación más eficiente. La jerarquía de controles pide que se busque primero eliminar el riesgo, algo que ciertamente no siempre es factible. Si este es el caso, se deben evaluar en orden de preferencia, los controles técnicos, las medidas administrativas y, por último, en combinación con otros controles, los EPP. Los controles técnicos son los más eficientes porque reducen la interacción humana, mientras que los administrativos dependen mucho del comportamiento del individuo. Los EPP, además, pueden ser incómodos y tienen varias limitaciones. El balance está en la implementación de la medida de control más técnica y más rentable.



CUESTIONARIO

1. Liste en orden de aplicación, las medidas de prevención y mitigación de riesgos de la jerarquía de control.
2. Brinde dos ejemplos concretos en donde un riesgo (por ejemplo, exposición a una sustancia química) haya sido substituido por uno de más bajo riesgo.
3. Enumere al menos cuatro controles administrativos.
4. Explique la diferencia entre ventilación general y ventilación por extracción, como medida de control.
5. Mencione las principales desventajas de usar EPP como medida de control.

Referencias

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2013). *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design*, 28th Edition. Lansing, Michigan: ACGIH.
- INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo). (2012). *Ropa de protección contra productos químicos*. Notas Técnicas de Prevención 929.
- Malins, J. (1895). Poema: *The Ambulance Down in the Valley*.
- NIOSH (2017). *To Beard or not to Beard? That's a good Question!* [Mensaje de Blog]. Recuperado de <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2017/11/2/noshave/>
- Stewart, J.H. (2011). Occupational Hygiene: Control of Exposure Through Intervention. En J.M. Stellman (Ed.) *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. Geneva: International Labor Office.

[...] Debéis enseñar a vuestros hijos lo que nosotros hemos enseñado a los nuestros: que la Tierra es su madre. Lo que le ocurre a la Tierra también le [sic] ocurre a los hijos de la Tierra. Si los hombres escupen en el suelo, se escupen a sí mismos...

Atribuida al gran jefe Seattle, de la tribu Dewamish, en carta al presidente de Estados Unidos Franklin Pierce en 1855

(Crowley, 1999)





CAPÍTULO 19

Destino ambiental de los agentes tóxicos

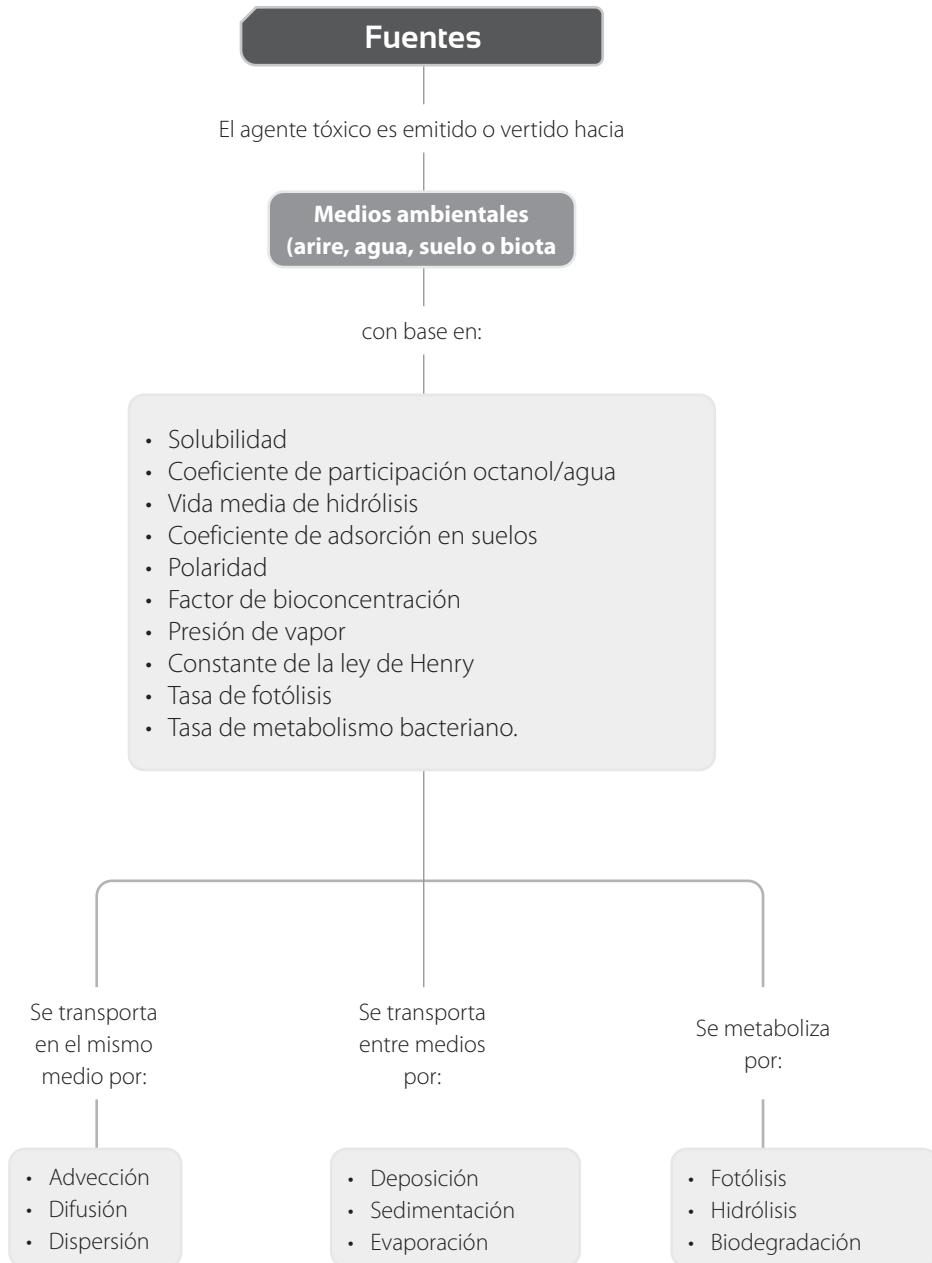
Teresa Rodríguez Altamirano

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Describir los procesos mediante los cuales se diluyen o distribuyen los agentes tóxicos en el suelo, el aire y el agua.
- Definir las características físico-químicas de los agentes tóxicos que afectan su destino ambiental en el aire, el agua y el suelo.
- Describir el destino ambiental de los principales agentes tóxicos en América Latina.

Figura 19.1 Mapa conceptual sobre el destino ambiental de los agentes tóxicos



Introducción

A lo largo de la historia, los seres humanos han utilizado el medio ambiente para eliminar sus residuos. Después de la Revolución Industrial, la producción de residuos se incrementó en forma dramática, en especial de aquellos considerados peligrosos tanto para la salud humana como para el ambiente (Wilson, 1976). A partir de los residuos, los agentes tóxicos pueden ingresar en el ambiente y una vez en este, los ecosistemas los redistribuyen, diluyen o destruyen utilizando los mismos procesos biológicos, geológicos y químicos, que ocurren de manera natural. Algunos agentes tóxicos, en lugar de descomponerse o difundirse, se transforman en sustancias más tóxicas que la original o se concentran en la cadena alimenticia (Walker, *et. al.*, 2012).

Debido a la disposición inadecuada de los residuos, los agentes tóxicos pueden ingresar a cuatro medios ambientales: agua, aire, suelo o biota. Una vez en el ambiente, el destino de los agentes tóxicos está determinado por procesos físicos que dependen de las propiedades físico-químicas del agente tóxico de interés y de las propiedades de los compartimentos ambientales. Algunos agentes tóxicos, en lugar de descomponerse o difundirse, se transforman en sustancias más tóxicas que la original o se concentran en la cadena alimenticia (Walker, *et. al.*, 2012).

En este capítulo se abordarán las propiedades de los agentes tóxicos que determinan el destino ambiental y los procesos que ocurren en los medios ambientales o entre los medios ambientales.

Fuentes, transporte, distribución y eliminación de contaminantes en el ambiente

Según el CAI (2012), las principales fuentes de contaminación del aire en América Latina se derivan de la quema de combustibles fósiles en el sector transporte, en la industria y en los hogares. Los principales contaminantes del aire son: material particulado, ozono y dióxidos de azufre y nitrógeno. La dispersión de estos contaminantes desde la fuente dependerá del viento y de los movimientos verticales; así, mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes en el área de emisión. Se denomina emisión a la

cantidad de contaminantes vertidos en el aire desde una fuente durante un determinado tiempo; usualmente se mide en $\mu\text{m}/\text{m}^3$ o en partes por millón (ppm).

En la figura 19.2 se ilustra una fuente industrial de contaminación del aire. A la emanación visible que desprende la chimenea se llama pluma o penacho. La emisión alcanzará mayor altura cuanto mayor sea su temperatura, el transporte y dispersión posteriores dependerán del viento y las turbulencias (“remolinos térmicos” originados por la radiación solar). El viento diluye los contaminantes y los aleja de la fuente. En la foto se observa la pluma en forma de cono, donde la emanación tiene poco desplazamiento vertical y se produce en condiciones ligeramente estables, es la pluma que se produce en días nublados o soleados (Shields, 2014).

Figura 19.2 Fuente industrial de contaminación del aire



De acuerdo con el informe regional América Latina y el Caribe del Foro Mundial del Agua, 2018, las principales fuentes de contaminación del agua en la región son el vertido de aguas residuales domésticas, seguido de la contaminación por nitratos debido al uso agrícola de fertilizantes y finalmente el vertido de los desechos de la industria y la minería. La figura 19.3 describe el vertido de aguas residuales en un río; el agua de uso doméstico generalmente es vertida directamente al río por las tuberías del alcantarillado, sin ningún tipo de tratamiento previo. Según el informe, solo entre 25 y 30 por ciento de los afluentes domésticos reciben algún tipo de tratamiento antes de ser vertidos a los cuerpos de agua. (BID, 2018).

Figura 19.3 Vertido de agua de las alcantarillas en la corriente de un río



Las principales fuentes de contaminación del suelo son: la aplicación directa de agroquímicos (FAO, 2019), la acumulación de desechos domésticos e industriales (ONU, 2019) y las fugas o derrames químicos de manera accidental; en la figura 19.4 se ilustra un derrame de petróleo. La industria petrolera es una fuente importante de contaminación del suelo por derrames, fugas, filtraciones, lodos y perforaciones. De acuerdo con Agnello y col. (2016), en Europa existen 2,5 millones de sitios contaminados con hidrocarburos. Con respecto a esto, no se encontraron datos sobre el total de sitios contaminados en América Latina; sin embargo, se ha documentado una extensa contaminación de los suelos por hidrocarburos en México (Cavazos-Arroyo, 2014) y en Colombia (Arias, 2017).

Figura 19.4 Derrame de petróleo en el suelo



Una vez en el medio ambiente, el transporte y la degradación del agente tóxico dependerán de sus propiedades físico-químicas. Entre las propiedades más importantes están la presión de vapor y la constante de la Ley de Henry (H'), si el medio es el aire; la solubilidad y el coeficiente de partición

octanol/agua (K_{ow}), si el medio es el agua; el coeficiente de adsorción, si el medio es el suelo y el factor de bioconcentración, si el medio es la biota (EPA, 1999).

Los factores que determinan el destino ambiental de los agentes tóxicos en el aire son la presión del vapor y la constante de la Ley de Henry (H'). La presión del vapor es la que ejerce el agente tóxico en la fase de gas sobre una superficie. Las unidades de presión de vapor se expresan generalmente en mm Hg (milímetros de mercurio), Pa (pascales) o ATM (atmósferas). Un contaminante con alta presión de vapor puede volatilizarse y dispersarse en una gran superficie y los de baja presión de vapor no se mueven en el aire. La constante de la Ley de Henry (H') es la medida de la concentración de un producto químico en el aire sobre su concentración en el agua. Con base en la ley de Henry, los agentes tóxicos pueden clasificarse así:

- No volátil: $H' < 3 \times 10^{-7}$.
- Ligeramente volátil: $H' = 3 \times 10^{-7}$ a $< 1 \times 10^{-5}$.
- Moderadamente volátil: $H' 1 \times 10^{-5}$ a 1×10^{-3} .
- Altamente volátil: $H' > 1 \times 10^{-3}$. (Committee on the Design and Evaluation of Safer Chemical Substitutions, 2014).

Las propiedades que determinan el destino ambiental del agua son la solubilidad y el coeficiente de partición octanol/agua (K_{ow}). La solubilidad es la medida de la cantidad de químico que puede disolverse en el agua. Los agentes tóxicos muy solubles en el agua se degradan rápidamente por hidrólisis. Los contaminantes menos solubles tienden a acumularse. El coeficiente de partición octanol/agua (K_{ow}) es la razón de la concentración de un producto químico en octanol dividida por su concentración en agua. Cuanto más alto sea el K_{ow} , mejor; puesto que habrá menor probabilidad de que el agente contribuya a la escorrenría. (Committee on the Design and Evaluation of Safer Chemical Substitutions, 2014).

En el suelo, el destino ambiental está determinado por sí mismo y la polaridad. La capacidad del suelo para absorber, al tomar en cuenta el contenido de materia orgánica, se expresa por el coeficiente de adsorción en suelos, K_d , el cual mide la cantidad de adsorción química de un agente químico en el

suelo por la cantidad de agua (Koc). Cuanto más alto sea el Koc, mejor; puesto que habrá menor probabilidad de infiltrarse o contribuir a la escorrentía. Cuanto mayor sea el Koc, el contaminante se mantendrá con mayor fortaleza unido a la materia orgánica del suelo y tendrá menor probabilidad de infiltrarse. La polaridad, propiedad de las moléculas, representa la separación de las cargas eléctricas en la misma molécula. Si el contaminante es polar, será muy soluble en agua y tenderá a no ser adsorbido por el suelo. Si el contaminante es no polar, tenderá a salir del agua y a ser adsorbido por el suelo (Linde, 1994).

En la biota, el factor más importante es la bioconcentración (BCF). El BCF es la relación entre la concentración del contaminante en el organismo, después de la exposición a largo plazo hasta el estado de equilibrio, y la concentración del contaminante en un medio. Este es un indicador de la cantidad de una sustancia química que se acumula en los organismos vivos. La capacidad de acumulación se considera baja cuando el BCF es menor de 250, moderada cuando oscila entre 250 y 1.000, y alta cuando es mayor que 1.000 (Committee on the Design and Evaluation of Safer Chemical Substitutions, 2014).

Una vez que los agentes tóxicos ingresan en un medio ambiental, se transportan y distribuyen. El transporte se refiere a la capacidad de los agentes tóxicos para movilizarse en y entre compartimentos ambientales. Estos agentes puedan transportarse a grandes distancias, de tal manera que es posible encontrarlos en áreas geográficas donde nunca han sido utilizados o liberados. En la mayoría de los casos, el transporte a grandes distancias se produce como consecuencia de los movimientos de inmensas masas de agua o aire (CCA, 1997).

Los mecanismos de transporte “en el medio ambiental” son la advección, la difusión y la dispersión. En la advección el contaminante es literalmente arrastrado por el flujo de aire o agua; en la difusión, el contaminante se mueve a favor de un gradiente de concentración (de donde hay más a donde hay menos), y en la dispersión el contaminante se mueve con el medio (aire, agua o suelo), pero al mismo tiempo ocupa cada vez más espacio (Martín-Olmedo, 2016).

El transporte “entre los diferentes medios ambientales”, se produce por deposición, sedimentación y evaporación. En general, la

transferencia de contaminantes entre los medios obedece al principio del equilibrio, es decir, el agente se moviliza de donde hay más a donde hay menos a fin de igualar la concentración entre los medios. En la deposición, el agente tóxico pasa del aire al agua, suelo o biota. La deposición se denomina seca cuando el agente tóxico es arrastrado por el viento o atraído por la gravedad, y se denomina deposición húmeda cuando es arrastrado por la lluvia o la nieve (Martín-Olmedo, 2016).

Los agentes tóxicos también sufren transformaciones, mediante las cuales se produce la degradación del agente, i.e. el cambio a un compuesto diferente o el cambio de estado físico (Martín-Olmedo, 2016). Estas transformaciones incluyen la fotólisis, la hidrólisis, la precipitación, la biodegradación, y la disolución. La fotólisis es el proceso químico donde la sustancia se degrada en presencia de radiación solar. La hidrólisis es la reacción química de una sustancia con el agua y la biodegradación es cuando por acción de seres vivos como hongos, insectos, gusanos o bacterias, el agente tóxico cambia y, en general, pierde sus propiedades químicas y las moléculas que lo conforman se convierten en formas más simples. Algunos ejemplos de todos estos procesos se mencionarán en el destino ambiental de contaminantes específicos (Linde, 1994).

Los parámetros fisicoquímicos que informan sobre la degradación de los agentes químicos en el ambiente son: la tasa de fotólisis, la tasa de metabolismo bacteriano y la vida media de hidrólisis. La tasa de fotólisis es la velocidad mediante la cual los agentes tóxicos se degradan por acción de la luz del sol. La tasa de metabolismo microbiano indica qué tanto la sustancia se degrada por las bacterias presentes en el medio ambiental. Finalmente, la vida media de hidrólisis es el tiempo que tarda una molécula de un agente tóxico en escindirse en dos partes por la adición de una molécula de agua (Linde, 1994).

Destino ambiental de los agentes tóxicos más relevantes en América Latina

Metales pesados

Los metales pesados generan preocupación porque no son biodegradables y, por lo tanto, son persistentes en el ambiente. En el

aire, en las capas superficiales del suelo y en los sedimentos pueden permanecer por muchos años. Si el pH disminuye en el medio ambiental, aumenta la solubilidad del metal y se vuelven móviles en el ambiente. Un caso importante es el del aluminio, pues cuando el pH baja de 4,5 la solubilidad de este metal en agua aumenta tanto que se considera al aluminio como la principal causa de muerte de peces en aguas contaminadas ácidas (Walker, 2012).

La contaminación con metales pesados se debe principalmente a la extracción minera de metales preciosos, la combustión del petróleo y al procesamiento industrial de los metales. En la minería, la contaminación proviene del mercurio que se utiliza para la extracción del oro y también al plomo que forma parte del mineral procesado y se descarta como parte de los desechos. Otra fuente de contaminación con metales pesados es la lixiviación de metales, a partir de los vertederos de desechos sólidos, ya que estos pueden encontrarse en algunos materiales como baterías, desechos de computadores y otros equipos tecnológicos y desechos del decapado de metales (Pachana, *et. al.*, 2010; Cordy, *et. al.*, 2011).

Asimismo, debido a la lixiviación, difusión e infiltración, estos metales se transportan hacia aguas superficiales y subterráneas. Los metales no se eliminan del ecosistema acuático por procesos naturales, en contraste con la mayoría de los contaminantes orgánicos. Estos sufren deposición y en el sedimento tienen largos tiempos de residencia antes de pasar a otro medio ambiental. En consecuencia, la concentración de metales pesados en el agua solo aumenta y se acumula a lo largo de la cadena alimenticia (Gautam, 2016).

Otro factor que contribuye a la acumulación en la cadena alimenticia es la biodisponibilidad, pues en el ambiente los metales pueden metabolizarse a la forma orgánica, usualmente por unión con el grupo metil (CH_3). Las formas metiladas son más fáciles de asimilar por los seres vivos, por ejemplo, los peces captan más fácilmente el metilmercurio $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$ que el mercurio inorgánico (Gautam, 2016).

Algunos metales inorgánicos son asimilados por los organismos vivos de forma más completa que otros; por ejemplo, la bioacumulación del cadmio es más alta que la de los otros metales. Otro factor que influye en la acumulación es la bioquímica propia

del metal, por ejemplo, el plomo es un catión divalente al igual que el calcio, por lo que el plomo puede ser captado siguiendo la misma cinética que el calcio; por ello, se acumula más en animales con exoesqueleto como los crustáceos (Walker, 2012).

Plaguicidas

Los plaguicidas pueden ingresar en el ambiente por contaminación desde una fuente puntual o por contaminación desde una fuente no puntual. El primer caso es la contaminación que proviene de un lugar específico e identificable, por ejemplo, los derrames de plaguicidas o la eliminación inadecuada de los contenedores de plaguicidas. En la fuente no puntual, la contaminación proviene de un área amplia, por ejemplo, la deriva (parte de la aspersión del plaguicida que no alcanza el objeto de la aplicación y se dispersa por el viento) o la escorrentía agrícola (Tiryaki y Temur, 2010).

Una vez que el plaguicida se vierte en el medio ambiente, es capaz de movilizarse en todos los compartimentos: agua, aire, suelo y biota. Estos se distribuyen mediante sedimentación, adsorción y volatilización y se degradan por oxidación, reducción, hidrólisis y fotólisis. El proceso de degradación se determina en gran parte por el compartimento –bien sea agua, suelo, atmósfera o biota– en el que se encuentre distribuido el plaguicida; y la fracción del plaguicida que se movilice en cada compartimento depende de las propiedades físico-químicas de cada plaguicida (Linde, 1994; Narváez-Valderrama, *et. al.*, 2012).

Otra causa de preocupación para el ambiente son los plaguicidas de uso elevado y los de elevada persistencia. Entre los plaguicidas de uso elevado se pueden mencionar los insecticidas organofosforados, los herbicidas triazinas, los herbicidas de acetanilida, etcétera (Toth & Buhler, 2009). Entre los de elevada persistencia en el ambiente se encuentran los insecticidas organoclorados. De acuerdo con Ramírez y Lacasaña (2001), los plaguicidas pueden clasificarse como no persistentes cuando la vida media es de 0 a 12 semanas (por ejemplo, malatión y diazinón), moderadamente persistentes de 1-18 meses (por ejemplo, paratión), persistentes menos de 20 años (por ejemplo, DDT y aldrín) y permanentes más de 20 años (por ejemplo, productos mercuriales y arsenicales).

Solventes orgánicos (incluidos alcoholes)

El destino ambiental de los solventes en el agua depende de su solubilidad. Mientras más soluble en agua sea el solvente, mayor es la probabilidad de que este pase de los residuos hacia el agua subterránea, aunque también mayor será su distribución en los cuerpos superficiales de agua, como, ríos o lagos. La solubilidad en agua, también determina la capacidad de los solventes para volatilizarse hacia la atmósfera y también para precipitarse desde la atmósfera hacia el suelo, el agua y la biota. En el agua, los principales procesos que pueden ocurrir son hidrólisis, biodegradación y fotólisis (Walker, *et. al.*, 2012) A diferencia de otros agentes tóxicos, el comportamiento ambiental de los solventes puede ser afectado por la concentración de oxígeno. Por ejemplo, la vida media del benceno es de 10 días en presencia de oxígeno y de hasta de 2 años en ausencia de oxígeno (Roy, 2014).

Mientras que, en el aire, la reacción más importante parece ser la fotooxidación con radicales hidroxilo (OH), mediante la cual los solventes pueden generar productos secundarios como aldehídos, cetonas y nitratos. Las reacciones con el ozono son lentas. Algunos solventes, como el tetracloruro de carbono, pueden ser resistentes a la degradación en el aire (Roy, 2014). En el suelo, el principal destino ambiental es la adsorción por materia orgánica, en especial de los solventes derivados del benceno y los compuestos clorados. Los solventes adsorbidos por la materia orgánica quedarían prácticamente inmóviles en el suelo, a menos que éste contenga menos de 1gr de materia orgánica/kg de suelo (Roy, 2014).

Contaminantes orgánicos persistentes (COP)

Los COP se definen precisamente por su destino ambiental: son persistentes, tienen resistencia a la fotólisis y a la degradación biológica, se bioacumulan y tienen la capacidad de migrar grandes distancias desde su fuente original (Wenning, 2014).

Los COP, asimismo, son hidrofóbicos y lipofílicos, por lo que en el agua y en el suelo se unen a la materia orgánica y en los seres vivos se acumulan en la grasa. Los COP también pueden volatilizarse desde el suelo, el agua y la biota; se absorben fácilmente en el tejido graso, donde las concentraciones pueden aumentar hasta 70,000 veces los niveles de fondo. Los peces, las aves depredadoras, los mamíferos y los seres humanos

están en la cadena alimentaria y absorben las mayores concentraciones. Como consecuencia de su capacidad de viajar grandes distancias y su bioacumulación, los COP pueden encontrarse en personas y animales que viven en regiones como el Ártico, a miles de kilómetros de cualquier fuente importante (Jasper, 2014; Jones y Voogt, 1999).

Por otra parte, se ha establecido que la deposición desde el aire es la principal ruta de entrada de los COP a los cuerpos de agua superficiales, seguida de los efluentes desde fábricas y desechos municipales que se depositan en el fondo de los cuerpos de agua y se unen a coloides en el sedimento. La unión a coloides disminuye la disponibilidad de las partículas de los COP para los organismos acuáticos, pero facilita la migración de los contaminantes (Wenning, 2014).

Compuestos orgánicos volátiles (COV) y gases irritantes y asfixiantes

Los gases irritantes y asfixiantes se clasifican con base en los efectos para la salud; aunque en este capítulo se abordarán junto a los COV ya que –desde el punto de vista ambiental– tanto los gases como los COV durante su destino ambiental se consideran contaminantes del aire. Incluso agentes abordados previamente, como los solventes orgánicos, se consideran en el grupo de COV con base en su presión de vapor. De los gases, son relevantes los que tienen efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano y los clorofluorocarbonos, que pueden degradarse por fotólisis, pero su principal problema a nivel ambiental es que son capaces de absorber y reflejar la radiación infrarroja (Sánchez y Alcántara s.f).

Según Sánchez y Alcántara (s.f), los COV se pueden clasificar así:

- Compuestos clase A: pueden causar daños significativos al medio ambiente durante su transporte y destino ambiental, como, por ejemplo: el acetaldehído, la anilina y el tricloroetileno, etc.
- Compuestos clase B: tienen menor impacto en el medio ambiente; pertenecen a este grupo, entre otros, la acetona y el etanol.

En primer lugar, algunos COV son destructores del ozono, como el tetracloruro de carbono. La liberación de COV en el aire puede compararse sobre la base de su capacidad para formar ozono en relación con el etileno, también denominado factor de producción de ozono troposférico (PCOP). El PCOP de los alquenos es 84; hidrocarburos aromáticos, 76; aldehídos, 44; y alcoholes, 20 (Radheshyam, 2018).

Hay que tener en cuenta que el ozono es una molécula muy reactiva que sigue reaccionando con otros contaminantes presentes en el aire y acaba formando un conjunto de varias decenas de sustancias distintas, como nitratos de peroxiacilo (PAN), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radicales hidroxilo (OH), formaldehído, etc. Algunos COV, especialmente los de alto peso molecular, superan los procesos de oxidación y se vuelven persistentes, siendo adsorbidos sobre partículas y transportados a largas distancias (Radheshyam, 2018).

Otro punto por señalar es que los COV, en conjunto con los óxidos de nitrógeno y la luz solar, son precursores del ozono a nivel de suelo (ozono troposférico), que es perjudicial para la salud y asimismo puede producir el llamado esmog fotoquímico, que consiste en una mezcla de contaminantes de origen primario (NO_x e hidrocarburos volátiles) con otros contaminantes secundarios generados a partir de la fotólisis de los primeros (ozono, peroxiacilo, radicales hidroxilo, etc.) Esta niebla tiene un color marrón rojizo y oscurece el aire de las ciudades (Sánchez y Alcántara, s/f; Radheshyam, 2018).

Términos clave



- Bioacumulación
- Biodegradación
- Contaminantes
- Degradación ambiental
- Deposición ambiental
- Destino ambiental
- Fotólisis
- Fuente de contaminación
- Hidrólisis
- Persistencia ambiental
- Transporte ambiental



Contaminación por mercurio en la minería artesanal

La minería artesanal es una forma de vida para miles de familias en América Latina; según el país, los mineros artesanales se denominan barranquilleros, güiriseros o garimpieros. Algunas de las zonas con mayor actividad minera artesanal son el departamento de Chocó en Colombia, el arco minero del Orinoco en Venezuela, Querétaro en México y la región de Madre de Dios en Perú.

Los mineros artesanales realizan la extracción del oro mediante la utilización de mercurio. En este proceso se mezclan las arenas finas ricas en oro con el mercurio elemental, un líquido a temperatura ambiente. El mercurio atrapa el mineral formando una masa denominada amalgama. Una vez obtenida la amalgama, esta se somete a presión para retirar el exceso de mercurio y luego se calienta evaporándose el mercurio restante para así obtener el oro.

Usualmente el procedimiento se realiza en los ríos y aproximadamente 90% del mercurio extraído por presión pasa directamente al agua, al calentar el mineral el vapor de mercurio pasa al aire, de donde puede precipitarse hacia el suelo o el agua. Del suelo, parte del mercurio se filtra hacia el agua subterránea. Una vez en el agua, el mercurio precipita a los sedimentos donde, por acción de las bacterias, se convierte en metilmercurio (MeHg), que es absorbido por el plancton y, de esta manera, ingresa en la cadena alimenticia acuática.



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, responda las siguientes preguntas:

1. Identifique las fuentes de contaminación y los mecanismos de transporte utilizados por el mercurio para llegar a los diferentes medios ambientales.
2. En el caso se menciona que el mercurio en los sedimentos se transforma en metilmercurio. ¿Quién cree que realiza esta transformación del mercurio inorgánico en mercurio orgánico? ¿Cuáles son las consecuencias de esta transformación?
3. Comente cuáles son los principales riesgos del uso de mercurio en la minería artesanal y en la pequeña minería.



RESUMEN

En este capítulo se abordaron los procesos mediante los cuales los agentes tóxicos, una vez en el ambiente, se transportan y degradan. Las principales fuentes de agentes tóxicos en el aire son fuentes móviles (automóviles), en el agua que son vertidos en aguas residuales domésticas, seguidos de las descargas de plantas de fabricación y escorrentías agrícolas, así como en el suelo por la aplicación de agroquímicos y la acumulación de residuos domésticos e industriales.

Los mecanismos de transporte “dentro de un mismo compartimento” son advección, difusión y dispersión; y el transporte “entre diferentes compartimentos” se produce además de los mecanismos anteriores, por deposición, infiltración y bioconcentración. Los mecanismos de degradación incluyen hidrólisis, fotólisis y biodegradación. Todos estos procesos se determinan tanto por la dinámica propia de cada compartimento ambiental como por las propiedades fisicoquímicas del agente en particular.

En cuanto al destino ambiental, es posible asegurar que los metales pesados generan preocupación porque no son biodegradables y, por tanto, son persistentes en el ambiente. Los plaguicidas de uso elevado y los de elevada persistencia pueden acumularse en todos los compartimentos ambientales alterando los ecosistemas. Asimismo, los solventes orgánicos, los COV y los gases, al degradarse en el ambiente, alteran el equilibrio del ozono en la atmósfera y pueden generar gases con efecto invernadero causando desequilibrios ambientales como el efecto invernadero o el smog fotoquímico. Por todo ello, es imprescindible un manejo adecuado de los residuos, lo cual se abordará en el siguiente capítulo.



CUESTIONARIO

1. Relacione los mecanismos de transporte de los agentes tóxicos en un mismo medio ambiental con su concepto correspondiente, al ubicar la letra que corresponda:

Advección	_____ El contaminante se mueve a favor de un gradiente de concentración.
Difusión	_____ El contaminante se mueve con el aire, agua o suelo, pero al mismo tiempo cada vez ocupa más espacio.
Dispersión	_____ El contaminante es arrastrado por el flujo de aire o agua.

2. Señale verdadero o falso en las siguientes afirmaciones sobre los parámetros fisicoquímicos relevantes para el destino ambiental de los agentes químicos:

- El factor de bioconcentración es un indicador de la cantidad de una sustancia química que se acumula en los organismos vivos_____.
- La tasa de fotólisis es el tiempo que tarda una molécula de un agente tóxico en escindir-se en dos partes por la adición de una molécula de agua__.
- La ley de Henry es la base para la clasificación de los agentes químicos por su volatilidad_____.

3. Sobre el destino ambiental de los metales es posible afirmar que:

- No son biodegradables.
- La solubilidad de los metales en el agua aumenta cuando disminuye el pH.
- La forma metilada del mercurio es más tóxica que el mercurio inorgánico.
- Todas las anteriores son correctas.



CUESTIONARIO

4. Señale tres características del comportamiento ambiental de los contaminantes orgánicos persistentes (COP).

- _____
- _____
- _____

5. Explique brevemente cómo se genera el smog fotoquímico.

6. En colaboración con sus compañeros, elabore un organizador gráfico del destino ambiental del mercurio usado en la minería. En el gráfico identifique claramente la fuente de contaminación, los mecanismos de transporte utilizados por el mercurio para llegar a los diferentes medios ambientales (aire, agua, suelo y biota), así como y los posibles puntos de contacto con las personas.

Referencias

- Agnello, A. C., Bagard, M., VanHullebusch, E.D., Esposito, G. & Huguenot, D. (2016). Comparative bioremediation of heavy and petroleum hydrocarbons co-cotaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation. *Science of the Total Environment*.563-564, 693-703.
- BID (2018). Proceso regional de las Américas. Foro mundial del agua 2018. América Latina y el Caribe. Recuperado de https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/informe_regional_america_latina_y_caribe.pdf
- Cavazos-Arroyo, Judith, Pérez-Armendáriz, Beatriz, & Mauricio-Gutiérrez, Amparo. (2014). Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 11(4), 539-550. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722014000400006&lng=es&tlng=es
- Clean Air Institute (CAI). (2012). La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/La_Calidad_del_Aire_en_Am%C3%A9rica_Latina.pdf
- Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). (1997) Rutas continentales de los contaminantes. Recuperado de <http://www3.cca.org/islandora/es/item/1617-continental-pollutant-pathways-agenda-cooperation-address-long-range-transport-es.pdf>
- Committee on the Design and Evaluation of Safer Chemical Substitutions: A Framework to Inform Government and Industry Decision; Board on Chemical Sciences and Technology; Board on Environmental Studies and Toxicology; Division on Earth and Life Studies; National Research Council. A Framework to Guide Selection of Chemical Alternatives. Washington (DC): National Academies Press (US); 2014 Oct 29. 5, Physicochemical Properties and Environmental Fate. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK253956/>
- Cordy P, Veiga MM, Salih I, Al-Saadi S, Console S, Garcia O, Mesa LA, Velásquez-López PC, Roeser M.. (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. En *Science of The Total Environment*. Volúmenes 410-411, 1 December 2011, pp. 154-160. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711010059>

- Crowley W. Chief Seattle's Speech. (1999). The Online Encyclopedia of Washington State History. HistoryLink.org. Recuperado de: https://web.archive.org/web/20060517111304/http://www.historylink.org/_output.CFM?file_ID=1427
- Costa, D.L. & Gordon, T. (2013). Environmental toxicology: Air Pollution. En Klaassen, C.D., Casarett, L.J & Doull J. *Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons*. 8th. Edition. New York: McGraw-Hill Education.
- EPA . (1999). Understanding Variation in Partition Coefficient, Kd, Values. Volumen II (EPA 402-R-99-004B). Disponible en <https://www.epa.gov/radiation/understanding-variation-partition-coefficient-kd-values>
- FAO. 2019. Conservación de suelos y agua en América Latina y el Caribe. Recuperado de <http://www.fao.org/americas/prioridades/suelo-agua/es/>
- Gautam P.K., Gautam R, Banerjee S, Chattopadhyaya M & Pandey J. (2016). Heavy metals in the environment: fate, transport, toxicity and remediation technologies. En Pathana D. *Heavy metals*. India, Nava Science Publishers, Inc. pp. 1-23.
- Jaspers, V.; Megson, D. & O'Sullivan, G. (2014). POPs in the Terrestrial Environment. Environmental Forensics for Persistent Organic Pollutants, pp. 291-356.
- Jones, K.C. & De Voogt, P. (1999). Persistent organic pollutants (POPs): state of the science. Environmental Pollution 100 (1-3) pp.209 -221.
- Linde, C.D. (1994). Physico-Chemical Properties and Environmental Fate of Pesticides. Disponible en <http://www.panna.org/sites/default/files/eh9403.pdf>
- Martín-Olmedo, P., Carroquino-Saltó, MJ., Peña-Fernández, A., Duarte-Davidson, R,, Ordóñez-Iriarte, JM & Martín-Olmedo, Piedad. (2016). Risk characterization (in Spanish). La evaluación de Riesgos en salud. Guía metodológica. Aplicaciones prácticas de la Metodología de la evaluación de Riesgos en Salud por Exposición a Químicos. En: The Health Risk Assessment. Methodological Guide, Edition: Serie "De aeribus, aquis et locis", nº 3., Chapter: 5, Publisher: Sociedad Española de Sanidad Ambiental. pp.127-152.
- Narváez-Valderrama, J.F.; Palacio-Baena, J.A. y Molina-Pérez, F.J. (2012). Persistencia de los plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad. En Gestión Ambiental, Volumen 15, Número 3, pp. 27-38.
- ONU. (2019). Noticias ONU. Cómo la basura afecta el desarrollo de América Latina. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>.

- Pachana, K.; Wattanakornsiri, A. & Nanuam, J. (2010). Heavy Metal Transport and Fate in the Environmental Compartments. En *NU Science Journal*, 2010; 7(1): 1-11.
- Ramírez, J.A. y Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. En *Arch Prev Riesgos Labor* 2001;4(2):67-75.
- Roy, W.R. (2014). Environmental impact of solvents. The environmental fate and movement of organic solvents in water, soil, and air. En *Handbook of Solvents*; Elsevier, pp. 361-412.
- Sánchez, J.M. y Alcántara, A. (s/f). Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. En *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*. Disponible en <https://www.analesranf.com/index.php/mono/article/download/605/622>
- Shields, W.J. et. al. (2014). Atmospheric Fate and Behavior of POPs. En *Environmental Forensics for Persistent Organic Pollutants*, pp. 199-289.
- Tiryaki, O. y Temur, C. (2010). The fate of pesticide in the environment. En *J Biol Environ Sci* 4(10), pp. 29-38.
- Toth, S.J. y Buhler, W.G. (2009). Environmental effects of pesticides. Department of Entomology and Horticultural Science, North Carolina State University.
- Velásquez-Arias, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151 - 167.
- Walker, C.H., Sibly, R.M., Hopkin, S.P. (2012). *Principles of Ecotoxicology*. 4th Edition. CRC Press (Taylor & Francis).
- Wenning, R.J. & Martello, L. (2014). POPs in Marine and Freshwater Environments. En *Environmental Forensics for Persistent Organic Pollutants*, pp. 357-390.
- Wilson D.G (1976) A brief history of solid-waste management, *International Journal of Environmental Studies*, 9:2, 123-129.

*“El agua y el aire, los dos fluidos
esenciales de los que depende la vida,
se han convertido en latas
globales de basura”.*

(Jacques-Yves Cousteau 1910-1997)





CAPÍTULO 20

Gestión integral de residuos

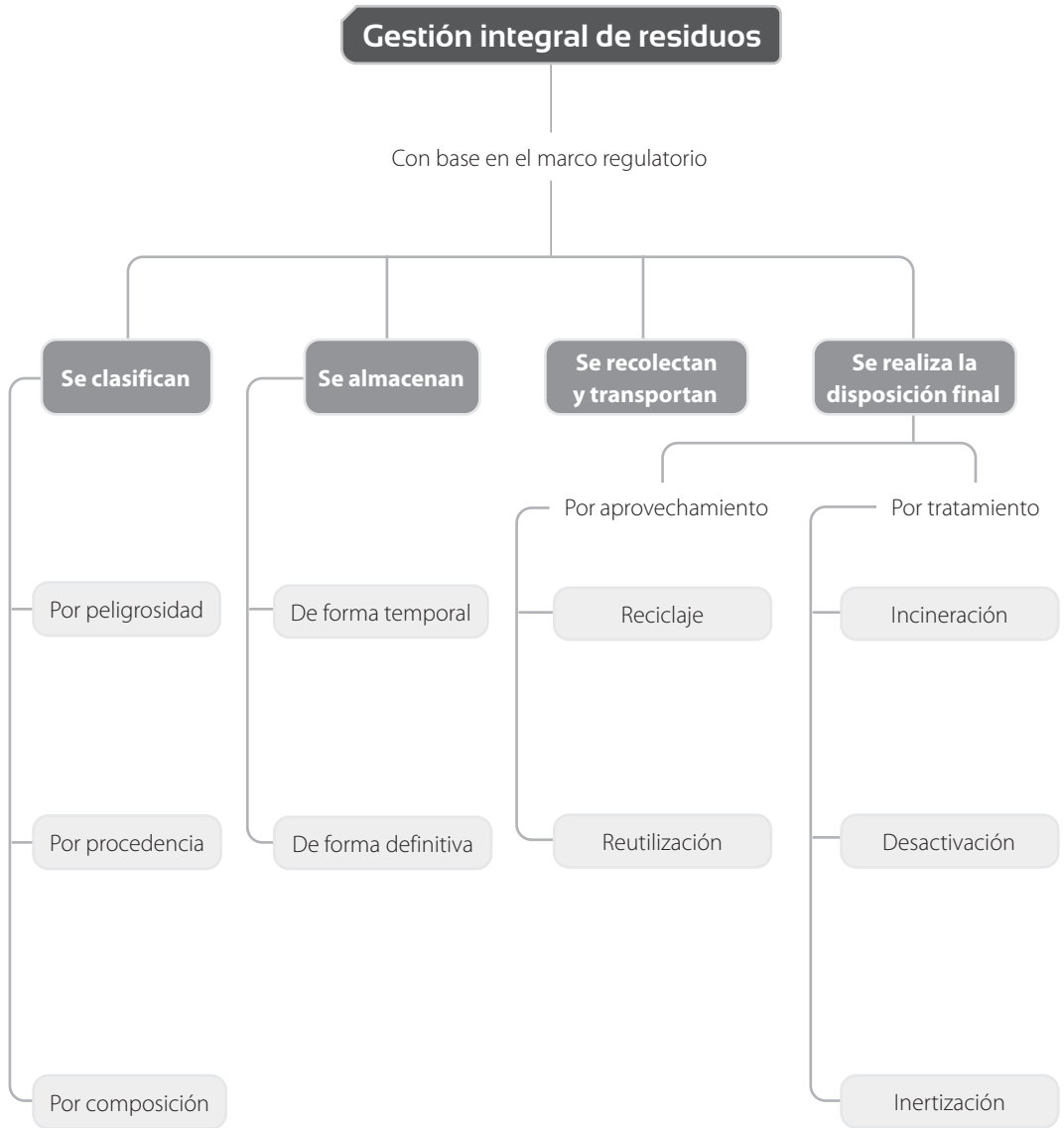
Teresa Rodríguez Altamirano

Objetivos de aprendizaje

Al terminar este capítulo, el estudiante podrá:

- Conocer la base normativa para el manejo de residuos.
- Clasificar los residuos según su estado físico, procedencia y peligrosidad.
- Identificar rutas para una gestión adecuada de los residuos sólidos urbanos, peligrosos y hospitalarios.
- Recomendar acciones adecuadas y planes para reducir el impacto negativo de los residuos.

Figura 20.1 Mapa conceptual sobre gestión de residuos



Introducción

Los residuos domésticos continúan siendo la principal fuente de residuos urbanos en América Latina y el Caribe. De acuerdo con la ONU Medio Ambiente (2018), la generación de residuos en América Latina y el Caribe es de 541.000 t/día. De este total, 145.000 t/día se destinan todavía a basurales, quema u otras prácticas inadecuadas (45%). Hernández-Berriel, *et al.*, (2016) realizaron un análisis de los residuos sólidos en diferentes ciudades de cinco países de la región (Paraguay, Colombia, Perú, Ecuador y México), donde se evidencia que los residuos alimenticios constituyen el mayor porcentaje de los residuos urbanos. El porcentaje con base húmeda de residuos alimenticios oscila entre 26,5% en Vicente Guerrero, México y 77% en Cartagena, Colombia; los plásticos oscilan entre 3,9% en Asunción, Paraguay y 15,3% en San Quintín, México; los papeles y cartones de 5,2% en Mataucana, Perú a 21,9% en Ensenada, Ecuador; los metales de 0,7% en Ensenada, Ecuador a 2,4% en Mataucana, Perú y el vidrio de 2,1% en Trujillo, Perú a 4,4% en Ensenada, Ecuador.

El promedio regional de cobertura de población con acceso al servicio de recolección de residuos es 89,9%. Los países de la región tienen importantes avances en la legislación para la regulación de la disposición adecuada de los residuos; sin embargo, se carece de las plantas de tratamiento o de personal para la supervisión y control. Algunos residuos, como residuos hospitalarios, residuos peligrosos o residuos de aparatos electrónicos son desechados en los botaderos sin recibir el tratamiento adecuado (ONU Medio Ambiente, 2018).

En este capítulo, se abordarán las generalidades de los sistemas de gestión de residuos, así como las particularidades de la gestión de los residuos hospitalarios y de los residuos peligrosos.

Definición y clasificación general de los residuos

Los residuos son sustancias u objetos que se eliminan, que se pretende eliminar, o que deban ser eliminados de acuerdo con las disposiciones de la legislación nacional (UNEP s.f., Convenio de Basilea). La clasificación de los tipos de residuos se describe en los siguientes apartados.

Por su peligrosidad

El residuo peligroso es aquel que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo a la salud humana y el ambiente. Asimismo, se consideran residuos o desechos peligrosos los envases, empaques o embalajes que hayan estado en contacto con ellos (Decreto 2676, 2000). La generación, la gestión y los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos deben realizarse de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Convenio de Basilea.

Residuos no peligrosos

Son aquellos producidos por un generador en cualquier lugar y en desarrollo de sus actividades, y no presentan ningún riesgo para la salud humana o el medio ambiente (Decreto 2676, 2000). Los residuos no peligrosos se clasifican como sigue.

- **Biodegradables:** restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente; algunos ejemplos son: vegetales, residuos alimenticios, papeles no aptos para reciclaje, jabones y detergentes biodegradables, madera y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente (Decreto 2676, 2000).
- **Reciclables:** no se descomponen fácilmente y pueden volver a ser utilizados en procesos productivos como materia prima; algunos ejemplos son: papel, plástico, chatarra, telas y radiografías (Decreto 2676, 2000).
- **Inertes:** no permiten su descomposición, ni su transformación en materia prima y su degradación natural requiere grandes periodos; algunos ejemplos son: icopor (poliestireno), papel carbón y los plásticos (Decreto 2676, 2000).
- **Ordinarios o comunes:** generados en el desempeño normal de las actividades. Estos residuos se producen en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías; en general, en todos los sitios del establecimiento del generador (Decreto 2676, 2000).

Por su procedencia

- **Residuos agrícolas:** producidos a partir de la cría de animales y el cultivo de plantas para la alimentación; algunos ejemplos son: estiércol, tallos de plantas, cáscaras y hojas (Tchobanoglous, 1993).
- **Residuos de construcción y demolición:** producto del proceso de construcción, demolición o reparación de viviendas, edificios comerciales, carreteras, puentes, entre otros (Tchobanoglous, 1993).
- **Residuos industriales:** residuos sólidos que resultan de los procesos industriales y de fabricación (Tchobanoglous, 1993).

Por biodegradabilidad

- **Residuos orgánicos biodegradables:** se caracterizan por desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica.

Los residuos también pueden clasificarse con base en si pueden o no ser reparados, reutilizados o reciclados:

- **Residuo sólido aprovechable:** cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso para quien lo genera, pero que es susceptible de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo (PNUMA/UNITAR, 2013).
- **Residuo no aprovechable:** todo material o sustancia que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación a un proceso productivo. No tienen ningún valor comercial, por lo tanto, requieren disposición final (PNUMA/UNITAR, 2013).

Gestión integral de residuos (GIRS)

La GIRS se refiere al conjunto de políticas, disposiciones, normas, instituciones y personas que actúan en los procesos de selección, transporte, valorización y la eliminación de los residuos, incluida la vigilancia de estas operaciones y el cuidado posterior de los vertederos controlados. Se denomina gestión integral porque

las disposiciones asumen un enfoque estratégico para una gestión sostenible de los residuos sólidos, con énfasis en la maximización de la eficiencia de recursos (PNUMA/UNITAR, 2013).

Actualmente, en la mayoría de los países latinoamericanos la gestión de residuos está enfocada en reducir los volúmenes finales con base a tratamiento, lo cual es caro y requiere presupuestos altos para su ejecución. La propuesta de una gestión integral es enfocarse en la valorización de recursos y materiales; así, se logran reducir los volúmenes finales y se obtienen ingresos para financiar la disposición final de los residuos que no sean aprovechables (PNUMA/UNITAR, 2013).

La Gestión Integral de los Residuos se basa en el principio de las 3R: reducir, reutilizar y reciclar.

Marco normativo para la gestión de residuos en América Latina

El marco normativo tiene como referente las recomendaciones establecidas en los convenios internacionales por medio de los cuales se promueve la adecuada gestión de los residuos (ONU Medioambiente, s,f). Los más importantes son el convenio de Basilea, el Convenio de Estocolmo y el Protocolo de Montreal. También son tenidos en cuenta Objetivos de Desarrollo Sostenibles y las recomendaciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). En el cuadro 20.1 se presenta un resumen de las recomendaciones de los convenios internacionales.

Cuadro 20.1 Referentes internacionales para el marco normativo de la gestión de residuos

Convenio	Relación con la gestión de residuos
<p>Convenio de Basilea</p> <p>Sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación</p>	<p>Las disposiciones relacionadas con la gestión de residuos se detallan en el artículo 4, entre las cuales se destacan las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos. Establecer instalaciones adecuadas de eliminación para los desechos peligrosos y otros desechos. Minimizar el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y otros desechos. Requerir que los desechos peligrosos y otros residuos objeto de un movimiento transfronterizo se manejen de manera ambientalmente racional.
<p>Convenio de Estocolmo</p> <p>Sobre contaminantes orgánicos persistentes</p>	<p>Su objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs).</p> <p>Las disposiciones relacionadas con la gestión de residuos se incluyen en el artículo 6, entre las más relevantes se pueden mencionar las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los residuos que contengan o estén contaminados con COPs. • Eliminar los desechos COP de manera que el contenido del COP se destruya o se transforme de forma irreversible. • Evitar cualquier valorización o reutilización del contenido de COP.
<p>Convenio de Viena (1985) y Protocolo de Montreal (1987)</p> <p>Acuerdos para la protección de la capa de ozono</p>	<p>En estos acuerdos se propone la destrucción de las sustancias agotadoras de la capa de ozono por incineración en hornos.</p>
<p>La Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible</p>	<p>-Establece en el objetivo 12, garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles y la reducción de residuos a través de impulsar el consumo responsable y a través de la aplicación de la prevención de la generación y la promoción del reciclado y otras formas de valorización.</p>
<p>Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fomenta la adopción de medidas que concilien los objetivos en materia de seguridad energética, de protección del medio ambiente y de crecimiento económico. • Trabaja con métodos económicos para luchar contra los peligros que, algunos productos industriales representan para la salud y el medio ambiente (emisiones, residuos, accidentes).

Fuente: elaboración propia con información consultada en PNUMA (s,f) Convenio de Basilea, PNUMA (2001) Convenio de Viena, PNUMA (2010) Convenio de Estocolmo, PNUMA (2016) Protocolo de Montreal, OCDE (s.f) y ONU (s.f).

En relación con el marco regulatorio en la región, solo siete países de América Latina cuentan con una ley marco para la gestión de residuos, el resto de los países han derivado decretos y normas de leyes generales de protección al medioambiente o a la salud. Los países que cuentan con una ley marco son: Argentina, Perú, Paraguay, México, Venezuela, Costa Rica y Brasil (véase el cuadro 20.2). Todas las leyes enfatizan la necesidad de hacer una adecuada disposición final de los residuos, con enfoque en la valorización de los residuos y separación en fuente y reciclaje. También consideran estas leyes la necesidad de sostenibilidad financiera de los planes de gestión de residuos y la responsabilidad compartida de los residuos (OPS/AIDIS/BID, 2010).

Cuadro 20.2 Leyes marco sobre gestión de residuos en algunos países latinoamericanos

País	Leyes
Argentina	Ley 24 051. 1991. Residuos Peligrosos. Generación, manipulación, transporte y tratamiento.
Brasil	Ley 12.30. 2010. Política Nacional de Residuos Sólidos.
Costa Rica	Ley 8839. 2010 para la gestión integral de residuos.
México	Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos.
Perú	Ley 28245. Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
Paraguay	Ley 3956/09 sobre gestión integral de residuos sólidos en la república del Paraguay (2003).
Venezuela	Ley de gestión integral de la basura. Ley de residuos y desechos sólidos.

La gestión de residuos, independientemente de su tipo, debe basarse en principios rectores, los cuales se utilizan en el ámbito internacional para el manejo de los residuos, como los principios sobre jerarquía en la gestión de residuos y gestión integrada, responsabilidad extendida del productor, instrumentos económicos, y reducción de los residuos peligrosos (Costa et al., 2017).

- **Jerarquía de la gestión de residuos:** los estamentos para la gestión de residuos, de más favorables a menos favorables,

serán: evitar, minimizar o reducir, recuperación de materiales (reciclar-reutilizar), coprocesamiento (convertir en energía), incineración, pretratamiento físico-químico, rellenos, quema o vertederos no controlados (Costa et al., 2017). La jerarquía se representa mediante una pirámide.

- **Coprocesamiento:** Consiste en la recuperación energética a partir de los residuos, por ejemplo, utilizar residuos en hornos cementeros. Los residuos más usados en coprocesamiento son llantas, harina de huesos y grasa animal, plásticos, aserrín, desechos de madera, papel, cartón, lodos de aguas residuales y biomasa agroindustrial. El coprocesamiento solo puede realizarse si se cumplen determinadas condiciones ambientales y sanitarias derivadas de los convenios de Basilea y Estocolmo. En América Latina, algunos países tienen normativas más estrictas que otros sobre las emisiones permitidas por coprocesamiento, por ejemplo, Chile (Costa et al., 2017).
- **Instrumentos económicos:** el propósito es afectar el comportamiento en relación con la generación y gestión de los residuos. Los instrumentos pueden generar ingresos, por ejemplo, las tarifas cobradas al usuario por concepto de costo de recolección o los impuestos por disposición de residuos en áreas no establecidas para tal fin. Por otra parte, es posible que los instrumentos no generen ingresos, por ejemplo, los subsidios cuando se devuelven los productos (Costa et al., 2017).
- **Responsabilidad extendida del productor:** este principio establece que todos los participantes en el ciclo de vida de un producto tienen responsabilidad sobre los impactos ambientales que se generen (Costa et al., 2017).

Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)

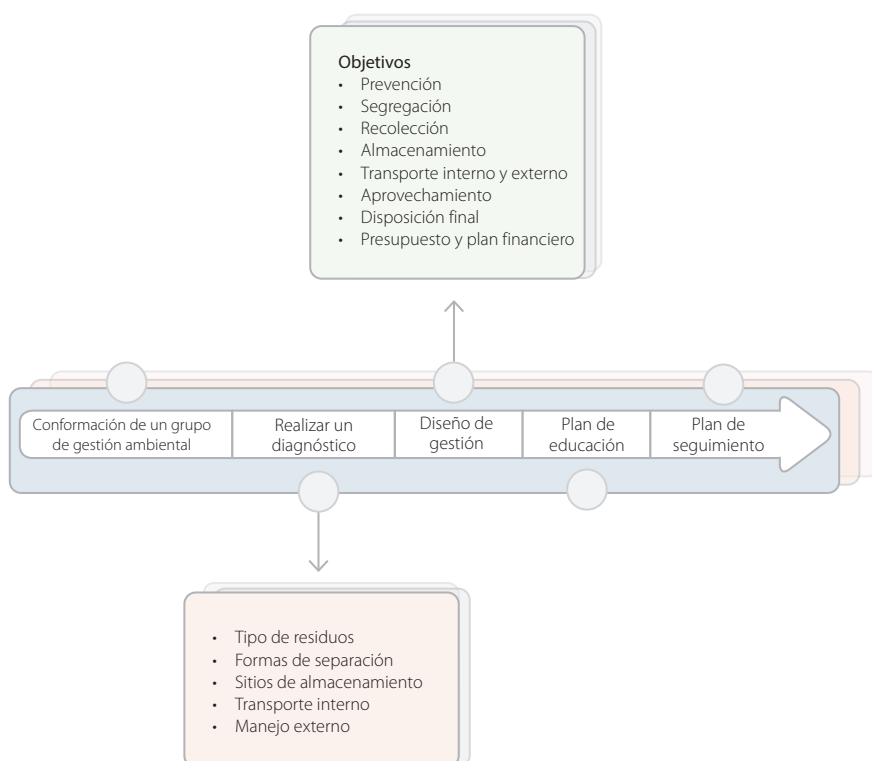
Los residuos sólidos urbanos se generan en grandes cantidades. Así, los residuos orgánicos (putrescibles), que representan entre 60 y 70 por ciento, contienen residuos varios como artículos y bienes domésticos desechados, envases; además, pueden contener residuos sanitarios y residuos peligrosos como plaguicidas,

solventes y desechos farmacéuticos. Los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) son instrumentos de planeación municipal o regional que buscan garantizar el mejoramiento continuo del manejo de los residuos y la prestación del servicio de aseo en los ámbitos municipal o regional. Los PGIRS se centran en los residuos no peligrosos: aprovechables, no aprovechables y especiales. (PNUMA/UNITAR, 2013).

Alcance

El PGRIS ha de incluir todas las etapas de desarrollo del plan; esto es, desde la conformación del grupo de gestión, que debe considerar a todos los actores sociales involucrados, hasta el plan de monitoreo. En la figura 20.2 se describe el alcance del PGRIS.

Figura 20.2 Alcance de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGRIS)



En los siguientes apartados, se describen algunos procesos de la gestión de residuos sólidos.

Separación en origen

Es la separación que se hace entre la fuente los residuos aprovechables y los residuos orgánicos. Es importante porque evita el deterioro de los materiales reutilizables y reciclables, además, facilita el compostaje de los residuos orgánicos. La separación en origen necesita la colaboración activa de toda la población; para ello, se requiere sensibilización y educación pública. Para la separación en origen se utilizan recipientes o bolsas de colores diferentes por cada tipo de residuo, a fin de que puedan diferenciarlos el personal de recolección (véase la figura 20.3) (PNUMA/UNITAR, 2013).

Figura 20.3 Clave de colores de los recipientes para la separación en sitio de los residuos



En América Latina y el Caribe, hay personas que sobreviven en condiciones precarias. De hecho, son trabajadores informales que recolectan residuos en las calles o en los vertederos, lo cual se constituye, en muchos casos, en su única fuente de ingresos. Según el país, a estos recolectores informales de residuos se les conoce como pepenadores, catadores, cartoneros, cachureros, chamberos, hurgadores o segregadores. De acuerdo con la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010, se estimó que en América Latina hay 8,57 segregadores por cada 10.000. En algunos casos, las viviendas de los segregadores sirven de centros de acopio de materiales reciclables (OPS/AIDIS/BID, 2010).

Transporte interno y externo

Se transportan los residuos con destino a las estaciones de transferencia, plantas de clasificación, reciclado, valorización energética o vertedero. Normalmente han de estar dotados con sistemas de compactado de la basura para optimizar su transporte. En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, el transporte de residuos urbanos es responsabilidad de las municipalidades (OPS/AIDIS/BID, 2010).

Aprovechamiento

Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos. (Decreto 1505 de 2003, artículo 1)

- **Compostaje y la fermentación anaeróbica de los residuos orgánicos:** son una buena alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos. El compost se obtiene de la descomposición aeróbica de residuos orgánicos mediante la reproducción masiva de bacterias y otros microorganismos, que puede ser utilizado como nutriente y estabilizante del suelo ya que ayuda a remediar la carencia de materia orgánica de estos y contribuye físicamente a su fijación, pueden realizarse en los propios hogares (PNUMA/UNITAR, 2013).
- **Vermicompostaje (lombricultura):** produce un compost con mejor aprovechamiento de la materia orgánica, con una mayor concentración de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, que los compost por fermentación bacteriana.
- **Reciclaje:** los residuos compuestos por materiales como papel, cartón, vidrio, distintos tipos de plásticos, maderas y metales, entre otros, pueden ser separados y reaprovechados mediante distintos tipos de tratamiento (PNUMA/UNITAR, 2013).

En general, los países de ALC no cuentan con políticas o estrategias nacionales de reciclaje y pocas experiencias exitosas de compostaje están en funcionamiento en la actualidad. Existen plantas de compostaje en ciudades grandes de México, en

El Salvador existen proyectos en fase piloto en algunos municipios y en Argentina se están utilizando pilas estáticas aireadas que están bajando los costos de fabricación del compost (PNUMA/UNITAR, 2013).

Disposición final

- **Relleno sanitario:** consiste en el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos sobre un lecho impermeable, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente y manejo adecuado de gases y lixiviados. Cuenta con proyecto de ingeniería, control de ingreso en la puerta, pesaje y no existen segregadores en el sitio (OPS/AIDIS/BID, 2010).
- **Vertedero controlado:** lugar para la disposición final de los residuos sólidos, que no cuenta con la infraestructura propia de un relleno sanitario, pero incluye algunas medidas de control.
- **Vertedero a cielo abierto:** lugar donde se arrojan los residuos a cielo abierto de manera no controlada sin recibir ningún tipo de tratamiento sanitario. Sinónimo de botadero, vaciadero, tiradero, basurero, etc. (OPS/AIDIS/BID, 2010).

En América Latina y el Caribe, solo 54,4% de la población cuenta con acceso a rellenos sanitarios; 18,5% hace disposición final en vertederos controlados; 23,3% de la población utiliza vertederos a cielo abierto; 2% hace quemar a cielo abierto, y 1,8% adicional se arroja en cuerpos de agua o se utiliza como alimento para animales y otras práctica inadecuadas. El tratamiento térmico de los residuos no es usual en la región debido a los altos costos; de hecho, solo Brasil y algunas islas del Caribe cuentan con incineradores de residuos sólidos urbanos (OPS/AIDIS/BID, 2010).

Gestión integral de residuos peligrosos (Respel)

El crecimiento económico y las nuevas pautas de consumo están generando cada vez mayores cantidades de residuos peligrosos en países que carecen de los sistemas y recursos para su adecuada gestión, como ocurre frecuentemente en América Latina y el Caribe.

El plan de gestión de residuos peligrosos (RESPEL) sigue los mismos principios y pasos que el PGIRS, sin embargo, la definición, clasificación y métodos de disposición están sujetos a los países signatarios, por lo establecido en el Convenio de Basilea.

En términos del Convenio de Basilea se definen como desechos peligrosos:

- Los desechos que pertenezcan a cualquiera de las categorías enumeradas en el Anexo I (cuadros 20.3 y 20.4), a menos que no tengan ninguna de las características descritas en el Anexo III (Cuadro 20.5).
- Los desechos no incluidos en la definición anterior, pero considerados peligrosos por la legislación interna de la parte que sea Estado de exportación, de importación o de tránsito.

Cuadro 20.3 Convenio de Basilea, Anexo I. Corrientes de desechos

Y1	Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos y clínicas.
Y2	Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos.
Y3	Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos.
Y4	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos.
Y5	Desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera.
Y6	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos.
Y7	Desechos, que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y las operaciones de temple.
Y8	Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados.
Y9	Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.
Y10	Sustancias y artículos de desecho que contengan, o estén contaminados por, bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB).

Y11	Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico.
Y12	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.
Y13	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.
Y14	Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan.
Y15	Desechos de carácter explosivo que no estén sometidos a una legislación diferente.
Y16	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos.
Y17	Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos.
Y18	Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.

Fuente: PNUMA (s,f), Convenio de Basilea.

Cuadro 20.4 Convenio de Basilea, Anexo I. Desechos y su composición

Y19	Metales carbonilos.
Y20	Berilio, compuestos de berilio.
Y21	Compuestos de cromo hexavalente.
Y22	Compuestos de cobre.
Y23	Compuestos de zinc.
Y24	Arsénico, compuestos de arsénico.
Y25	Selenio, compuestos de selenio.
Y26	Cadmio, compuestos de cadmio.
Y27	Antimonio, compuestos de antimonio.
Y28	Telurio, compuestos de telurio.
Y29	Mercurio, compuestos de mercurio.
Y30	Talio, compuestos de talio.
Y31	Plomo, compuestos de plomo.
Y32	Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión del fluoruro cálcico.
Y33	Cianuros inorgánicos.

Y34	Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida.
Y35	Soluciones básicas o bases en forma sólida.
Y36	Asbesto (polvo y fibras).
Y37	Compuestos orgánicos de fósforo.
Y38	Cianuros orgánicos.
Y39	Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de clorofenoles.
Y40	Éteres.
Y41	Solventes orgánicos halogenados.
Y42	Disolventes orgánicos, con exclusión de disolventes halogenados.
Y43	Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados.
Y44	Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadioxinas policloradas.
Y45	Compuestos organohalogenados, que no sean las sustancias mencionadas en el presente anexo (por ejemplo, Y39, Y41, Y42, Y43, Y44).

Fuente: PNUMA (s,f), Convenio de Basilea.

Cuadro 20.5 Convenio de Basilea, Anexo III. Lista de características peligrosas

Número NU	Código	Características
1	H1	Explosivos. Por sustancia explosiva o desecho se entiende toda sustancia o desecho sólido o líquido (o mezcla de sustancias o desechos) que por sí misma es capaz, mediante reacción química, de emitir un gas a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la zona circundante.
3	H3	Líquidos inflamables. Por líquidos inflamables se entiende aquellos líquidos, o mezclas de líquidos, o líquidos con sólidos en solución o suspensión (por ejemplo, pinturas, barnices, lacas, etc. Pero sin incluir sustancias o desechos clasificados de otra manera debido a sus características peligrosas) que emiten vapores inflamables a temperaturas no mayores de 60.5°C, en ensayos con cubeta cerrada, o no más de 65.6°C, en ensayos con cubeta abierta. (Como los resultados de los ensayos con cubeta abierta y con cubeta cerrada no son estrictamente comparables, e incluso los resultados obtenidos mediante un mismo ensayo a menudo difieren entre sí, la reglamentación que se apartara de las cifras antes mencionadas para tener en cuenta tales diferencias sería compatible con el espíritu de esta definición.

4.1	4.1	Sólidos inflamables. Se trata de los sólidos, o desechos sólidos, distintos a los clasificados como explosivos, que en las condiciones prevalecientes durante el transporte son fácilmente combustibles o pueden causar un incendio o contribuir al mismo, debido a la fricción.
4.2	H4.2	Sustancias o desechos susceptibles de combustión espontánea. Se trata de sustancias o desechos susceptibles de calentamiento espontáneo en las condiciones normales del transporte, o de calentamiento en contacto con el aire, y que pueden entonces encenderse.
4.3	H4.3	Sustancias o desechos que, en contacto con el agua, emiten gases inflamables. Sustancias o desechos que, por reacción con el agua, son susceptibles de inflamación espontánea o de emisión de gases inflamables en cantidades peligrosas.
5.1	H5.1	Oxidantes. Sustancias o desechos que, sin ser necesariamente combustibles, pueden, en general, al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.
5.2	H5.2	Peróxidos orgánicos. Las sustancias o los desechos orgánicos que contienen la estructura bivalente -o-o- son sustancias inestables térmicamente que pueden sufrir una descomposición autoacelerada exotérmica.
6.1	H6.1	Tóxicos (venenos) agudos. Sustancias o desechos que pueden causar la muerte o lesiones graves o daños a la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel.
6.2	H6.2	Sustancias infecciosas. Sustancias o desechos que contienen microorganismos viables o sus toxinas, agentes conocidos o supuestos de enfermedades en los animales o en el hombre.
8	H8	Corrosivos. Sustancias o desechos que, por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan, o que, en caso de fuga, pueden dañar gravemente, o hasta destruir, otras mercaderías o los medios de transporte; o pueden también provocar otros peligros.
9	H10	Liberación de gases tóxicos en contacto con el aire o el agua. Sustancias o desechos que, por reacción con el aire o el agua, pueden emitir gases tóxicos en cantidades peligrosas.
9	H11	Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos). Sustancias o desechos que, de ser aspirados o ingeridos, o de penetrar en la piel, pueden entrañar efectos retardados o crónicos, incluso la carcinogénesis.
9	H12	Ecotóxicos. Sustancias o desechos que, si se liberan, tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente, debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos.
9	H13	Sustancias que pueden, por algún medio, después de su eliminación, dar origen a otra sustancia, por ejemplo, un producto de lixiviación, que posee alguna de las características arriba expuestas.

Fuente: PNUMA (s,f), Convenio de Basilea.

Envasado, almacenamiento y etiquetado de residuos peligrosos

- **Envases y sus cierres:** deben diseñarse para que se eviten derrames y fabricarse con materiales no susceptibles a ser atacados por el contenido ni formar combinaciones peligrosas (INSHT, 2014).
- **Recipientes destinados a envasar residuos tóxicos y peligrosos:** en estado de gas comprimido, licuado o disuelto a presión deben cumplir con la normativa vigente en dicha materia.
- **Envasado y almacenamiento de los residuos tóxicos y peligrosos:** se realizará de forma que evite generación de calor, explosiones, igniciones, formación de sustancias tóxicas o cualquier efecto que pueda aumentar su peligrosidad o dificultar su gestión.
- **La etiqueta deberá incluir los siguientes datos:**
 - El código de identificación de los residuos que contiene y los pictogramas que se fijarán según el sistema de identificación, que especifique la ley vigente en el país.
 - Nombre, dirección y teléfono del titular de los residuos.
 - Fechas de envasado.
 - La naturaleza de los riesgos que presentan los residuos.
 - El tiempo de almacenamiento de los residuos tóxicos y peligrosos por parte de los productores no podrá exceder de seis meses.

Disposición del residuo

Las opciones de abordaje deben atender el principio fundamental de la minimización de residuos.

Opciones de reducción en la fuente (Martínez., *et. al.* 2005):

- Buenas prácticas de operación.
- Cambios de tecnologías.
- Cambios de materias primas.
- Cambios de productos.

Opciones de reciclado (Martínez., *et. al.* 2005):

- Uso y reuso.
- Recuperación para uso en otro fin.

La disposición final se realiza por el confinamiento en rellenos de seguridad o por inactivación o inertización por medio de tratamientos físicos o químicos. Los rellenos de seguridad consisten en la disposición del suelo mediante obras civiles especialmente diseñadas (Martínez., *et. al.* 2005).

Los tratamientos físicos más utilizados son (Martínez., *et. al.* 2005):

- Filtración.
- Separación por gravedad (sedimentación, centrifugación, floculación y flotación).
- Evaporación.
- Destilación.
- Arrastre con aire o vapor.
- Adsorción en carbón.
- Intercambio iónico.

Los tratamientos químicos más utilizados son (Martínez., *et. al.* 2005):

- **Neutralización:** mediante ajuste del pH utilizando ácidos o álcalis.
- **Precipitación:** por ajuste de pH o agregado de determinados aniones o cationes.
- **Oxidación - reducción:** para cambiar el estado de oxidación del contaminante, modificando
- **Descomposición por oxidación:** consiste en la reacción del contaminante con un oxidante como oxígeno, peróxido, ozono o hipoclorito.
- **Declorinación con metales alcalinos:** el objetivo es remover cloro de compuestos orgánicos clorados. Este es uno de los procedimientos utilizado para el tratamiento de PCBs.

Plan de gestión integral de residuos hospitalarios y similares (PGIRHS)

En principio el PGIRHS, sigue los mismos lineamientos y etapas que el PGRIRS; sin embargo, la gestión de desechos sanitarios plantea retos adicionales: por un lado, está la heterogeneidad en la composición de los residuos; por otro lado, los desechos que contienen material biológico potencialmente infeccioso. Según la OMS (s.f.), de todos los desechos generados por las actividades sanitarias, aproximadamente 80% corresponde a desechos comunes y 20% es material peligroso que puede ser infeccioso, tóxico o radioactivo. Estos desechos implican un riesgo de infección para los pacientes de un hospital, personal sanitario y población en general, así como la liberación en el medio y la propagación de microorganismos farmacorresistentes en los establecimientos sanitarios.

Debido a lo anterior, el PGRIRS difiere de los PGIRS en la clasificación y en la disposición final de los residuos.

En cuanto a la clasificación, además de los residuos ordinarios (que son clasificados y gestionados del mismo modo que los residuos sólidos urbanos), los residuos hospitalarios deben clasificarse y separarse en las siguientes categorías (OMS, 2004):

- **Infecciosos:** desechos que podrían contener patógenos, como cultivos de laboratorio, desechos de pabellones de aislamiento, gasas (torundas), materiales o equipos que hayan estado en contacto con pacientes infectados; excrementos.
- **Patológicos:** contienen tejidos o fluidos humanos, como partes del cuerpo, sangre y otros líquidos corporales; fetos.
- **Punzantes:** agujas, equipos de infusión, bisturís, cuchillos, hojas con filo, vidrios rotos.
- **Farmacéuticos:** productos farmacéuticos que ya caducaron y que no se necesitan, artículos contaminados que contengan o hayan sido contaminados por sustancias farmacéuticas (frascos, cajas).
- **Genotóxicos:** sustancias que contengan desechos que puedan causar daños al ADN, por ejemplo, drogas citostáticas (usadas en terapias contra el cáncer) y sustancias químicas genotóxicas.

- **Sustancias químicas:** reactivos de laboratorio, rollos de películas, desinfectantes que ya caducaron, solventes.
- **Con alto contenido de metales pesados:** baterías, termómetros rotos, dispositivos para medir la presión arterial.
- **Envases presurizados:** cilindros de gas, cartuchos de gas, latas de aerosol.
- **Radioactivos:** sustancias que contienen desechos radioactivos, por ejemplo, líquidos eliminados de radioterapias o investigaciones de laboratorio, cristales contaminados, paquetes de papel absorbente, orina y excremento provenientes de pacientes tratados y con los cuales se ha experimentado con radionúclidos, fuentes selladas.

El manejo adecuado de los residuos sanitarios debe basarse en tres principios básicos: la reducción de los residuos innecesarios, la separación entre residuos ordinarios y peligrosos, así como el tratamiento de los residuos peligrosos; esto, a partir del presupuesto de la institución, de la disponibilidad de la tecnología y del volumen de los desechos a tratar. La responsabilidad inmediata de la gestión de los residuos hospitalarios y similares de forma directa recae sobre el personal de enfermería y el personal de limpieza, los inspectores, los operarios de máquinas y los conductores. Sin embargo, es la gerencia o administración del hospital la responsable del plan en general y se debe encargar de supervisar los aspectos presupuestarios, adquisitivos, legales, de ejecución y de capacitación (OMS, 2004).

En cuanto al tratamiento de los residuos infecciosos, las opciones son (OMS, 2004):

- **Entierro o encapsulamiento:** esto se realiza en cementerios, siempre y cuando se cuente con la autorización de la autoridad correspondiente.
- **Incineración, desinfección con autoclave a vapor o desinfección con microondas:** la destrucción por calor debe realizarse en hornos que soporten altas presiones y temperaturas.
- **Tratamiento químico o mecánico:** la desinfección química se realiza por tratamiento con formaldehído u óxido de etileno.

Los residuos químicos, incluidos medicamentos, remedios y productos farmacéuticos, que no perjudiquen el ambiente y

no dañen la salud se pueden disponer en rellenos sanitarios, de estar en estado sólido y en la red de alcantarillado doméstico si están en estado líquido (OPS, 2010).

Los residuos químicos peligrosos deben disponerse en rellenos sanitarios para sustancias peligrosas si son sólidos y si son líquidos se deben enviar a plantas de tratamiento. No se deben incinerar los residuos que contengan mercurio y los citostáticos deben ser destruidos a 1200 °C (OPS, 2010).

Cuadro 20.4 Leyes marco sobre gestión de residuos hospitalarios en algunos países latinoamericanos

País	Ley o normativa
Argentina	Ley 11.347 (1992) y Decreto 403 (1997) Tratamiento, manipuleo, transporte y disposición final de residuos patogénicos.
Brasil	Resolución 283 (2001) dispone sobre el tratamiento y el destino final de los residuos de los servicios de salud.
Costa Rica	Normas C.C.S.S. de 1999. Reglamento del Seguro de Salud.
Colombia	Decreto 2676 del 2000, expedido por el Ministerio del Medio Ambiente: por el cual se reglamenta la Gestión Integral de los Residuos Hospitalarios y Similares. Resolución 1164 del 2002, expedido por el Ministerio del Medio Ambiente y Salud: por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los Residuos Hospitalarios y Similares.
Ecuador	Registro Oficial 106 (1997) Reglamento de "Manejo de desechos sólidos en los establecimientos de salud de la República de Ecuador.
México	Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (PIWMGL). Norma oficial mexicana que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
Perú	R.M. 217 (2004) MINSA. Resolución Ministerial de la Norma Técnica: 'Procedimientos para el Manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios.

Uruguay	Decreto 135 (1999) La necesidad de establecer normas reglamentarias sobre la gestión de residuos sólidos hospitalarios.
Venezuela	Decreto 2218 (1992) Normas para la clasificación y manejo de desechos en establecimientos de salud.

Términos clave



- Compostaje
- Desechos
- Disposición final
- Gestión de residuos
- Reciclar
- Residuo
- Reutilización
- Revalorización
- Separación
- Tratamiento de residuos



Cajicá: un ejemplo en la gestión integrada de residuos

Cajicá es un municipio del departamento de Cundinamarca (Colombia) ubicado en la provincia Sabana Centro. Ha sido resaltado por ONU Medio Ambiente como una de las cinco ciudades en el mundo, que se destacan por sus éxitos en materia de gestión de desechos sólidos.

El programa de gestión de residuos sólidos de Cajicá tiene 11 años de funcionamiento. El plan inició con una campaña de educación ambiental puerta a puerta a fin de que las familias, empresas y demás generadores de residuos realizaran separación de los residuos aprovechables de los no aprovechables. Se realiza separación de los residuos aprovechables de papel y cartón; residuos aprovechables de plástico y vidrio; residuos orgánicos aprovechables para compostaje y residuos ordinarios no aprovechables.

Además, de la separación, se implementó el Programa de la Caneca Verde, el cual consiste en entregar un recipiente (caneca) verde y una bolsa de abono Bokashi (salvado de trigo fermentado), que se utiliza para evitar los malos olores por la descomposición de la materia orgánica presente en la basura. El propósito de la campaña es concientizar en la necesidad de la separación de los residuos.

Dos días a la semana se realizan 7 rutas de recolección de los residuos orgánicos y estos son dispuestos en la empresa Insumos Biológicos de Colombia (IBICOL LTDA) para la elaboración de fertilizante orgánico. De esta manera Cajicá logra aprovechar cerca de 350 toneladas de desechos orgánicos, más de 20% del total anual.

Los residuos reciclables son recolectados por las asociaciones de recicladores “ARCA” y “AGENFO” apoyadas por el municipio de Cajicá. Aproximadamente 40 toneladas son recolectadas por los recicladores. Se calcula que logra reciclarse 30% de los residuos.

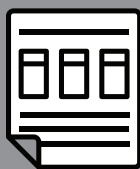
Finalmente, 1.350 toneladas de residuos sólidos no aprovechables son dispuestos en el relleno sanitario de Nuevo Mondoñedo, lo cual representa 25% menos de lo que era depositado previo a la implementación del plan.



ESTUDIO DE CASO

Con base en este caso, resuelva los puntos 1 a 3:

1. ¿Conoce otro ejemplo exitoso de gestión integral de residuos? Coméntelo.
2. A partir de este caso, elabore un esquema que indique cómo se realizó cada una de los procesos de la gestión de los residuos: recolección, separación, transporte y disposición final. ¿Qué mejoras propondría?
3. La campaña de educación popular puerta a puerta, como la campaña de la caneca verde, funciona en ciudades pequeñas, pero no en las grandes ciudades. Mencione 3 estrategias de educación que podrían emplearse para ciudades grandes. Justifique su respuesta.



RESUMEN

La generación de residuos en América Latina y el Caribe es de 541.000 t/día y de estas 145.000 t/día se destinan todavía a basurales, quema u otras prácticas inadecuadas. Actualmente, en la mayoría de los países latinoamericanos la gestión de residuos está enfocada en reducir los volúmenes finales con base en el tratamiento. No obstante, la propuesta de una gestión integral es enfocarse en la valorización de recursos y materiales.

La gestión integral de los residuos tiene como referente las recomendaciones establecidas en los convenios internacionales, en especial el Convenio de Basilea, solo 7 de los países latinoamericanos cuentan con una ley marco y en el resto de países se han derivado normas y decretos de las leyes generales de ambiente y salud para regular la gestión de los residuos.

Los planes de gestión de residuos, independientemente de su tipo PGRIS, RESPEL o PGIRHS, se basan en el principio de jerarquía en la gestión de residuos, el principio de gestión integrada, la responsabilidad extendida del productor; los instrumentos económicos para estimular o castigar y la reducción de los residuos peligrosos.

A pesar de los esfuerzos en planificación y en los avances en regulación, casi la mitad de la población latinoamericana hace un manejo inadecuado de los residuos. En general, los países de ALC no cuentan con políticas o estrategias nacionales de reciclaje y pocas experiencias exitosas de compostaje se encuentran en funcionamiento en la actualidad.



CUESTIONARIO

1. Relacione cada concepto con el tipo de residuo correspondiente.

Restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente.		a. Residuo peligroso
No permiten su descomposición, ni su transformación en materia prima y su degradación natural requiere grandes períodos de tiempo.		b. Residuo biodegradable
Todo material o sustancia que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación a un proceso productivo.		c. Residuo inerte
Residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo a la salud humana y el ambiente.		d. Residuo orgánico no aprovechable

2. ¿Cuál de las siguientes opciones se considera menos favorable en la jerarquía de gestión de residuos?

- a.** Minimizar/reducir.
- b.** Vertederos no controlados.
- c.** Recuperación de materiales.
- d.** Coprocesamiento.
- e.** Incineración.

3. Mencione 5 ejemplos de aprovechamiento de residuos.

4. Identifique un procedimiento utilizado para la inactivación o inertización de los residuos peligrosos.

- a.** Filtración.
- b.** Separación por gravedad.
- c.** Adsorción en carbón.
- d.** Intercambio iónico.
- e.** Todos los anteriores.



CUESTIONARIO

5. Explique brevemente de qué manera pueden ser tratados los residuos hospitalarios infecciosos.

6. Complete con sus respectivas denominaciones los principios rectores de la gestión integrada de residuos:

Este principio establece que todos los participantes del ciclo de vida de un producto tienen responsabilidad sobre los impactos ambientales que este genere _____.

Consiste en la recuperación energética a partir de los residuos _____.

7. Con el apoyo de sus compañeros elabore un bosquejo de PGRIS para un área que usted seleccione (por ejemplo, una escuela, un barrio).

Referencias

- Decreto 2676. (2000). Ministerio del Ambiente y Ministerio de Salud de Colombia. Reglamento de la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares. Recuperado de <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-2676-de-2000.pdf>
- Decreto 1505. (2003). Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de Colombia. Recuperado de http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/decreto-1505-de-2003.pdf
- Decreto 403/97. (1997). Reglamentario de la Ley 11.347, que regula la generación, el manipuleo, transporte, tratamiento y disposición final de los Residuos Patogénicos. Gobernador de la provincia de Buenos Aires. Recuperado de <http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/97-403.html>
- Hernández-Berriel, M., Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P., Lima-Morra, R., Eljaiek-Urzola, M., Márquez-Benavides, L., & Buenrostro-Delgado, O. (2016). Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 11-22.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2014). Almacenamiento de Productos químicos. Orientaciones para la identificación de los requisitos de seguridad en el almacenamiento de productos químicos peligrosos. Recuperado de <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/Higiene/Almacenamiento%20de%20productos%20quimicos.pdf>
- Jáuregui P. Comandante Cousteau. (s.f.) La mente del visionario. Recuperado de https://www.elmundo.es/especiales/2010/06/ciencia/jacques_cousteau/filosofia.html
- Ley 24 051. 1991. Residuos Peligrosos. Generación, manipulación, transporte y tratamiento. Recuperado de <http://www.prosap.gov.ar/docs/UAS-24051yDecreto831Residuos.pdf>
- Manual de procedimientos para la gestión integral de los residuos hospitalarios en Colombia. Recuperado de <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/documentos/manuales/PGIRH%20MinAmbiente.pdf>
- Martínez, J., Mallo, M., Lucas, R., Álvarez, J., Salvarrey, A., Gristo P. (2005) Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. Recuperado de http://www.cempre.org.uy/docs/biblioteca/guia_para_la_gestion_integral_residuos/gestion_respel01_fundamentos.pdf
- Montevideo ambiente. (2018). Manual de vermicompostaje. Como reciclar nuestros residuos orgánicos. Recuperado de <http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>

- Nathanson JA. Solid-Waste Management. (2018). Encyclopædia Britannica, inc. Recuperado de <https://www.britannica.com/technology/solid-waste-management>
- OCDE. (s.f). El trabajo de la OCDE. Recuperado de <https://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/eltrabajodelaocde.htm>
- ONU. (s.f). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- ONUMedioambiente.(s.f).Tiposdecontaminación.Desechosólidos.Recuperado de <https://web.unep.org/environmentassembly/es/desechos-s%C3%B3lidos>
- OMS. (S.f). Noticias en salud. Desechos médicos. Recuperado de https://www.who.int/topics/medical_waste/es/
- OMS. (2004). Gestión de desechos médicos. Recuperado de https://www.who.int/topics/medical_waste/gestion_desechos_medicos.pdf?ua=1
- ONU Medioambiente. (2018). Cómo la basura afecta al desarrollo de América Latina. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>
- OPS. (2010). Curso de autoaprendizaje. Control de riesgos sanitarios y gestión adecuada de residuos de establecimientos de atención en salud. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/index.html
- PNUMA. (s.f) Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos. Recuperado de <http://www.basel.int/portals/4/basel%20convention/docs/text/baselconventiontext-s.pdf>
- PNUMA. (2010). Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánico persistentes (COP). Recuperado de https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/treaties/es/unep-pop/trt_unep_pop_2.pdf
- PNUMA. (2001). Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono. Recuperado de <https://unep.ch/ozone/spanish/vc-text-sp.pdf>
- PNUMA. (2016) Protocolo de Montreal. <https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/mp-handbook-2016-spanish.pdf>
- PNUMA/UNITAR. Guía para la elaboración de estrategias nacionales de gestión de residuos. Avanzar desde los desafíos hacia las oportunidades. (2013). Recuperado de http://cwm.unitar.org/publications/publications/cw/wm/UNEP_UNITAR_NWMS_Spanish.pdf

- Programa Interinstitucional de Gestión Racional de los Productos Químicos (IOMC). Guía para la elaboración de estrategias nacionales de gestión de residuos. Avanzar desde los desafíos hacia las oportunidades. Recuperado de http://cwm.unitar.org/publications/publications/cw/wm/UNEP_UNITAR_NWMS_Spanish.pdf
- Rondón-Toro E, Szantó-Narea M, Pacheco JF, Contreras E, Gálvez A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. *Manuales de la CEPAL* N° 2. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40407>
- Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires. (1992). Tratamiento, manipuleo, transporte y disposición final de Residuos Patogénicos. Recuperado de <http://www.opds.gba.gov.ar/sites/default/files/LEY%2011347.pdf>
- Spiegel J and Maestre LY. Control de la contaminación ambiental. En: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Recuperado de <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/55.pdf>
- Tchobanoglous G., Vigil, S.A. and Theisen, H. (1993). *Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill International Editions.
- OPS/AIDIS/BID. (2010). Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe.
- UNEP. (2005). *Integrated Waste Management Scoreboard – a Tool to Measure Performance in Municipal Solid Waste Management – Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill International Editions.

Créditos fotográficos

Cubierta

Shutterstock_585245144.
Shutterstock_1438600409.
Shutterstock_564089995.
Shutterstock_597356093.
Shutterstock_191370449.
Shutterstock_729061240.

Capítulo 1

Shutterstock_569077048.
Shutterstock_65770153.
Shutterstock_1038117010.

Capítulo 2

Shutterstock_761570632.
Shutterstock_108488321.
Shutterstock_246919222.
Shutterstock_261398192.
Shutterstock_604552412.
Shutterstock_696050821.
Shutterstock_761570632.
Shutterstock_1057540331.
Shutterstock_1182875716.

Capítulo 3

Shutterstock_1111345550.
Shutterstock_108166628.
Shutterstock_221669437.
Shutterstock_464353631.
Shutterstock_769176202.
Shutterstock_1019087455.
Shutterstock_1208176615.
Shutterstock_671365783.
Shutterstock_761724043

Capítulo 4

Shutterstock_155019233.

Capítulo 5

Shutterstock_405389191.
Shutterstock_600985121.
Shutterstock_1141301618.
Shutterstock_1258677196.

Capítulo 6

Shutterstock_270524135.
Shutterstock_557610136.

Capítulo 7

Shutterstock: Páginas 124–125; figuras, 6.3 y 6.4.
Shutterstock_457119424.
Shutterstock_1091415611.

Capítulo 8

Shutterstock_1208067406.
Shutterstock_1171919635.

Capítulo 9

Shutterstock_1226404975.
Shutterstock_270524135.

Capítulo 10

Shutterstock_607347725.

Capítulo 11

Shutterstock_1392705017.
Shutterstock_1077174368.
Shutterstock_13627999.
Shutterstock_106405871.
Shutterstock_116089447.
Shutterstock_191370449.
Shutterstock_233155075.
Shutterstock_305273708.
Shutterstock_308156984.
Shutterstock_313153397.
Shutterstock_334469090.
Shutterstock_336895217.
Shutterstock_433860124.
Shutterstock_514815283.
Shutterstock_542444185.
Shutterstock_712997782.
Shutterstock_722384866.
Shutterstock_791692327.
Shutterstock_1015190854.
Shutterstock_1040920003.
Shutterstock_1054088231.
Shutterstock_1056262760.
Shutterstock_1062374438.
Shutterstock_1077174368.
Shutterstock_1115848064.
Shutterstock_1150560377.
Shutterstock_1152571952.
Shutterstock_1153619326.
Shutterstock_1212756952.

Shutterstock_1214605756.
Shutterstock_1256138587.
Shutterstock_1311874343.
Shutterstock_1360229840.
Shutterstock_1392705017.

Capítulo 12

Shutterstock_1303593094.
Shutterstock_243381178.
Shutterstock_1309625671.
Shutterstock_1472570126.

Capítulo 13

Shutterstock_684965650.
Shutterstock_56483905.
Shutterstock_97630670.
Shutterstock_205051276.
Shutterstock_211559491.
Shutterstock_350625359.
Shutterstock_362711927.
Shutterstock_520666684.
Shutterstock_582827647.
Shutterstock_607405130.
Shutterstock_626470013.
Shutterstock_657541762.
Shutterstock_760136923.
Shutterstock_760675426.
Shutterstock_770118730.
Shutterstock_776861983.
Shutterstock_1125078230.
Shutterstock_1140408197.
Shutterstock_1182113068.
Shutterstock_1318530329.
Shutterstock_1332973607.
Shutterstock_1334480111.
Shutterstock_1339018868.
Shutterstock_1383781154.
Shutterstock_1392705017.
Shutterstock_1398160079.

Capítulo 14

Shutterstock_1165086706.
Shutterstock_1521436085.
Shutterstock_69983653.

Capítulo 15

Shutterstock_77425762.
Shutterstock_129709403.

Capítulo 16

Shutterstock_597356093.
Shutterstock_167083397.
Shutterstock_561883327.
Shutterstock_597356093.

Capítulo 17

Shutterstock_568736821.
Shutterstock_202050079.
Shutterstock_568736821.

Capítulo 18

Shutterstock_1355957915.
Shutterstock_1356321179.
Shutterstock_1414588910.

Capítulo 19

Shutterstock_69983653 y 117680335
Shutterstock_129709403.
Shutterstock_275489375.
Shutterstock_561883327.
Shutterstock_604385639.
Shutterstock_1057540331.

Capítulo 20

Shutterstock_795715315.
Shutterstock_46811851.
Shutterstock_284418575.
Shutterstock_795715315.
Shutterstock_1044221008.
Shutterstock_1341639125.



APÉNDICES

Apéndice 1. Abreviaturas, acrónimos, siglas y símbolos

a.C.	Antes de Cristo		
ACE	Acetilcolinesterasa		
ACGIH	Conferencia Estadounidense de Higienistas de Industrias Estatales		
ACGIH	Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>	EE.UU.
ACS	Asociación Americana de Química	<i>American Chemical Society</i>	
ADH	Alcohol deshidrogenasa		
ADN	Ácido desoxirribonucleico		
AIDIS	Asociación Iberoamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
AIHA	Asociación de Higienistas Industriales de Norteamérica	<i>American Industrial Hygiene Association</i>	EE.UU.
ANSI	Instituto Nacional Norteamericano de Estándares	<i>American National Standards Institute</i>	EE.UU.
ASTM Internacional	Anteriormente Estándar Norteamericana de Pruebas y Materiales	<i>Previously American Standard for Testing and Materials</i>	
ATP	Adenosín trifosfato		
ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Register</i>	
BAT	Valores Biológicos de Tolerancia para la Exposición Ocupacional		
BCF	Factor de bioconcentración		
BEI	Índices de Exposición Biológica	<i>Biological Exposure Index</i>	
BFC	Bromofluorocarbonados		
BID	Banco Interamericano de Desarrollo		
BOELV	Valor límite de exposición ocupacional obligatorio	<i>Binding Occupational Exposure Limit Value</i>	
BTX	Benceno, tolueno y xileno		
C	Techo	<i>Ceiling</i>	
CA	Controles administrativos		
Ca(OH)2	Cal apagada		
CAI	Clean Air Institute		
CAN	Comunidad Andina de Naciones		
CaO	Cal viva		
CAS	Servicio de Abstractos Químicos	<i>Chemical Abstracts Service</i>	
CAS RN	Número de Registro del servicio de resúmenes químicos	<i>Chemical Abstracts Service - Registry Number</i>	
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental		
CDC	Centros para el Control y Prevención de Enfermedades	<i>Centers for Disease Control and Prevention</i>	
CFC	Clorofluorocarburos		
CFC-113	Triclorotrifluoroetano		
CL50	Concentración letal media		
CLP	Reglamento europeo sobre etiquetado de sustancias y mezclas peligrosas	<i>Classification, Labeling and Packaging</i>	
CNSST	Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo		España
CO	Monóxido de carbono		

CO2	Dióxido de carbono		
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social		
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes		
COPs	Compuestos orgánicos persistentes		
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles		
COVs	Compuestos orgánicos volátiles		
d.C.	Después de Cristo		
DDE	1,1-dicloro-2,2-bis(p-clorofenil)-etileno		
DDT	Dicloro difenil tricloroetano		
DFG	Fundación Alemana para la Investigación Científica	<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>	Alemania
DGUV	Seguro Social Alemán de Accidentes	<i>Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung</i>	Alemania
DL	Dosis letal		
DL50	Dosis letal media		
DMF	Dimetilformamida		
DMPS	Ácido 2,3-dimercapto-1-propanosulfónico		
DMSA	Ácido meso-2,3-dimercatosuccínico o Succimer		
DMSO	Dimetilsulfóxido		
DSen	Sensibilización producida por vía dermal		
ECHA	Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas	<i>European Chemicals Agency</i>	
EDTA	Ácido etilendiaminetetraacético		
EE.UU.	Estados Unidos de América		
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente	<i>Environmental Protection Agency</i>	EE.UU.
EPP	Equipo de Protección Personal		
f/cc	Fibras por centímetro cúbico		
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>	
GEI	Gas de Efecto de Invernadero		
GESTIS	Valores límites internacionales para agentes químicos		Alemania
gr	Gramo		
GTC	Guía Técnica Colombiana		
HBFC	Hidrobromofluorocarbonos		
HCFC	Hidroclofluorocarbonos		
HCN	Ácido cianhídrico		
heptaBDE	Éter de heptabromodifenilo		
hexaBDE	Éter de hexabromodifenilo		
HFC	Hidrofluorocarbonos		
HMPT	Hexametilfosforotriamida		
HSE	Ejecutivo de Salud y Seguridad	<i>Health & Safety Executive</i>	Gran Bretaña
IARC	Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer	<i>International Agency for Research on Cancer</i>	
IBICOL	Insumos Biológicos de Colombia		
IC	Intervalo de confianza		
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario		
IDLH	Concentraciones inmediatamente peligrosas para la vida y la salud	<i>Immediately Dangerous to Life and Health</i>	
IEA	Intoxicación Etilíca Aguda		
IESQ	Inventario Europeo de Sustancias Químicas		
ILO	Organización Internacional del Trabajo	<i>International Labor Organization</i>	
INAS	Instituto Nacional de Salud		
INND	Institute of Neurotoxicology & Neurological Disorders		
INS	Instituto Nacional de Salud de Colombia		
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo		

INSSBT	Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo		España
INSST	Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo		España
IOELV	Valor límite de exposición ocupacional indicativo	<i>Indicative Occupational Exposure Limit Value</i>	
IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>	
JSOH	Sociedad Japonesa para la Salud Ocupacional	<i>Japan Society for Occupational Health</i>	Japón
KOH	Hidróxido de potasio		
LEO	Límite de Exposición Ocupacional		
LEO BS	Límite de exposición ocupacional basado en salud		
LEP	Límites de Exposición Profesional		
LTDA.	Limitada		
MAC	Concentraciones Máximas Permisibles	<i>Maximum Exposure Concentrations</i>	
MAK	Concentraciones Máximas en el Lugar de Trabajo		
MCE	Ésteres mixtos de celulosa	<i>Mix Cellulose Esther</i>	
mg/m³	Miligramos por metro cúbico		
ml	Mililitro		
mm de Hg	Milímetros de mercurio		
MSHA	Administración de Seguridad y Salud en Minas	<i>Mine Safety & Health Administration</i>	EE.UU.
NaCl	Cloruro de sodio		
NaOH	Hidróxido de sodio		
NEG	Grupo Experto Nórdico	<i>Nordic Expert Group</i>	
NIOSH	Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional	<i>National Institute for Occupational Safety & Health</i>	EE.UU.
NOx	Óxidos de nitrógeno		
O₃	Ozono		
OARS	Alianza Ocupacional para la Ciencia del Riesgo	<i>Occupational Alliance for Risk Science</i>	EE.UU.
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico		
OIT	Organización Internacional del Trabajo		
OMS	Organización Mundial de la Salud		
ONU	Organización de Naciones Unidas		
OPS	Organización Panamericana de la Salud		
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional	<i>Occupational Safety & Health Administration</i>	EE.UU.
OTO	Ototóxico		
PAN	Nitratos de peroxiacilo		
PBB	Bifenilos polibromados		
PCB	Bifenilos policlorados		
PCB	Policlorobifenilos	<i>Polychlorinated biphenyl</i>	
PCT	Terfenilos policlorados		
PeCB	Pentaclorobenceno		
PEL	Límites de exposición permisibles	<i>Permissible Exposure Limit</i>	
PFOS	Ácido perfluorooctanosulfónico		
PGIRHS	Programa de Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares		
PGIRS	Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos		
pH	Potencial hidrógeno o potencial de hidrogeniones, acidez o alcalinidad		
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo		
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente		
PPDB	Base de datos de propiedades pesticidas	<i>Pesticide Properties Database</i>	
PPM	Partes por millón		
PQUA	Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola		
PVC	Policloruro de vinilo	<i>Polivinyll Chloride</i>	
RAE	Real Academia Española		

REACH	Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias y Preparados Químicos		
REL	Límites de Exposición Recomendados	<i>Recommended Exposure Limits</i>	
RESPEL	Residuos peligrosos. También puede referirse al Plan de gestión de residuos peligrosos		
RETC	Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes		
RSen	Sensibilización producida por vía respiratoria		
SAF	Síndrome Alcohólico Fetal		
SAICM	Enfoque Estratégico para la Gestión Internacional de Productos Químicos	<i>Approach to International Chemicals Management</i>	
SAO	Sustancias agotadoras de la capa de ozono		
SCOEL	Comité Científico para los Límites de Exposición Ocupacional	<i>Scientific Committee for Occupational Exposure Limits</i>	Unión Europea
SDRA	Síndrome de Dificultad Respiratoria Aguda		
Sen	Sensibilizante		
SGA	Sistema Globalmente Armonizado		
SIVIGILA	Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública		
SNC	Sistema Nervioso Central		
STEL	Límite de exposición de corta duración	<i>Short Term Exposure Limit</i>	
SWA	Safe Work Australia		Australia
TCE	1,1,2-tricloroetileno		
THF	Enzima tetrahidrofolato hepática		
TLV	Valor umbral límite	<i>Threshold Limit Value</i>	
TRI	1,1,1 tricloroetano		
TWA	Tiempo ponderado en el tiempo		
mm	Micrometros		
µg/l	Microgramos por litro		
UE	Unión Europea		
UNECE	Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>	
UNEP	ONU Medioambiente	<i>UN Environment</i>	
UNITAR	Instituto de las Naciones Unidas para la Formación Profesional y la Investigación		
WEEL	Niveles de Exposición en el Ambiente de Trabajo	<i>Workplace Environmental Exposure Level</i>	
WEL	Límites de Exposición para el Lugar de Trabajo	<i>Workplace Exposure Limits</i>	
WES	Exposiciones en el Lugar de Trabajo	<i>Workplace Exposure Standard</i>	

Apéndice 2. Glosario

Absorción

Proceso mediante el cual el xenobiótico ingresa en el organismo humano, y para que haya efecto adverso, debe pasar al torrente sanguíneo y distribuirse a su sitio de acción o blanco que puede ser un órgano o sistema (i.e. sistema nervioso central para exposición a solventes).

Biotransformación

Proceso de transformación de los xenobióticos cuyo objetivo es generar una molécula menos tóxica capaz de eliminarse en particular a través de la orina.

Carcinogenicidad

Propiedad de sustancias o mezclas que inducen cáncer o aumentan su incidencia.

Compuestos orgánicos persistentes (COP)

Sustancias químicas orgánicas cuyas características fisicoquímicas son: alta persistencia en el ambiente, bioacumulación y biomagnificación.

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Sustancias químicas de tipo hidrocarburos; se encuentran en estado gaseoso a temperatura ambiente o son muy volátiles; su estructura tiene menos de doce átomos de carbono y constituyen grupos activos que contienen oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno.

Contaminante

Sustancia tóxica que tiene efectos nocivos en el ecosistema.

Corrosión cutánea

Formación de una lesión irreversible en la piel.

Dopaje

Intoxicación por el consumo de sustancias químicas que incrementan el rendimiento deportivo, por ejemplo, anabolizantes o algunos medicamentos, metabolitos o marcadores, reconocidos como sustancias prohibidas en el cuerpo de un atleta.

Dosis letal media (DL50)

Valor de la concentración de una sustancia tóxica que genera la muerte a 50% de la población de animales experimentalmente expuesta.

Enseñanza de la toxicología

Aplicación de modelos pedagógicos a la enseñanza de la toxicología en programas como medicina, química, farmacia, biología y salud ocupacional, entre otras.

Excreción

Acción que consiste en la eliminación de las sustancias tóxicas en el organismo. Esta no es exclusiva por vía urinaria; también están las vías de excreción por bilis, aire espirado, sudor, saliva o leche materna.

Hepatotoxicología

Disciplina encargada de estudiar las sustancias que tienen efecto adverso en el hígado.

Hidrocarburos

Compuestos orgánicos que pueden estar presentes en forma de gases, líquidos, grasas y, a veces, sólidos. El petróleo crudo y el gas natural son sus principales representantes.

Inmunotoxicología

Disciplina encargada de estudiar las sustancias que tienen efecto adverso en el sistema inmune.

Intoxicación aguda

Conjunto de síntomas generados por la absorción de una sustancia tóxica, que genera manifestaciones entre las primeras 24 horas y pueden llevar a la muerte. En caso de ocurrir en el sitio de trabajo, se considera accidente laboral.

Intoxicación crónica

Sintomatología que aparece entre 30 y 90 días; la dosis es baja pero acumulativa. La mayoría de intoxicaciones crónicas se producen en el lugar de trabajo.

Intoxicación laboral

Intoxicación que sucede a un trabajador expuesto a sustancias químicas para realizar un proceso industrial.

Intoxicación

Reacción fisiológica de un organismo vivo, ocasionada por una sustancia tóxica o un veneno.

Intoxicaciones homicidas

Sustancias cuya intención consiste en causar perjuicio y muerte a un individuo o a un grupo de ellos.

Irritación cutánea

Lesión reversible en la piel.

Mutagenicidad en células germinales

Alteraciones en el material genético celular; se refiere específicamente a productos químicos capaces de inducir mutaciones en las células germinales humanas transmisibles a descendientes.

Neurotoxicología

Disciplina que se encarga de estudiar las sustancias tóxicas que producen efectos adversos en el sistema nervioso.

Niebla

Gotas líquidas de una sustancia o mezcla en suspensión en un gas (en el aire, por lo general).

Polvo

Partículas de sustancia o mezcla en suspensión en un gas (en el aire, por lo general).

Sensibilizante cutáneo

Sustancia tóxica que genera respuesta alérgica por contacto con la piel.

Solventes

Sustancias químicas en las que se disuelve un soluto que puede ser sólido, líquido o gas.

Sustancias liposolubles

Sustancias que penetran con mayor facilidad la piel que aquellas solubles en agua debido a que se disuelven en los lípidos componentes de las diferentes capas de la piel (por ejemplo, los hidrocarburos).

Sustancias sintéticas

Sustancias fabricadas, extraídas o procesadas por el hombre o generadas en un proceso industrial.

Toxicidad para la reproducción

Efectos adversos sobre la función sexual y la fertilidad de hombres y mujeres adultos, junto con los efectos adversos sobre el desarrollo de descendientes.

Tóxico (veneno)

Sustancia que puede ser sólida, líquida o gaseosa que al ser absorbida por un organismo vivo puede ocasionar graves alteraciones funcionales hasta la muerte.

Toxicocinética

Ciencia que estudia el movimiento de un xenobiótico en el organismo humano, cuyas etapas son

exposición, absorción, distribución a órganos y tejidos mediante el torrente sanguíneo y su disposición final, previa biotransformación.

Toxicogenómica

Rama científica que estudia la respuesta genómica de los organismos expuestos a agentes químicos. Según Capó & Frejo (2007), estos incluyen fármacos, contaminantes ambientales, aditivos alimentarios y drogas de abuso, entre otros. Esta área de la toxicología explica el papel de las interacciones entre genes y ambiente y el desarrollo de enfermedades.

Toxicología alimentaria

Campo de la toxicología que estudia la presencia de tóxicos en los alimentos, así como sus efectos nocivos.

Toxicología ambiental

Campo de la toxicología que estudia los contaminantes ambientales y efectos nocivos en los seres vivos y su relación con el ecosistema.

Toxicología analítica

Campo de la toxicología que cuantifica e identifica las moléculas o metabolitos que producen efectos adversos en los organismos vivos.

Toxicología clínica

Campo de la toxicología que diagnostica y trata las intoxicaciones que ocurren en seres vivos.

Toxicología computacional

Área de la toxicología que permite predecir valores de toxicidad humana o medioambiental mediante el uso de modelos informáticos.

Toxicología experimental

Campo de la toxicología que experimenta con modelos biológicos para encontrar los efectos adversos causados por la exposición a una sustancia tóxica.

Toxicología forense

Área de la toxicología que ayuda a las investigaciones médico-legales en muertes o intoxicaciones, casos en los cuales los informes de laboratorio se pueden emplear en las cortes. Incluye, por ejemplo, grado de alcoholemia, abuso de drogas y sustancias en fluidos biológicos como sangre, orina, entre otras.

Toxicología general

Disciplina que estudia las bases de la toxicología y sus conceptos.

Toxicología ocupacional

Campo de la toxicología que estudia los efectos en la salud que produce la exposición a sustancias químicas en el lugar de trabajo; también previene accidentes y enfermedades que tienen origen en sustancias tóxicas.

Toxicología regulatoria

Área de la toxicología que se encarga de evaluar, estudiar, proponer y apoyar el desarrollo de normas toxicológicas a fin de reducir la exposición y posibles efectos sobre la salud.

Toxicología

Ciencia que estudia los efectos adversos ocasionados por sustancias químicas o agentes físicos como las radiaciones en los organismos vivos.

Toxinas microbianas

Sustancias tóxicas producidas por microorganismos; se refieren a toxinas de bacterias, algas y hongos.

Toxinología

Disciplina que se refiere al estudio de las sustancias tóxicas de origen biológico.

Vapor

Forma gaseosa de una sustancia o mezcla liberada a partir de su estado líquido o sólido.

Xenobiótico

Toda sustancia externa que ingresa al organismo, tales como algunos medicamentos, metales, micotoxinas, etc.

Zootoxinas

Sustancias tóxicas de origen animal, por ejemplo, las toxinas de pez globo, medusas, ranas, arañas, serpientes, escorpiones, hormigas y abejas, entre otras.

Índice analítico

A

Absorción, 7, 74, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 113, 116, 189, 212, 213

- cutánea, 56, 70, 95
- de la piel, 74
- de los gases, 75
- de tóxicos, 102
- del agente tóxico, 78
- dérmica, 95
- exposición y, 63
- gastrointestinal, 73, 74
- grado de, 99
- respiratoria, 189, 192, 193
- síntomas por, 35
- velocidad de, 73, 75
- vía epidérmica, 193
- vía respiratoria, 212
- vías de, 90, 95

Adaptación, 118, 163

- mecanismos de, 118

Adsorción, 371, 406

- en suelos, 310
- por materia orgánica, 415
- química, 310

Aflatoxinas, 29

Agentes tóxicos, 6, 33, 75, 80, 84, 100, 127, 133, 185

- absorción dérmica de, 333

Agudo(s), 36, 82, 111, 208, 238

- dolor, 83
- efectos tóxicos, 36, 213
- efectos, 59, 256, 310, 311, 328, 340, 353, 376
- peligro, 36
- tóxicos, 443

Aislamiento, 389, 390

Alcoholes, 50, 246, 548, 253, 266, 267, 268, 273, 275, 415

- amílicos, 269

Ambiente(s), 70, 81, 91, 141, 139, 159, 211, 217, 254, 287, 291, 407

- biológico, 77
- de trabajo, 353, 368, 377, 387
- doméstico, 204
- externo, 77
- físico, 77
- interno, 77
- laboral, 93, 307, 321, 348, 380

- natural, 71
- personal, 76
- por contaminación, 414
- tipos de, 76

Anemia, 187, 188, 191, 318

Anestésico, 229, 237, 256, 269, 275

Anotaciones especiales, 326, 344, 353

Antídotos, 7, 8, 214, 247

- de los venenos y sus, 7, 8, 10
- Venenos y sus antídotos*, 10

Arsénico, 5, 100, 189, 190, 197, 205, 441

- dosis letal del, 193
- efectos del, 13
- estado de valencia del, 190
- intoxicaciones con, 191, 193
- investigaciones, 14

B

Bioacumulación, 60, 79, 100, 1299, 217, 416

- y biomagnificación, 293

Bioconcentración, 217, 420

- factor de, 406, 410

Biodegradación, 79, 406, 410

Biomagnificación, 133, 293

Biotransformación 33, 37, 90, 93, 99, 113, 130, 407

- de las sustancias, 101
- de los xenobióticos, 106
- proceso de, 102

C

Cadmio, 182, 184, 414

Caña de azúcar, 268

Carbamato, 62, 206, 214, 215

Carcinogénesis, 115, 118

Carcinógeno, 194, 254

Clasificación toxicológica, 36, 45, 206

Colinesterasa, 62, 214, 2016

- en sangre, 215

Composición, 52, 71, 73, 82, 95, 208, 221, 249, 318, 393, 428

- de los residuos, 446
- del agente químico, 113
- del tóxico, 247
- del xenobiótico, 98
- desechos y su, 441

Compostaje, 438

- de los residuos orgánicos, 437

Concentración, 8, 35, 71, 73, 75, 78, 81, 102, 113
de contaminante(s), 25, 32, 40, 410
de cromo, 37
de sustancias tóxicas, 98
del xenobiótico, 98
dosis o, 37
en función del tiempo, 92
en sangre, 92
en tejidos, 92
exposición a, 8
letal, 8, 36, 217, 132
valor de la, 36
variaciones de la, 79

Concentraciones máximas en el lugar de trabajo (MAK), 354

Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), 136, 216

Contaminante(s), 25, 32, 40, 410
ambiental, 27, 73, 95
adsorción de los, 371
captación de, 380
concentración del, 81, 377
definición de, 32
dispersión de, 411
eliminación de, 407
exposición al, 81
fuentes móviles y domésticas de, 35
ingreso de, 396
límites permitidos de, 127
migración de, 416
no polar, 411
orgánicos persistentes (COP), 415
presentes en el aire, 417
químicos, 80
secundarios, 235
transportados por el aire, 332
vertidos en el aire, 408

Control, 78, 126, 127, 133, 204, 210, 222, 288
médico, 83

Controles administrativos, 356, 388, 391, 392

Controles técnicos, 387, 388, 389

Convenio de Estocolmo, 131, 173, 288

COP, 100, 131, 286, 288, 293, 296, 297, 415

Corrosivos, 50, 443
ácidos, 50
agentes, 333
alcalinos, 50
gases, 229
intoxicación laboral por, 119
intoxicaciones por gases, 228
solventes, 249

COV, 286, 287, 288, 287, 293, 297, 416, 417

en la salud, 291

Crónico(s), 82, 213
alcohólicos, 271
efectos, 256, 310, 340, 353, 376, 443

D

DDT, 293, 414

Degradación, 60, 414
ambiental, 217
del agente, 412
en el aire, 415
natural, 217, 430
severa, 57

Deposición, 411, 412
desde el aire, 416
húmeda, 412

Depresor del SNC, 253, 271

Desechos, 35, 297, 413, 443
a tratar, 247
clínicos, 440
comunes, 446
COP, 433
de aceites, 440
de computadores, 413
de la industria, 408
de madera, 435
de medicamento, 440
de pabellones, 446
domésticos, 409
farmacéuticos, 446
peligrosos, 430, 433
químicos, 288, 399
radioactivos, 447
sanitarios, 446
sólidos, 443, 450
susceptibles, 443
y su composición, 441

Destilación, 10, 267
de frutas, 268
del petróleo, 267
del vino, 267
seca, 268

Destino ambiental, 406, 407, 410, 412, 416
de los agentes tóxicos, 410, 412
del agua, 410

Diana, 113, 117
células, 190, 191
molécula, 117
órgano(s), 56, 58, 116, 117
sistemas, 112

Dioxinas, 256, 286, 294

Disfunción celular, 117
Disolventes, 48, 71, 232, 234, 268, 273
 aplicación, 255
 clases de, 252
 orgánicos, 74
Disposición final, 92, 130, 431, 432, 434, 439, 445
 peligrosos, 440
Distribución, 78, 90, 93, 102, 116, 202
 a órganos y tejidos, 92
 de las sustancias tóxicas, 102
 de los xenobióticos, 116, 120
 en los cuerpos superficiales, 415
 estadística, 330, 331
 log-normal, 330, 340
 normal, 331
 procesos de, 79
DL50, 35, 36, 56, 132
 más bajo, 36
 oral, 36
 superior, 36
Dosis, 12, 70, 72, 73
 absorbida, 75
 altas, 75
 concepto de, 112
 de exposición, 113
 del agente tóxico, 75
 interna, 75
 letal 50, 38
 local, 75
 número de, 84
 sola facit venenum, 112
 tiempo-respuesta, 12
 y concentración, 113
Dosis letal 50 (DL50), 131
 del arsénico, 193
 media, 131, 207

E

Efecto crítico, 309, 312, 331, 333
 de organoclorados, 318
Eliminación del riesgo, 387, 388, 389
Eliminación o excreción, 93
Enfermedad de Minamata, 193
Envenenamiento, 5, 7, 8, 10
 casos de, 11, 13
 efectos del, 18
 intoxicación y, 275
 muertes por, 7, 16
Equipo de protección personal, 327, 332, 368, 372, 388,
 393
Espacios confinados, 234, 372

Estrategias de medición, 375
Etanol, 118, 267, 269
Etilenglicol, 267, 269, 275
Excreción, 92, 93, 102, 113, 191
 por bilis, 102
Exposición al tóxico, 77
Exposición(es), 8, 37, 49, 54, 61, 70, 75, 79, 81
 a sustancias químicas, 27
 a una sustancia tóxica(o), 26, 37, 61, 83, 84, 92
 a xenobióticos, 94, 194, 198
 al agente tóxico, 75
 al sol, 74
 crónica, 58, 59
 cutánea, 77
 de corta duración, 81
 digestiva, 78
 fase de, 113
 interna, 81
 punto de, 79
 repetidas, 56
 repetidas, 81
 respiratoria, 78
 riesgo de, 49
 rutas de, 73, 77, 78, 92, 112
 tipos de, 70, 81
 única, 56
Exposiciones en el Lugar de Trabajo (WES), 356

F

Factores ambientales, 74
Factores de riesgo, 72, 78
Farmacología, 7-8, 9, 12, 15, 25
 iatroquímica, 12
 manual de farmacopea, 7, 8
Fermentación, 280, 438
 bacteriana, 438
 de carbohidratos, 268
 de cavas, 232
Fitotoxinas, 28
Formulación(es), 204, 207, 390
Fotólisis, 79, 427, 412, 414, 417
Fuente(s), 78, 131, 212, 216, 249, 286, 356, 368, 407, 437
 artificial, 232
 de alcohol, 267
 de contaminación, 233, 407, 408
 de COP, 293, 295
 de COV, 289
 de energía hídrica, 389
 de generación, 391
 de ingresos, 437
 de intoxicación, 191

- de producción, 232, 266
- fijas, 152, 154
- hídricas, 210
- industrial, 408
- móviles, 35
- no puntual, 414
- puntual, 414
- renovables, 153
- selladas, 447

Furanos, 286, 294, 397

G

Gases, 32, 33, 212, 229

- anestésicos, 229, 232
- asfixiantes químicos, 233
- asfixiantes simples, 232
- asfixiantes, 232
- corrosivos, 229, 236
- de cloro, 235
- de emisiones volcánicas y minerales, 47
- de guerra, 232, 235
- de soldadura, 52
- definición de, 229
- HCN, 53
- industriales, 229
- inertes, 238
- inflamables, 59, 137, 430
 - gases, 59, 229, 443
 - líquidos, 442
 - propiedades, 128
 - sólidos, 433
 - vapores, 442
- irritantes, 232, 234, 235
- lacrimógenos, 114
- mixtos, 229
- monóxido de carbono, 52
- otros, 237
- propano, 51
- sarín, 33
- sensibilizantes, 232
- tóxico natural de tipo, 42
- tóxico sintético de tipo, 42
- tóxicos, 93
- volcánicos, 33
- y vapores tóxicos, 231
- y vapores, 55, 229

Gas asfixiante, 228, 232, 233

Gas irritante, 232, 233, 234, 235

Gas mixto, 229

Gas tóxico, 93, 229, 373

Gases corrosivos, 228, 229, 236

Gases inertes, 232, 233, 238

Genotoxicidad, 115, 216

Gestión ambiental, 434, 436

publicada, 155

de sus residuos, 161

Gestión de residuos, 248, 429, 434

En América latina, 434

Guía de bolsillo de NIOSH sobre riesgos químicos, 61, 332, 352, 355

Guía sin consenso, 312

H

Hidrocarburos, 98, 247, 249, 250, 253, 256, 370, 389

Hidrofilicos, 116, 246, 248, 256

Hidrólisis, 79, 101, 406, 410, 412, 414

Hipersensibilidad, 57, 313, 334

Hiposensibilidad, 313

Humo, 28, 48, 52, 94, 191, 214, 315

del tabaco, 313

emanación de, 390

exposición a, 236

metálico, 55

no metálico, 55

tóxico, 48

I

Inflamables, 59, 137, 430

gases, 59, 229, 443

líquidos, 442

propiedades, 128

sólidos, 433

vapores, 442

Ingrediente activo, 204, 207, 208, 209

Inmediatamente peligroso para la vida y la salud (IDLH), 332

Instrumentos de medición pasivos, 366, 370, 374, 377

Instrumentos de medición activos, 366, 370, 374, 377

Intercambio gaseoso, 230, 232, 233

Intoxicación accidental, 35

Intoxicación aguda, 35

Intoxicación alimentaria, 34

Intoxicación ambiental, 35

Intoxicación crónica, 35

Intoxicación homicida, 34

Intoxicación laboral, 34, 103, 112, 119, 265

Intoxicación recreativa, 34

Intoxicación suicida, 35

Intoxicaciones, 34

accidental, 35

aguda, 35
alimentaria, 34
ambiental, 35
clasificación general de las, 34
con arsénico, 191, 193
crónica, 35
homicida, 34
laboral, 34, 103, 112, 119, 265
recreativa, 34
suicida, 35
y envenenamiento, 275

Irritantes, 232, 235, 255, 315, 416
Isopropanol, 269, 275

J

Jerarquía de controles, 386, 387, 388

L

Letal, 8

concentración, 36, 217, 132
dosis, 38, 131, 193, 207, 274
exposición a concentración, 8

Límite de excursión, 325, 329

Límite de exposición de corta duración (STEL), 311, 328

Límite de Exposición Ocupacional (LEO), 306, 307

Límites de exposición para el lugar de trabajo (WEL), 355

Límites de exposición permisibles (PEL), 351

Límites de Exposición Profesional (LEP), 355

Límites de exposición recomendados (REL), 352

Lipofílicos, 245, 248, 415

Líquido, 36, 48, 51, 55

a gas, 54
comburente, 59
estado, 52
inflamable, 59
nitrógeno, 51
pirofórico, 59
producto químico, 59

M

Magnificación biológica, 129

Mecanismo de acción, 374

Medición estacionaria, 368, 370, 374, 377

Medición personal, 371

Mediciones a corto plazo, 374

Mediciones de turno completo, 368

Medio recolector, 367, 369, 370, 371, 374

Mercurio, 12, 34, 100, 184, 189, 192, 193, 205

Metabolito, 26, 28, 34, 38, 58, 94, 127, 267, 280

Excretado, 91, 102

Metales esenciales, 184, 185, 186

Metales tóxicos, 182, 188, 190

Metales, 28, 32, 49, 51, 63, 100, 181, 183, 190, 315

de transición, 54
el grupo de, 183
fundición de, 48
no esenciales, 188
particulados, 12
pesados, 412, 413, 420, 447
preciosos, 234

Metanol, 253, 267, 268, 273

Método analítico, 370, 377

Micotoxinas, 29

Miligramos por metro cúbico (mg/m³), 315, 317, 263

Mutagénesis, 115

Mutagénico, 132, 254

N

Narcótico(s), 96, 260

Niebla, 46, 54, 55, 99, 417, 464

gotas líquidas, 54
glicerol, 342
y aerosoles, 63
y rocío, 55

Níquel, 53, 94, 182, 188

Niveles de exposición en el ambiente de trabajo (WEEL), 353

O

Orgánico, 269

Órgano(s) blanco, 111, 113, 117, 310

Organoclorado, 100, 101, 186, 217, 414

Organofosforado, 206, 214, 215, 217, 414

Ototóxicos, 326, 327, 334, 336, 337, 340

P

Papiro, 6

de Ebers, 6
de Hearst (médico), 7
de Sagarabi, 7

Partes por millón (ppm), 315, 408

Peligros físicos, 46, 55, 56, 59, 61, 65

Peligros para la salud, 46, 55, 56, 61, 65, 208, 354

Persistencia, 217, 293, 414

de (los) plaguicidas, 202, 217

Petróleo, 78, 235, 237, 247, 268

crudo, 249

Picaduras, 9, 29

Plaguicida(s), 143, 144, 155, 193, 201, 203, 204, 205, 206
organoclorados, 100, 101

Paraquat, 115
Plomo, 7, 12, 14, 39, 49, 51, 184, 191, 192, 205, 390, 413
 intoxicaciones con, 191
 sólido, 98
Prevención, 72, 128, 131, 136, 225, 313, 385
 de riesgos, 400
 estrategias de, 204
Promedio ponderado en el tiempo (TWA), 311, 327, 322, 329, 330, 331, 332, 351
Protección respiratoria, 332, 353, 393, 394, 395, 396
Protocolo de Montreal, 287, 432

R

Reacciones de hidrólisis, 101, 102
Reciclaje, 130, 428, 434, 438
Reciclar, 432
Reparación, 113, 188, 431
 mecanismos de, 118
Residuo(s), 100, 144, 148, 158, 160, 292, 407, 428, 434, 435
 agrícolas, 431
 aprovechables, 437, 138
 de construcción, 431
 de sustancias, 288
 domésticos, 429
 hospitalarios, 429, 446
 industriales, 431
 infeciosos, 447
 no peligrosos, 430
 ordinarios, 446
 orgánicos, 431, 437
 peligroso(s), 430, 440, 447
 sólidos, 435, 437
 tóxicos, 444
 urbanos, 438
Reutilización, 428, 433, 438
Revalorización, 431, 433, 449
Riesgos químicos, 133, 392, 400
Ropa de protección, 97, 394

S

SA, 158
Salud, 27, 46, 51, 55, 71, 72, 112, 128, 137, 140, 254, 272, 331
 en el trabajo, 78, 115, 136, 288, 310, 355
 del niño, 101
 del individuo, 102
 pública, 111, 204, 210, 287
 por exposición, 392
 y seguridad, 114, 232, 272
 de los trabajadores, 163, 288, 307

y el ambiente, 291, 296
de agentes químicos, 354
y seguridad, 354
humana, 8, 48, 133, 134, 163, 288, 407, 430
ocupacional, 12, 25, 36, 37, 100, 216, 309, 350, 357

Saturnismo, 74, 192

Sensibilizante, 57, 129, 232, 260, 334, 336, 340

Sensibilizantes, 232, 233, 334, 336

Separación, 267, 434

de la medicina, 11
en origen, 437
entre residuos, 447
por gravedad, 445

Skin (piel), 333

Sobredosis, 7, 186, 187

por alcohol, 275

Sólido, 36, 46, 48, 51, 52, 54, 59, 61, 63, 153, 206, 433

acero, 53
ambiente, 70, 76
hierro, 65
plomo, 98

Solventes, 49, 58, 93, 108, 208, 246, 247, 248, 250, 254

liposolubles, 256
orgánicos, 415, 416
para limpieza, 48
toxicidad de los, 253
usos de los, 250
volátiles, 256

Sustitución, 288, 312, 386, 389, 390, 397

Susceptibilidad al tóxico, 82

Sustancia hidrosoluble, 100, 101, 189

Sustancia liposoluble, 80, 98

T

Techo (C), 311, 326, 331, 390

Teratogénico, 132

Tóxico(s), 6, 7, 8, 13, 14, 18

agentes, 71
clasificación de los, 32
efectos agudos de, 36
en animales, 15
en alimentos, 26
humos, 48
 del tabaco, 313
 emanación de, 390
 exposición a, 236
 metálicos, 55
 no metálicos, 55
 tóxicos, 48
inorgánicos, 33

- naturales, 47
- orgánicos, 33
- respuesta experimental a, 12
- sintéticos, 32, 47
- Toxicocinética, 14, 89, 90, 91, 92
 - de metales no esenciales, 188
 - fases de la, 93
- Toxicodinamia, 110, 114, 120, 262
 - de los xenobióticos, 120
 - fase, 113
- Toxicología, 4
 - alimentaria, 26
 - ambiental, 27
 - analítica, 13
 - áreas de la, 26
 - cánones de la, 12
 - clínica, 26
 - como arte, 18
 - como ciencia, 11
 - computacional, 27
 - definición, 25
 - Edad Media, 11
 - Edad Moderna, 11
 - enseñanza de la, 26
 - evolución histórica de la, 4, 5, 7, 8, 9
 - experimental, 26
 - general, 26
 - hepatotoxicología, 27
 - inmunotoxicología, 27
 - judicial (forense), 13, 15, 26
 - médico-legal, 11
 - neurotoxicología, 27
 - ocupacional (laboral), 19, 27
 - padre de la, 11
 - regulatoria, 14, 27
 - toxicogenómica, 27
 - veterinaria, Introducción a la*, 28
 - y botánica, 12

- Toxicología regulatoria, 14, 27, 125, 127
- Toxina(s), 28
 - botulínica, 33
 - hepáticas, 73
 - microbianas, 29
 - renales, 73
- Transporte ambiental, 407
- Tratamiento de residuos, 429
- Trazas, 184
 - de solventes, 254

V

- Valor límite de exposición ocupacional indicativo (IOELV), 354
- Valor límite de exposición ocupacional obligatorio (BOELV), 354
- Valores umbrales límite, 136, 308
- Vapor, 28, 37, 39, 46, 48, 52, 57, 61, 63, 79, 99, 211, 212, 228, 229, 230-231
 - asfijante químico, 233
 - asfijante simple, 232
 - asfijante, 232
 - de agua, 54, 55
 - difusores a, 204
 - inhalación de, 192
 - irritante, 232
 - metálico, 189
 - nubes de, 140
 - tóxico, 231, 237
- Venenos, 5-11, 14, 15, 443
- Ventilación, 256, 374, 377, 390, 391
- Vía dérmica, 333, 334
- Vías respiratorias, 57, 229, 230, 234, 239, 282
- Volátiles, 208, 234, 237, 247, 289, 372, 416
 - productos, 208

Z

- Zootoxinas, 29

