

RIESGO QUÍMICO

Sistemática para la Evaluación Higiénica



MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

Riesgo químico:
sistemática para la
evaluación higiénica

Autores:

Aguilar Franco, Josefa
Bernaola Alonso, Manuel
Gálvez Pérez, Virginia
Rams Sánchez-Escribano, Pilar
Sánchez Cabo, M^a Teresa
Sousa Rodríguez, M^a Encarnación
Tanarro Gozalo, Celia
Tejedor Traspaderne, Jose N.

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías, INSHT

Coordinación:

Sánchez Cabo, M^a Teresa
Sousa Rodríguez, M^a Encarnación

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías, INSHT

Maquetación:

Servicios Gráficos Kenaf, s.l.

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Imprime:

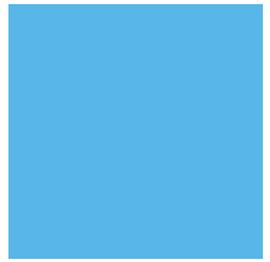
Servicio de Ediciones y Publicaciones - INSHT. Madrid

NIPO: 792-10-035-1

ISBN: 978-84-7425-786-1

Depósito legal: M-48242-2010

Presentación



La evaluación de los riesgos originados por los agentes químicos en los lugares de trabajo es una de las obligaciones que el Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, establece para los empresarios. Dicha evaluación es compleja, no sólo porque los agentes químicos tienen propiedades peligrosas muy diversas, que conllevan distintos tipos de riesgos, sino también porque estos agentes están presentes en una amplia variedad de actividades laborales ya sea por un uso intencionado o no. El hecho de que algunos agentes puedan producir efectos sobre la salud a largo plazo complica aún más su evaluación y control.

En la actualidad, aparte de la legislación que regula el riesgo químico, existen muchas herramientas (guías, normas, métodos, etc.) para llevar a cabo una adecuada actividad preventiva frente a los agentes químicos. Estas herramientas se encontraban hasta el momento dispersas, por lo que se consideró necesario reunir las en un único texto.

Para garantizar el éxito de la evaluación del riesgo químico es fundamental llevar un orden y una sistemática que garantice que no se queda ningún aspecto sin considerar. Para ello se han elaborado unos esquemas que guían al lector a lo largo de todo el procedimiento. Además, se dan pautas que ayudan a decidir cuándo medir y cuándo no, en caso de que el riesgo sea por inhalación, y para centrar la atención en aquellos riesgos de actuación prioritaria.

Los métodos simplificados de evaluación se han desarrollado considerablemente en los últimos años y están adquiriendo un papel importante cuando se trata el riesgo químico; por ello, se han integrado dentro del esquema general de actuación preventiva y se contemplan como una primera aproximación al problema higiénico y como un complemento de la evaluación cuantitativa.

Debido a la entrada en vigor del Reglamento (CE) n° 1272/2008, que adapta el sistema global armonizado al REACH, estamos ante un periodo transitorio, que durará unos cuantos años, de coexistencia de dos tipos de legislaciones procedentes de la UE en lo que a comercialización de productos químicos se refiere. Para sustancias, desde el 1 de diciembre de 2010, es obligatorio realizar el etiquetado y el envasado conforme al nuevo sistema. Por ello, todos los temas tratados en el texto se contemplan desde el punto de vista de las dos reglamentaciones, los Reales Decretos 363/1995 y 255/2003, por una parte, y el Reglamento (CE) n° 1272/2008, por otra.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, que, como parte de sus funciones de asesoramiento técnico y divulgación, tiene la obligación de suministrar herramientas que contribuyan a la mejora de las condiciones de trabajo, aporta de nuevo información para hacer frente a la problemática de los agentes químicos y para adaptarse a los cambios legislativos en los que nos encontramos inmersos.

Concepción Pascual Lizana
Directora del INSHT



INTRODUCCIÓN

1. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

1.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS AGENTES QUÍMICOS	19
1.2. VARIABLES ASOCIADAS A LOS AGENTES QUÍMICOS	19
1.3. PROHIBICIONES	20
1.4. SUSTITUCIÓN DE AGENTES QUÍMICOS	21
1.5. CANCERÍGENOS, MUTÁGENOS, TÓXICOS PARA LA REPRODUCCIÓN Y SENSIBILIZANTES	22
1.6. VIGILANCIA DE LA SALUD	25
1.7. CONDICIONES DE OPERACIÓN	25
1.8. PRINCIPIOS GENERALES PARA LA PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS POR AGENTES QUÍMICOS	26
BIBLIOGRAFÍA	27

2. ESTIMACIÓN DE RIESGOS

2.1. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS PELIGROSOS	31
2.1.1. Introducción	31
2.1.2. Estimación de riesgos relativa al almacenamiento	31
2.2. BOTELLAS Y BOTELLONES DE GASES A PRESIÓN	32
2.2.1. Introducción	32
2.2.2. Estimación de riesgos relativos a botellas y botellones de gases a presión	34
2.3. RESIDUOS PELIGROSOS	36
2.3.1. Introducción	36
2.3.2. Estimación de riesgos derivados de los residuos peligrosos	37

BIBLIOGRAFÍA	37
------------------------	----

3. FACTORES DE RIESGO

3.1. RIESGOS ASOCIADOS A LA SEGURIDAD DE LOS AGENTES QUÍMICOS	39
3.1.1. Reacciones químicas peligrosas	39
3.1.2. Incendio / Explosión	42
3.1.3. Asfixia	47
3.2. RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS	47
BIBLIOGRAFÍA	49

4. JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS

4.1. FUNDAMENTO Y OBJETIVOS	51
4.2. CONSIDERACIONES GENERALES	53
BIBLIOGRAFÍA	54

5. EXPOSICIÓN POR INHALACIÓN A AGENTES QUÍMICOS. ESTIMACIÓN INICIAL

5.1. EXPOSICIÓN POR INHALACIÓN A AGENTES QUÍMICOS	55
5.2. ESTRATEGIA DE MUESTREO Y COMPARACIÓN CON LOS VALORES LÍMITE	57
5.3. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL POR INHALACIÓN	60
5.3.1. Identificación de la posible exposición	62
5.3.2. Determinación de los factores de exposición en el lugar de trabajo	62
5.3.3. Evaluación de la exposición	62
5.4. ESTIMACIÓN INICIAL	63
BIBLIOGRAFÍA	67

6. ESTUDIO BÁSICO

BIBLIOGRAFÍA	73
--------------	----

7. ESTUDIO DETALLADO

7.1. PROCEDIMIENTO PARA EL ESTUDIO DETALLADO	76
7.2. ESTRATEGIA DE MUESTREO	78
7.2.1. Diseño de la estrategia de muestreo	78
7.2.2. Selección de los trabajadores a medir	79
7.2.3. Selección de las condiciones de medida	80
7.2.4. Procedimiento de medida	85
7.3. CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN DIARIA	85
7.3.1. Muestreos tipos A y B	85
7.3.2. Muestreos tipo C	86
7.3.3. Muestreos tipo D	86
7.4. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN	89
7.5. VALORACIÓN A PARTIR DEL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN OBTENIDO	89
7.6. MEDICIONES PERIÓDICAS	91
BIBLIOGRAFÍA	93

8. COMPARACIÓN CON EL VALOR LÍMITE DE CORTA DURACIÓN

BIBLIOGRAFÍA	103
--------------	-----

9. CONTACTO CON LA PIEL Y LOS OJOS

9.1. MECANISMOS Y FACTORES DE CONTACTO	106
9.2. PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN FRENTE AL RIESGO POR CONTACTO CON LA PIEL	109
9.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR CONTACTO CON LA PIEL	111
BIBLIOGRAFÍA	114

10. ABSORCIÓN POR LA PIEL

10.1. CONTACTO CON LA PIEL	116
10.2. CONTROL BIOLÓGICO	117
10.3. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POR VÍA DÉRMICA	117
BIBLIOGRAFÍA	119

11. CONTROL BIOLÓGICO

11.1. TIPO DE MUESTRAS	122
------------------------	-----

11.2. TOXICOCINÉTICA DE LOS CONTAMINANTES DE ORIGEN LABORAL	123
---	-----

11.2.1. Absorción	124
11.2.2. Distribución	124
11.2.3. Metabolismo	124
11.2.4. Acumulación	127
11.2.5. Eliminación	128
11.3. VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS (VLB®)	129
11.3.1. VLB®. Bases del establecimiento	129
11.3.2. Significado de los VLB®	130
11.3.3. Interpretación de los resultados	132
11.3.4. Ventajas y limitaciones del control biológico	133
11.3.5. Aplicaciones del control biológico	135

BIBLIOGRAFÍA	136
--------------	-----

ANEXO A. VENTILACIÓN

A.1. VENTILACIÓN GENERAL POR DILUCIÓN	139
A.1.1. Descripción	139
A.1.2. Ámbito de aplicación	140
A.1.3. Recomendaciones técnicas	140
A.1.4. Mantenimiento y comprobaciones	141
A.1.5. Recomendaciones de uso	141
A.2. EXTRACCIÓN LOCALIZADA	142
A.2.1. Descripción	142
A.2.2. Ámbito de aplicación	143
A.2.3. Ejemplos de aplicación	143
A.2.4. Recomendaciones técnicas y principios prácticos de diseño	144
A.2.5. Mantenimiento y comprobación de la eficacia	147
A.2.6. Diagnóstico de averías y verificación del funcionamiento del sistema de extracción localizada	149
A.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UNA VENTILACIÓN POR DILUCIÓN O EXTRACCIÓN LOCALIZADA	151
BIBLIOGRAFÍA	153

ANEXO B. JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

B.1. JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS POTENCIALES	155
B.1.1. Determinación de la clase de peligro	156
B.1.2. Determinación de la clase de cantidad	158

B.1.3. Determinación de la clase de frecuencia	159
B.1.4. Determinación de la clase de exposición potencial	159
B.1.5. Determinación de la puntuación de riesgo potencial	159
B.2. EJEMPLOS DE APLICACIÓN	161
B.2.1. Ejemplo 1: Jerarquización de riesgos potenciales	161
B.2.2. Ejemplo 2: La jerarquización como método de sustitución	165
BIBLIOGRAFÍA	166

ANEXO C. EVALUACIÓN SIMPLIFICADA DEL RIESGO POR INHALACIÓN (I): MÉTODO BASADO EN EL “COSHH Essentials” DEL HSE

C.1. INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS SIMPLIFICADOS DE EVALUACIÓN	167
C.2. MÉTODO BASADO EN EL MÉTODO DEL HSE	168
C.2.1. Peligrosidad intrínseca de la sustancia	170
C.2.2. Tendencia a pasar al ambiente	171
C.2.3. Cantidad utilizada por operación	172
C.2.4. Nivel de riesgo potencial	172
C.3. EJEMPLO DE APLICACIÓN	173
BIBLIOGRAFÍA	175

ANEXO D. EVALUACIÓN SIMPLIFICADA DEL RIESGO POR INHALACIÓN (II): MÉTODO BASADO EN EL MÉTODO DEL INRS

D.1. MÉTODO SIMPLIFICADO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR INHALACIÓN	177
D.1.1. Determinación del riesgo potencial ...	179
D.1.1.1. Determinación de la clase de peligro	179
D.1.1.2. Determinación de la clase de cantidad	181
D.1.1.3. Determinación de la clase de frecuencia	182
D.1.1.4. Determinación de la clase de exposición potencial	182
D.1.1.5. Determinación y puntuación de la clase de riesgo potencial	182
D.1.2. Determinación de la volatilidad o pulverulencia	183
D.1.3. Determinación del procedimiento ...	186
D.1.4. Determinación de la protección colectiva	187

D.1.5. Corrección en función del VLA	188
D.1.6. Cálculo de la puntuación del riesgo por inhalación	188
D.2. EJEMPLOS DE APLICACIÓN	189
D.2.1. Ejemplo 1: Exposición a disolventes en restauración de muebles	189
D.2.2. Ejemplo 2: Exposición a AQ	190
BIBLIOGRAFÍA	196

ANEXO E. GRÁFICOS DE PROBABILIDAD

BIBLIOGRAFÍA	204
--------------------	-----

ANEXO F. EVALUACIÓN SIMPLIFICADA DEL RIESGO POR CONTACTO Y/O ABSORCIÓN POR LA PIEL. MÉTODO DEL INRS

F.1. DETERMINACIÓN Y PUNTUACIÓN DE LA CLASE DE PELIGRO	205
F.2. DETERMINACIÓN DE LA PUNTUACIÓN POR SUPERFICIE EXPUESTA	207
F.3. DETERMINACIÓN DE LA PUNTUACIÓN POR FRECUENCIA DE EXPOSICIÓN	207
F.4. CÁLCULO DE LA PUNTUACIÓN DEL RIESGO POR CONTACTO/ABSORCIÓN	208
BIBLIOGRAFÍA	209

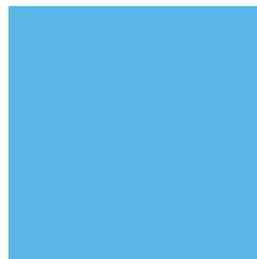
ANEXO G. METODOLOGÍA DEL RISKOFDERM Y LA APLICACIÓN TOOLKIT

BIBLIOGRAFÍA	219
--------------------	-----

ANEXO H. CORRESPONDENCIA ENTRE EL RD 363/1995 Y EL REGLAMENTO (CE) n° 1272/2008

H.1. CORRESPONDENCIA DE FRASES ENTRE EL RD 363/1995 Y EL REGLAMENTO (CE) N° 1272/2008 PARA PELIGROS FÍSICOS	226
H.2. CORRESPONDENCIA DE FRASES ENTRE EL RD 363/1995 Y EL REGLAMENTO (CE) N° 1272/2008 PARA PELIGROS PARA LA SALUD ..	227
H.3. CORRESPONDENCIA DE FRASES ENTRE EL RD 363/1995 Y EL REGLAMENTO (CE) N° 1272/2008 PARA PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE	230
H.4. CORRESPONDENCIA ENTRE LAS FRASES DE RIESGO ATRIBUIDAS EN EL RD 363/1995 Y LOS REQUISITOS DE ETIQUETADO DEL REGLAMENTO CLP	230
H.5. LISTADO DE FRASES R	231
H.6. LISTADO DE FRASES H	235
BIBLIOGRAFÍA	239

Introducción



Los productos químicos están con frecuencia presentes en el ambiente laboral, a veces de forma inadvertida. Se pueden usar o manipular en muy diversas situaciones (síntesis industrial, laboratorios de análisis, tratamientos de superficie, trasvase y vaciado, limpieza, etc.), pudiendo dar lugar a exposiciones significativas como consecuencia de fallos en los procesos, vertidos, fugas y salpicaduras accidentales, o cuando se rompe el nivel de contención previsto.

Es necesario conocer y evaluar los riesgos derivados del uso o de la exposición para garantizar un buen estado de seguridad y salud de los trabajadores, así, en función de las condiciones de trabajo y de los resultados de la evaluación de riesgos, se aplicarán las medidas de prevención o protección necesarias, para eliminar lo evitable o, al menos, tener controlado el riesgo dentro de unos márgenes aceptables.

El presente libro va en esa línea, por lo tanto, establece unas pautas generales para la actuación preventiva frente a la presencia de agentes químicos en los lugares de trabajo, proporcionando algunas herramientas prácticas de evaluación de riesgos para poder así:

1. Decidir sobre la necesidad o no de adoptar medidas preventivas adicionales a las ya existentes.
2. Determinar la índole de las medidas preventivas que hay que adoptar.
3. Priorizar las medidas preventivas necesarias.

Para ello, el procedimiento que aquí se presenta consta de una serie de etapas (ver figura 1), interrelacionadas mediante esquemas, con las que se pretende abarcar, de la forma más general posible, las situaciones reales que se puedan encontrar y abordar la evaluación de un modo progresivo y ordenado. Como se verá a lo largo del texto, en las tres primeras etapas de la figura 1 se tratan

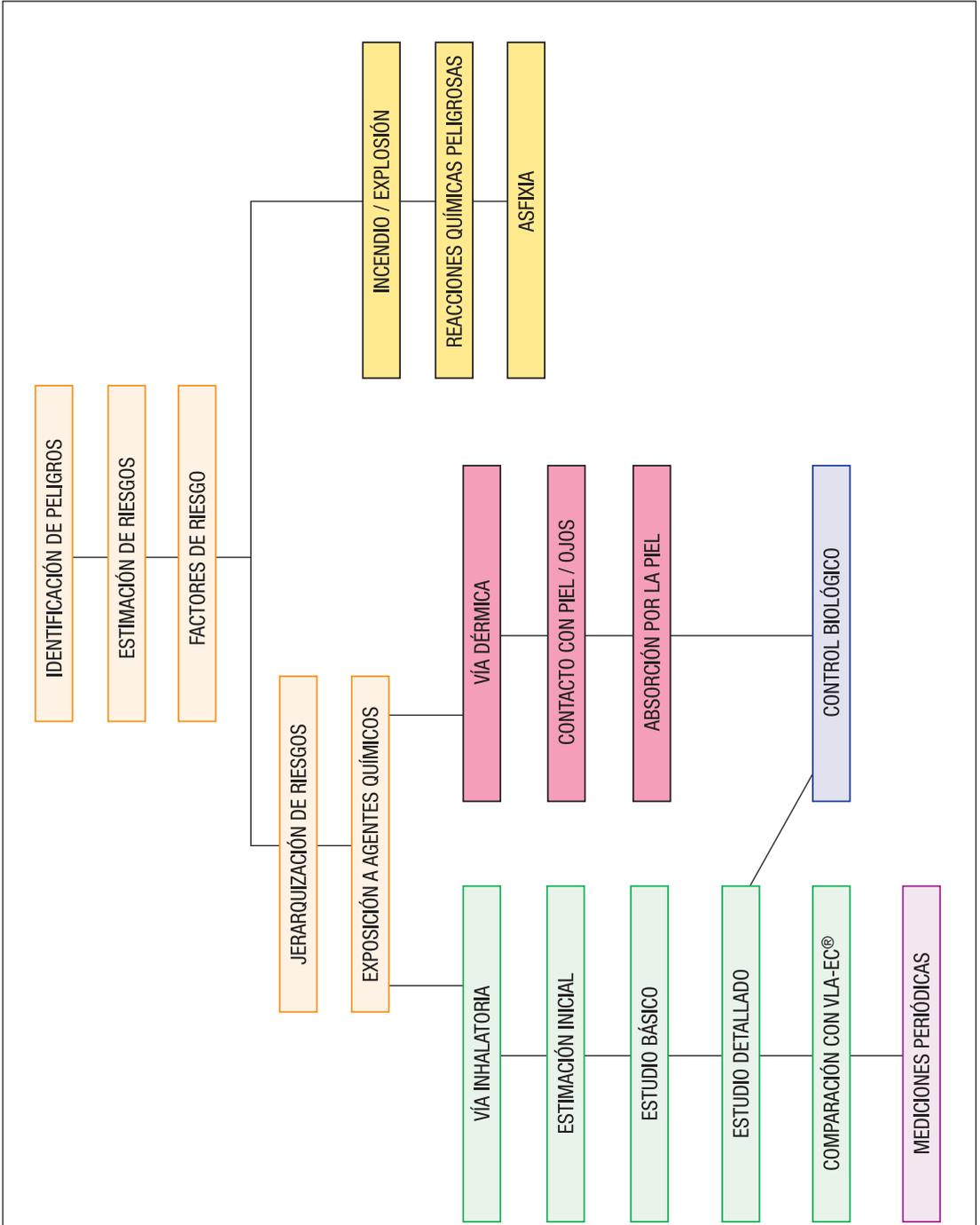


Figura 1.- Evaluación de la exposición a agentes químicos.

aspectos tanto de seguridad como de higiene y es a partir de la etapa de jerarquización en donde se enfoca la evaluación hacia el objetivo de este documento, los riesgos higiénicos. Sin embargo, el hecho de que no se trate de forma amplia la evaluación de los riesgos de incendio y explosión, reacciones químicas peligrosas y asfixia no significa, ni mucho menos, que no tengan que ser evaluados ni que sean de menor importancia que los riesgos derivados de la exposición a agentes químicos.

Es importante, para comprender mejor el alcance de este documento, considerar determinados aspectos del mismo. Puesto que “evaluar” no significa lo mismo que “medir”, el resultado que se busca, en muchas ocasiones, es obtener, de algún modo, una estimación de la exposición para poder comparar la misma con los valores límite y no medir la exposición. Aunque en determinadas circunstancias, tales como aquellas en las que la exposición se encuentra cerca de los valores límite, u otras en las que están presentes determinados tipos de agentes químicos, como son cancerígenos, mutágenos, tóxicos para la reproducción o sensibilizantes, será necesario efectuar mediciones, de acuerdo con lo recomendado por la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos, publicada por el INSHT.

Aunque el método que aquí se presenta está pensado para poder desarrollarlo de principio a fin, no es necesario completar todas las etapas. Si en cualquiera de ellas se tiene información suficiente para adoptar una medida preventiva o un cambio en las ya adoptadas o en el propio proceso, hay que detener la evaluación del riesgo, implantar la medida o el cambio y volver a iniciar el proceso de evaluación.

La evaluación de riesgos (ver figura 1) comienza con una primera etapa denominada **“Identificación de peligros”** en donde se dan una serie de pautas para obtener toda la información posible sobre sustancias, procesos, cantidades utilizadas, forma en la que está presente, valores límite, etc. Gran parte de la información se puede obtener tanto de la etiqueta de los productos como de su ficha de datos de seguridad. En esta fase se debe identificar si existe alguna sustancia prohibida o susceptible de ser sustituida por otra menos peligrosa y aplicar los principios generales de prevención, si no se hubiera hecho.

La etapa de **“Estimación de riesgos”** engloba aquellos riesgos que derivan de los almacenes de productos químicos, los gases a presión y los residuos tóxicos y peligrosos. Se trata de aspectos que son necesarios, en ciertos casos, para el desarrollo del proceso productivo o bien que son consecuencia del mismo y que, además, se caracterizan por poseer legislación específica que hay que cumplir.

Para las situaciones en las que dicha legislación no es aplicable, como es el caso de pequeños almacenes, se facilitan una serie de cuestiones que ayudan a valorar el riesgo.

Siguiendo con el esquema de la figura 1, la tercera etapa "**Factores de riesgo**" recopila aquellos factores que influyen tanto en los riesgos de seguridad, es decir, incendios/explosiones, asfixia y reacciones químicas peligrosas, y cuya materialización daría lugar a un accidente, como los riesgos relacionados con la salud que pueden provocar intoxicaciones, enfermedades, etc. Con esta fase no se pretende realizar un análisis exhaustivo de todos los factores de riesgo, sino que en la práctica lo que se busca es tener en mente qué aspectos influyen en los distintos tipos de riesgo detectados para ver si existen deficiencias claras y de fácil solución. En caso de tener que seguir con el procedimiento, se considerarán algunos de estos factores en las etapas posteriores.

En cualquier evaluación del riesgo químico, además de identificar los peligros y los distintos factores de riesgo asociados, hay que evaluar la eficacia y la suficiencia de las medidas de control adoptadas. Para ello, se ha incluido un anexo, el anexo A, dedicado a la ventilación, una de las medidas de control más importantes.

A partir de esta etapa, se considerarán solamente los riesgos de inhalación, absorción a través de la piel y contacto con la piel y los ojos.

La "**Jerarquización de riesgos**", con la que continúa el proceso descrito, es una etapa cuyo objetivo es establecer el orden de prioridad para la evaluación posterior de todas las situaciones de riesgo. El utilizar o no un método para ello depende de la experiencia del técnico, sin embargo, cuando el número de riesgos detectados es elevado, debido a que se evalúan varios procesos o productos a la vez, sí que es de gran utilidad recurrir a algún tipo de procedimiento como el que se desarrolla en el anexo B.

Cuando la vía de entrada del contaminante químico sea la inhalatoria el estudio continúa de acuerdo con lo indicado en la Norma UNE-EN 689. Las etapas son: estimación inicial, estudio básico, estudio detallado y comparación con el valor límite de corta duración.

La "**Estimación inicial**" permite tener una primera idea de la posible exposición y detectar exposiciones cuyo riesgo derivado no es admisible o que claramente son muy inferiores al valor límite. Cuando esto no sea posible, se continuará con el estudio básico. Las metodologías simplificadas pueden constituir una buena ayuda para realizar la estimación inicial. En los anexos C y D se exponen, respectivamente, las desarrolladas por el HSE y por el INRS.

El objetivo del "**Estudio básico**" es estimar la magnitud del riesgo cuando esto no ha sido posible en la etapa anterior, sin ne-

cesidad de realizar ninguna medición ambiental. Proporciona información cuantitativa sobre la exposición de los trabajadores afectados teniendo en cuenta, especialmente, las tareas con mayores exposiciones.

Habrà que continuar con el **“Estudio detallado”** cuando se necesite obtener una información válida y fiable sobre la exposición, por ejemplo, cuando dicha exposición está próxima al valor límite. Como complemento a este estudio se ha incluido el anexo E en el que se incluyen los gráficos de probabilidad.

Para completar esta evaluación, será necesario evaluar las exposiciones de corta duración comparando con los valores límite de corta duración, VLA-EC®, si los hubiese, o con los límites de desviación en caso contrario, tal y como se detalla en **“Comparación con el valor límite de corta duración”**.

Aparte de lo indicado para inhalación, hay que tener presente que estos agentes pueden estar en contacto con la piel y con las mucosas originando una serie de riesgos que hay que evaluar. El contacto con algunos agentes químicos puede dar lugar a efectos locales (irritación, quemaduras, sensibilización...) o incluso a efectos sistémicos si son capaces de penetrar a través de la piel en cantidades significativas. Por ello, hay un capítulo dedicado al **“Contacto con la piel y los ojos”** y otro exclusivo para aquellos agentes que son capaces de penetrar a través de la piel, el de **“Absorción por la piel”**.

Al igual que en el caso de riesgo por inhalación, la evaluación del riesgo por contacto del agente químico con la piel puede iniciarse utilizando un procedimiento simplificado (ver anexo F). Para un estudio más completo, existe una herramienta informática (Tool-kit), desarrollada en el anexo G, con la que se puede realizar una evaluación de forma separada para sustancias con efectos locales y sensibilización dérmica y para aquéllas con efectos sistémicos originados tras la absorción de la sustancia por la piel.

Para poder determinar si existe una vía de exposición diferente a la inhalatoria puede ser de utilidad el control biológico que sirve, por tanto, para valorar la exposición global, es decir, por todas las vías de entrada, a las sustancias químicas que están presentes en el puesto de trabajo. En el apartado de **“Control biológico”** se explica qué requisitos y limitaciones tiene, así como en qué situaciones es aplicable, bien sea como complemento de la valoración ambiental, para comprobar la eficacia de un EPI o, en el caso de exposición a plomo, por ser obligatorio.

En resumen, este libro pretende ser una guía de ayuda para elaborar el informe de evaluación de riesgos que a su vez nos permita elaborar la planificación preventiva, es decir, el programa cronoló-

gico que indique las medidas a adoptar, así como las prioridades y plazos, asigne responsables y verifique mediante la revisión permanente la eficacia de las medidas de control adoptadas, mientras no cambien las condiciones de trabajo previstas.

Identificación de peligros

1

La metodología que se propone parte de la identificación de los peligros existentes en los puestos de trabajo, tareas, actividades, etc., y la posterior estimación del riesgo para cada uno de los peligros detectados.

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Si se trata de un proceso nuevo o ya en marcha.
- Si se trata de aplicar un valor límite de exposición nuevo.
- Si se trata de un cambio de operación, proceso o composición.
- Si es el caso de operaciones o procesos intermitentes o inusuales (carga y descarga de material, mantenimiento, etc.).

De este modo, se puede saber si se dispone o no de información de partida acerca de la exposición, las medidas de control, las mediciones que hayan podido realizarse con anterioridad u otros aspectos relativos a las condiciones de trabajo que se puedan utilizar durante el proceso de evaluación de riesgos.

En la figura 1.1 se puede ver un esquema de esta primera etapa. El objetivo de la misma es identificar los agentes químicos presentes en el lugar de trabajo y obtener información sobre la peligrosidad de dichos agentes y sobre las condiciones de operación. En esta etapa, se aborda la posibilidad de sustitución de los agentes químicos peligrosos, medida prioritaria frente al riesgo químico, y se aplican, si no se ha hecho con anterioridad, los principios generales de prevención. Todos estos pasos se detallan a lo largo del texto.

Se recomienda consultar el Anexo A que contiene información sobre el diseño y verificación de los sistemas de ventilación por dilución y extracción localizada.

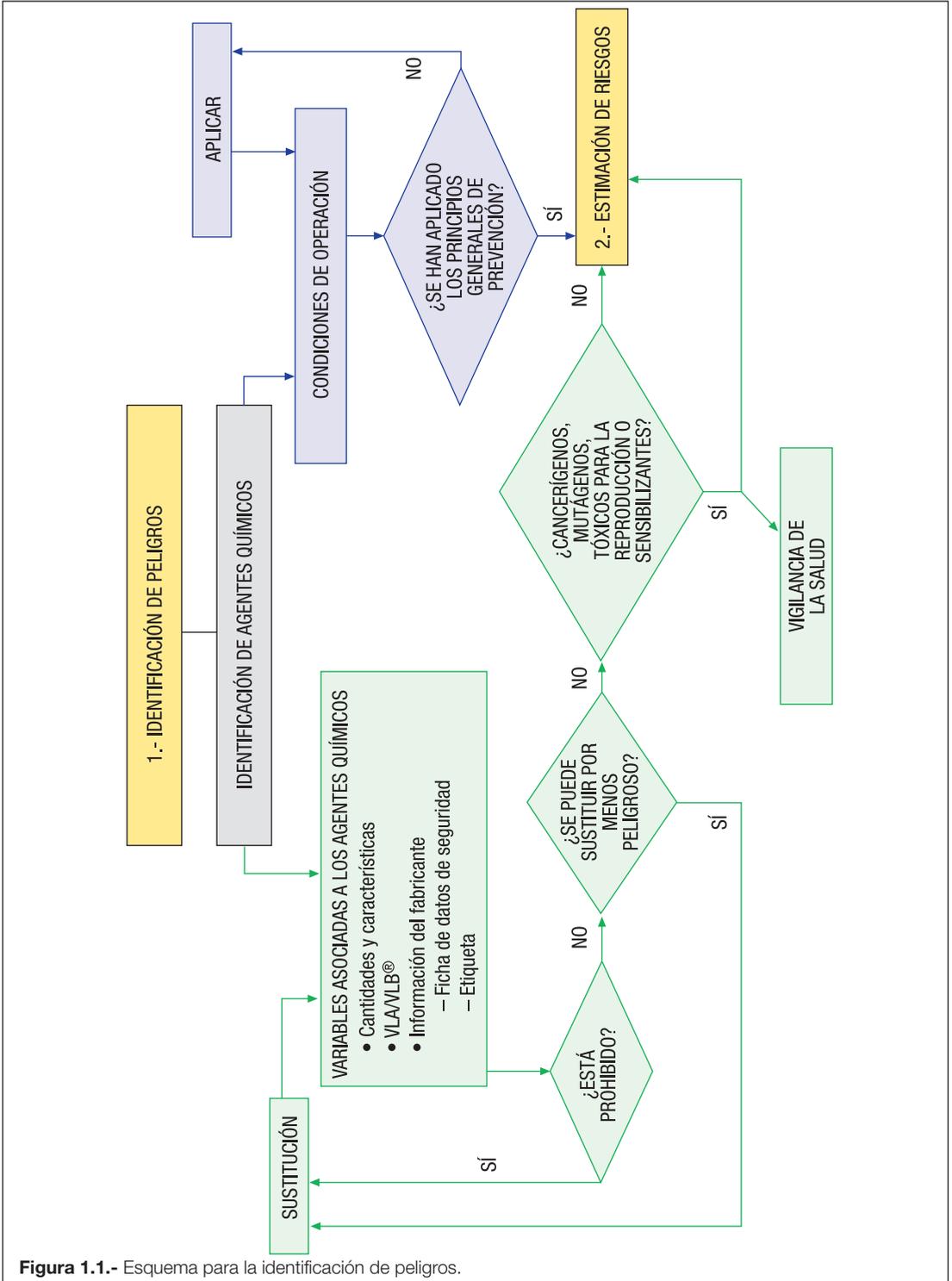


Figura 1.1.- Esquema para la identificación de peligros.

1.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS AGENTES QUÍMICOS

El primer paso es identificar todos los agentes químicos que pueden estar presentes en el lugar de trabajo. El origen de los mismos puede estar en el proceso laboral y las actividades relacionadas con él (mantenimiento, manutención, almacenamiento y reparación) o en otro tipo de actividades no ligadas al proceso (limpieza, desinfección, transporte, obras y modificaciones). Por otra parte, estos agentes pueden estar presentes en las condiciones normales de trabajo o ser consecuencia de situaciones laborales anómalas, tales como descontrol de procesos químicos, errores de manipulación o accidentes [1.1].

Por lo tanto, para que el estudio de los agentes químicos sea completo, habrá que considerar:

- Materias primas.
- Productos acabados.
- Productos intermedios.
- Subproductos.
- Impurezas.
- Residuos.
- Productos de limpieza, refrigerantes, lubricantes, pinturas, etc.
- Productos que se generan durante el almacenamiento temporal o permanente en los lugares de trabajo.
- Productos que penetran desde el exterior (ventilación, vehículos, etc.).

1.2. VARIABLES ASOCIADAS A LOS AGENTES QUÍMICOS

Para evaluar la peligrosidad de los agentes químicos identificados hay que recopilar información acerca de las siguientes variables:

- Cantidades.
- Propiedades fisicoquímicas y toxicológicas.
- Estado físico (sólido, líquido o gas).
- Vías de entrada en el organismo, principalmente, la inhalatoria y la dérmica.
- Valores límite ambientales y biológicos, considerando, en primer lugar, los establecidos en los anexos I y II del Real Decreto 374/2001 [1.2] o en una normativa específica aplicable [1.3,

1.4] o, en su ausencia, los publicados por el INSHT [1.5]. Cuando no existan, se pueden utilizar valores límite de otras asociaciones internacionales [1.6].

- Enfermedades profesionales que pueden causar [1.7].
- Información que se pueda recopilar de [1.1, 1.8]:
 - Etiqueta del producto.
 - Ficha de datos de seguridad (FDS).
 - Recomendaciones que la Comisión Europea haya hecho públicas sobre los resultados de la evaluación del riesgo y sobre la estrategia de limitación del riesgo para sustancias.
 - Otras fuentes, por ejemplo, la normativa sobre transporte de mercancías peligrosas, las fichas internacionales de seguridad química, las hojas de datos de seguridad de los materiales o las bases de datos que se pueden consultar a través de Internet (toxnet [1.9], risctox [1.10], etc.). El apéndice 2 de la Guía de Agentes Químicos [1.1] contiene un listado más extenso de fuentes de información.

1.3. PROHIBICIONES

El artículo 8 del Real Decreto 374/2001 [1.2] prohíbe, salvo ciertas excepciones, la producción, fabricación o utilización de los siguientes agentes químicos (en concentración superior al 0,1% en peso):

- 2-naftilamina y sus sales
- 4-aminodifenilo y sus sales
- bencidina y sus sales
- 4-nitrodifenilo

Otros agentes tenían establecidas limitaciones a la comercialización y uso por el Real Decreto 1406/1989 y sus modificaciones [1.11], legislación que fue derogada con la entrada en vigor el 1 de junio de 2009 del Título VIII del Reglamento REACH [1.12], que dedica su anexo XVII a las restricciones.

En este apartado también conviene consultar el listado de sustancias de alta preocupación que es publicado y actualizado periódicamente por la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos [1.13]. Éste contiene las sustancias candidatas para la lista del anexo XIV del Reglamento REACH [1.12], es decir, sustancias que pueden tener que someterse al proceso de autorización descrito en dicho Reglamento.

1.4. SUSTITUCIÓN DE AGENTES QUÍMICOS

La medida prioritaria frente a los riesgos relacionados con los agentes químicos es la sustitución de dichos agentes [1.2]. Para los cancerígenos y los mutágenos los requisitos de sustitución son incluso más estrictos y deben sustituirse siempre que sea posible desde el punto de vista técnico [1.3].

Se considera, por lo tanto, muy necesaria la búsqueda de alternativas para [1.14]:

- Cancerígenos, mutágenos y tóxicos para la reproducción.
- Sensibilizantes.
- Sustancias tóxicas y muy tóxicas (con inclusión de las neurotóxicas), persistentes y bioacumulativas en el medio ambiente y los seres vivos.
- Alteradores endocrinos.

La sustitución presenta varios problemas que hacen que su aplicación sea muchas veces dificultosa [1.15]:

- No es fácil encontrar agentes químicos que sean técnicamente viables como sustitutos.
- Los sustitutos técnicamente viables pueden tener también un cierto grado de peligrosidad, que debe considerarse.

La solución a la primera dificultad depende de las características técnicas del proceso. El segundo problema puede resolverse con alguno de los métodos existentes sobre sustitución de sustancias químicas:

- Modelo de columnas [1.8, 1.14, 1.16]: desarrollado por el IFA (Instituto alemán de las mutuas de profesionales). Este método analiza la peligrosidad del agente químico sustituto con la información de la ficha de datos de seguridad y del proceso. Tiene en cuenta los siguientes aspectos:
 - Toxicidad aguda y toxicidad crónica
 - Riesgo de incendio y explosión
 - Exposición potencial
 - Peligros asociados al proceso
 - Riesgos para el medio ambiente
- Códigos de producto [1.14]: se trata de un etiquetado especial que utilizan algunos sectores para comparar productos de distinta composición o características dentro de una misma familia (por ejemplo: pinturas, adhesivos, disolventes compuestos, etc). Estos códigos indican las propiedades del producto en distintos ámbitos: riesgo potencial de su manipulación, medidas

preventivas, peligrosidad para el medio ambiente, características técnicas, etc.

Además, existen aplicaciones informáticas con bases de datos que informan sobre la peligrosidad de los agentes químicos, en donde se pueden buscar productos alternativos, comparar los riesgos de dos productos y diseñar nuevos productos con criterios preventivos [1.14].

La bibliografía indicada contiene ejemplos de aplicación del modelo de columnas, información sobre tipos de códigos de productos y direcciones en las que se pueden encontrar este tipo de aplicaciones informáticas.

A veces, puede aplicarse la jerarquización en la sustitución de un agente químico por otro (ver Anexo B). Aunque la aplicación de este método tiene en cuenta menos aspectos que los otros métodos propuestos, puede resultar útil cuando la situación que se plantee sea sencilla, permitiendo obtener una conclusión del problema con bastante rapidez. En este sentido, cabe recordar que la jerarquización que aquí se propone no considera otro tipo de riesgos como, por ejemplo, los asociados a la seguridad de los agentes químicos y que se basa fundamentalmente en los riesgos por inhalación y vía dérmica.

El Anexo B contiene un ejemplo de aplicación de jerarquización (según el método del INRS francés) para estudiar la posibilidad de sustitución de un producto químico por otro.

1.5. CANCERÍGENOS, MUTÁGENOS, TÓXICOS PARA LA REPRODUCCIÓN Y SENSIBILIZANTES

Dada la peligrosidad de este tipo de agentes químicos, es necesario identificarlos desde las primeras etapas del proceso de evaluación de riesgos.

Las características de estos agentes hacen que no existan exposiciones seguras, por lo tanto, en estos casos, es necesario tomar medidas que reduzcan el riesgo al mínimo posible. Además, se llevará a cabo una evaluación del riesgo por inhalación que incluirá mediciones ambientales y, cuando sea posible, una vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos [1.1].

Para los agentes cancerígenos y mutágenos es difícil identificar niveles de exposición por debajo de los cuales no exista riesgo, por lo tanto, se admite la existencia de una relación exposición-probabilidad de efecto, es decir, a menor exposición menor riesgo [1.5]. Para los cancerígenos y mutágenos de categorías 1 y 2 (1A y 1B

según la nueva reglamentación) es de aplicación el Real Decreto 665/1997 y sus modificaciones [1.3].

Con la tabla 1.1, se pueden identificar los agentes que se tratan en este apartado a partir de:

- Las frases R [1.17].
- Las indicaciones de peligro del nuevo sistema de clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, basado en el sistema global armonizado (SGA) [1.18].
- La información disponible en el Documento Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España (LEP) [1.5]. El apartado 8 de dicho documento contiene una lista de cancerígenos y mutágenos de categorías 1 y 2 (1A y 1B) y los valores límite de exposición adoptados para algunos de ellos.

Aparte de lo indicado, existen clasificaciones para sustancias cancerígenas procedentes de organizaciones internacionales de reconocido prestigio, tales como la IARC [1.19] y la ACGIH [1.20].

Las exposiciones a agentes sensibilizantes también deben eliminarse o reducirse a un nivel tan bajo como sea técnicamente posible. Aunque inicialmente la respuesta de las personas a un compuesto de este tipo puede ser pequeña o no existir, después de que se produzca la sensibilización, las exposiciones siguientes pueden producir respuestas intensas incluso a muy bajas concentraciones. Generalmente, en personas sensibilizadas, la reducción de la exposición disminuye la incidencia de las reacciones alérgicas, sin embargo, hay casos en los que la única forma de prevenir la respuesta inmunológica es evitar por completo la exposición [1.5].

Los sensibilizantes tienen también sus frases R características, sus nuevas indicaciones de peligro y aparecen en la lista de Valores Límite Ambientales (VLA) señalizados con la notación "Sen". La asignación de esta notación no significa necesariamente que la sensibilización sea el efecto crítico en el que está basado el VLA ni que sea el único efecto de ese agente. Los VLA basados en la sensibilización pretenden proteger a los trabajadores de este efecto pero no intentan proteger a los trabajadores que ya se encuentran sensibilizados.

Los trabajadores que se han sensibilizado a un compuesto en particular también pueden presentar una reactividad cruzada a otros compuestos con estructura química similar. Las sustancias que no son sensibilizantes, pero sí irritantes, pueden igualmente provocar o agravar la reacción alérgica de los individuos sensibilizados [1.5].

Muchos sensibilizantes presentes en el lugar de trabajo no están clasificados ni etiquetados como tales debido a que son de origen

RD 363/1995 [1.17]		Reglamento (CE) n° 1272/2008 [1.18]		LEP ⁽¹⁾
Clasificación	Frases R	Clasificación	Indicaciones de peligro	
Cancerígenos categorías 1 y 2 ⁽²⁾	R45 R49	Cancerígenos categoría 1 (1A y 1B)	H350: Puede provocar cáncer H350i: Puede provocar cáncer por inhalación	Apartado 8 Tabla 2
Cancerígenos categoría 3	R40	Cancerígenos categoría 2	H351: Se sospecha que provoca cáncer	
Mutágenos categorías 1 y 2 ⁽²⁾	R46	Mutágenos categoría 1 (1A y 1B)	H340: Puede provocar defectos genéticos	Apartado 8 Tabla 2
Mutágenos categoría 3	R68	Mutágenos categoría 2	H341: Se sospecha que provoca defectos genéticos	
Tóxicos para la reproducción categorías 1, 2 y 3	R60 R61 R62 R63	Tóxicos para la reproducción categorías 1 (1A y 1B) y 2	H360: Puede perjudicar a la fertilidad o dañar al feto H360F: Puede perjudicar a la fertilidad H360D: Puede dañar al feto. H360Fd: Puede perjudicar a la fertilidad. Se sospecha que daña al feto. H360Df: Puede dañar al feto. Se sospecha que perjudica a la fertilidad. H360FD: Puede perjudicar a la fertilidad. Puede dañar al feto. H361: Se sospecha que puede perjudicar a la fertilidad o dañar al feto. H361f: Se sospecha que perjudica a la fertilidad. H361d: Se sospecha que daña al feto. H361fd: Se sospecha que perjudica a la fertilidad. Se sospecha que daña al feto.	
Sensibilizantes	R42 R43	Sensibilizantes respiratorios categoría 1 Sensibilizantes de contacto categoría 1	H334: Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación H317: Puede provocar una reacción alérgica en la piel	notación "Sen"

⁽¹⁾ Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España [1.5].

⁽²⁾ Para estos agentes es de aplicación el RD 665/1997 y sus modificaciones [1.3].

Tabla 1.1.- Criterios para la identificación de cancerígenos, mutágenos, tóxicos para la reproducción y sensibilizantes.

natural. Generalmente son proteínas y agentes biológicos presentes en nuestro entorno, pero también típicos de determinados procesos de trabajo [1.21].

Para más información sobre sensibilizantes se pueden consultar las hojas informativas de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo [1.21, 1.22].

1.6. VIGILANCIA DE LA SALUD

Cuando la evaluación de riesgos ponga de manifiesto la existencia de un riesgo para la salud de los trabajadores, el empresario deberá llevar a cabo una vigilancia de la salud de dichos trabajadores [1.2]. Esta vigilancia ha de ser periódica y específica en función de los riesgos inherentes al trabajo. El Reglamento de los Servicios de Prevención [1.23] encomienda al Ministerio de Sanidad y Consumo y a las Comunidades Autónomas el establecimiento de la periodicidad y contenido de la vigilancia de la salud específica. Esto se hace mediante protocolos que se pueden consultar en la página web del Ministerio de Sanidad y Consumo [1.24].

La vigilancia de la salud se considera indicada cuando se dan estas tres condiciones simultáneamente [1.1]:

- Existen pruebas de una asociación causal entre la exposición al agente químico identificado y un daño a la salud.
- Existe la posibilidad de que el agente químico interactúe con el organismo y que el daño para la salud se actualice debido a las circunstancias concretas de la exposición.
- Existen métodos y exploraciones complementarias contrastadas que permiten detectar el efecto o daño en cuestión y no suponen un riesgo apreciable para el trabajador.

En ciertos casos la vigilancia de la salud es un requisito obligatorio para trabajar con un agente químico porque así lo establece una disposición legal o porque resulta imprescindible para evaluar los efectos de las condiciones de trabajo sobre la salud del trabajador [1.2]. Esta situación puede darse cuando [1.1]:

- No esté garantizada la efectividad de las medidas preventivas.
- La exposición por vía dérmica pueda ser importante.
- La exposición sea muy irregular.

1.7. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Hasta este punto sólo se ha centrado la atención en los agentes químicos y sus características. Sin embargo, para caracterizar el

riesgo, es necesario conocer también las condiciones en las que se manipulan o están presentes, para ello hay que revisar:

- Tareas.
- Ciclos y técnicas de trabajo.
- Procesos de producción.
- Configuración del lugar de trabajo.
- Medidas y procedimientos de seguridad.
- Instalaciones de ventilación y otras formas de control técnico.
- Fuentes de emisión.
- Periodos de exposición.
- Carga de trabajo.
- Etc.

1.8. PRINCIPIOS GENERALES PARA LA PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS POR AGENTES QUÍMICOS

Deben aplicarse siempre que se trabaja con agentes químicos peligrosos, independientemente de que la evaluación de riesgos indique la necesidad de aplicación de medidas de prevención o protección [1.1, 1.8].

Se concretan en la aplicación de unas técnicas que permiten la consecución de unos objetivos básicos para reducir los riesgos.

Objetivos:

- Reducir las cantidades de agentes químicos peligrosos presentes en el lugar de trabajo al mínimo necesario para el tipo de trabajo de que se trate.
- Reducir al mínimo el número de trabajadores expuestos o que puedan estarlo.
- Reducir al mínimo la duración e intensidad de las exposiciones.

Medios:

- Concepción y organización de los sistemas de trabajo en el lugar de trabajo. Ejemplos:
 - Ventilación adecuada.
 - Planificar la distribución de puestos de trabajo y tareas de modo que el número de trabajadores expuestos y el tiempo de exposición sea lo más bajo posible.
 - Limitar las cantidades en el lugar de trabajo a las estrictamente necesarias.

- Limitar o eliminar la manipulación manual.
- Confinar o aislar los lugares en donde se utilicen agentes químicos peligrosos.
- Selección e instalación de los equipos de trabajo. Ejemplos:
 - Deben ser herméticos en la medida de lo posible.
 - Tener en cuenta la peligrosidad y características del agente y del entorno en donde se va a instalar.
- Establecimiento de procedimientos de trabajo adecuados.
- Medidas higiénicas adecuadas, tanto personales como de orden y limpieza.

BIBLIOGRAFÍA

1.1.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.

1.2.- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

1.3.- Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, y modificaciones posteriores, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a cancerígenos o mutágenos durante el trabajo.

1.4.- Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

1.5.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. (Publicación anual).

1.6.- INSTITUT FÜR ARBEITSSCHUTZ DER DEUTSCHEN GESETZLICHEN UNFALLVERSICHERUNG (IFA) Database on hazardous substances. GESTIS - International limit values for chemical agents. Disponible en web:

http://www.dguv.de/ifa/en/gestis/limit_values/index.jsp

1.7.- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.

1.8.- COMUNIDADES EUROPEAS. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Guía Práctica de la Directiva sobre Agentes Químicos 98/24/CE.

1.9.- Disponible en web: <http://toxnet.nlm.nih.gov/>

1.10.- Disponible en web: <http://www.istas.net/risctox/>

1.11.- Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, y modificaciones posteriores, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.

1.12.- Reglamento (CE) n° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH).

1.13.- AGENCIA EUROPEA DE SUSTANCIAS Y PREPARADOS QUÍMICOS (ECHA). Disponible en web: http://echa.europa.eu/chem_data/authorisation_process/candidate_list_table_en.asp

1.14.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO NTP n° 712. Sustitución de agentes químicos peligrosos (II): criterios y modelos prácticos.

1.15.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO NTP n° 673. La sustitución de agentes químicos peligrosos: aspectos generales.

1.16.- INSTITUT FÜR ARBEITSSCHUTZ DER DEUTSCHEN GESETZLICHEN UNFALLVERSICHERUNG (IFA) The Colum Model – An aid to risk identification and substitute assessment, 2001. Disponible en web: <http://www.dguv.de/ifa/en/prax/spalte/spaltmod.pdf>

1.17.- Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, y modificaciones posteriores, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.

1.18.- Reglamento (CE) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, y sus modificaciones, 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° 1907/2006.

1.19.- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC) Disponible en web: <http://www.iarc.fr>

1.20.- AMERICAN CONFERENCE OF INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH) Disponible en web: <http://www.acgih.org>

1.21.- AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO FACTS 39: Sensibilizantes respiratorios. Disponible en web: <http://agency.osha.eu.int>

1.22.- AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO FACTS 40: Sensibilizantes cutáneos. Disponible en web: <http://agency.osha.eu.int>

1.23.- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

1.24.- MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO Protocolos de vigilancia sanitaria específica de los trabajadores. Disponible en web:

<http://www.msc.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/saludLaboral/vigiTrabajadores/protocolos.htm>

Puesto que el riesgo se puede definir como la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado de la exposición a agentes químicos [2.1] y, para ello, hay que tener en cuenta la naturaleza del agente químico (AQ) y las condiciones de operación, es de especial importancia en la estimación del riesgo estudiar estas condiciones o factores que pueden afectar a la materialización del peligro.

Por una parte, están las que se refieren a las condiciones de utilización del AQ en el proceso productivo propiamente dicho, que se van a desarrollar en el capítulo 3 “Factores de riesgo”, y, por otra, aquellos aspectos del riesgo químico que son estudiados dentro del ámbito de la seguridad en el trabajo y que son necesarios para el desarrollo del proceso productivo, aunque no forman parte del mismo, como es el caso de los almacenes de productos químicos y los gases a presión. En este capítulo se incluye también la generación de residuos. Como se puede apreciar, se trata de actividades paralelas al proceso a las que puede no prestarse la atención que se merecen durante la evaluación, de ahí que se dedique este capítulo al estudio de las mismas.

Hay que tener en cuenta que las actividades de las que hablamos poseen legislación específica y, por lo tanto, la evaluación consistirá en verificar el cumplimiento de la misma, de ahí que se hable de estimación de riesgos.

En la figura 2.1 se muestra un esquema de esta etapa. En caso de que no existan agentes químicos peligrosos (AQP), se redactará el correspondiente informe y se dará por concluida la evaluación de riesgos. Si, por el contrario, en la etapa anterior se ha comprobado la presencia de AQP, se estimarán los riesgos de los almacenes, los gases a presión y los residuos generados, y se comprobará que se cumple con la legislación vigente.

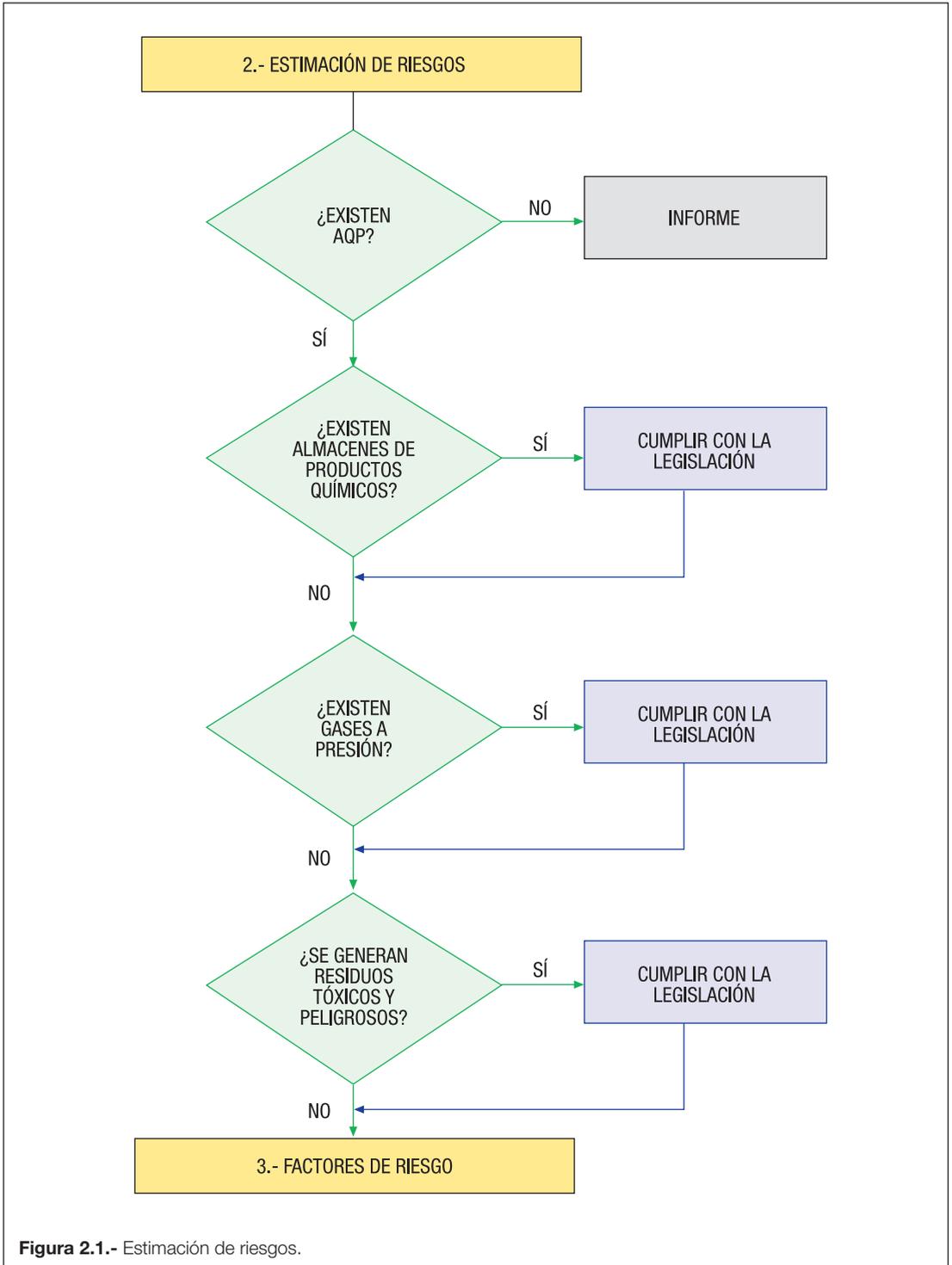


Figura 2.1.- Estimación de riesgos.

2.1. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS PELIGROSOS

Se entiende por “almacenamiento” el conjunto de recipientes, de cualquier tipo, que pueden contener o hayan contenido productos químicos, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, independientemente de que estén ubicados en el exterior o en el interior de los edificios. Se incluyen los tanques y/o depósitos, sus cubetos de retención, las vías de circulación y separación, los conductos de conexión y las zonas e instalaciones anejas a las de carga, descarga y tránsito [2.2].

El almacenamiento de productos químicos está regulado por el Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC) [2.3, 2.4, 2.5]:

- MIE APQ-1: almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.
- MIE APQ-2: almacenamiento de óxido de etileno.
- MIE APQ-3: almacenamiento de cloro.
- MIE APQ-4: almacenamiento de amoníaco anhidro.
- MIE APQ-5: almacenamiento de botellas y botellones de gases comprimidos licuados y disueltos a presión.
- MIE APQ-6: almacenamiento de líquidos corrosivos.
- MIE APQ-7: almacenamiento de líquidos tóxicos.
- MIE APQ-8: almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno.
- MIE APQ-9: almacenamiento de peróxidos orgánicos.

No obstante, los requisitos legales establecidos en esta normativa relativa al almacenamiento sólo serán de aplicación a partir de una determinada cantidad almacenada, siempre y cuando no se disponga lo contrario en alguna de las ITC. Dicha cantidad varía en función del tipo de producto químico del que se trate, así, por ejemplo, en el caso de irritantes, sensibilizantes, cancerígenos, mutágenos o tóxicos para la reproducción será de aplicación cuando se almacenen cantidades iguales o superiores a 1000 kg y, sin embargo, en el caso de los comburentes, esta cantidad es de 500 kg [2.3].

En el cuadro 2.1 se indican una serie de requisitos básicos que deben cumplirse en el almacenamiento de productos químicos y que pueden ayudar a la hora de realizar la estimación de riesgos, sobre todo cuando, por las cantidades almacenadas, no sea de aplicación la legislación anteriormente citada.

2.1.1. Introducción

2.1.2. Estimación de riesgos relativa al almacenamiento

Requisitos básicos

Reducir las cantidades almacenadas de productos químicos a las mínimas posibles.

Disponer de unas instalaciones adecuadas en cuanto a dimensiones, ventilación, señalización, sistemas de drenaje, iluminación, estanterías, etc., en función del tipo de producto almacenado.

Identificar adecuadamente los materiales y los productos químicos y su cantidad. Los recipientes deberán estar correctamente etiquetados conforme a la legislación vigente.

Colocar los materiales sin invadir zonas de acceso y de forma segura, limpia y ordenada.

Controlar el acceso de personas y vehículos ajenos a la instalación.

Almacenar las sustancias peligrosas debidamente separadas, considerando la incompatibilidad de ciertas sustancias (cuadro 2.2) y las frases S.

Mantener las sustancias inflamables alejadas de fuentes de calor, llama o chispa.

Comprobar periódicamente el buen estado de los envases evitando su deterioro por la variación en las condiciones térmicas del almacén.

Disponer de recipientes seguros y en buen estado para el transporte de productos químicos peligrosos.

No efectuar trasvases en la zona de almacenamiento.

Disponer de procedimientos seguros de manipulación y de medios para prevenir fugas o vertidos. Disponer de materiales adsorbentes.

Cuadro 2.1.- Requisitos básicos para el almacenamiento de productos químicos.

2.2. BOTELLAS Y BOTELLONES DE GASES A PRESIÓN

2.2.1. Introducción Para estimar el riesgo derivado de la presencia de botellas y botellones a presión en el lugar de trabajo, es importante conocer cuál es su contenido y las propiedades del mismo.

Por su estado físico se pueden distinguir [2.6]:

- Gases comprimidos, como argón, helio, hidrógeno, nitrógeno y monóxido de carbono.
- Gases licuados, como el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre, el óxido de dinitrógeno o el amoniaco.
- Gases licuados refrigerados, por ejemplo: argón líquido, nitrógeno líquido y helio líquido.
- Gases disueltos, como es el caso del acetileno, en donde el gas a presión se suministra, por razones de seguridad, disuelto en un disolvente en fase líquida.

Desde el punto de vista preventivo, los gases se clasifican en función de sus propiedades, que pueden consultarse en la ficha de datos de seguridad, en [2.7]:

	 Inflamables	 Explosivos	 Tóxicos	 Radiactivos	 Comburentes	 Nocivos irritantes
 Inflamables	+	-	-	-	-	+
 Explosivos	-	+	-	-	-	-
 Tóxicos	-	-	+	-	-	+
 Radiactivos	-	-	-	+	-	-
 Comburentes	-	-	-	-	+	0
 Nocivos irritantes	+	-	+	-	0	+

+ Se pueden almacenar conjuntamente

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

- No deben almacenarse juntas

Son ejemplos de agentes incompatibles:

- oxidantes con: inflamables, carburos, nitruros, hidruros, sulfuros, alquilmetales
- reductores con: nitratos, cloratos, bromatos, óxidos, peróxidos, flúor
- ácidos fuertes con bases fuertes
- ácido sulfúrico con: celulosa, ácido perclórico, permanganato potásico, cloratos

Son ejemplos de agentes inestables:

- productos cuyo almacenamiento prolongado entraña la posibilidad de descomposición: amiduros alcalinos, ciertas sales de diazonio
- sustancias fácilmente peroxidables: compuestos alílicos, compuestos vinílicos, estireno
- compuestos que reaccionan violentamente en contacto con el aire: fosfuros, hidruros
- monómeros que polimerizan rápidamente: acetato de vinilo, estireno, acrilonitrilo

Son ejemplos de agentes que reaccionan peligrosamente:

- con el agua: metales alcalinos, peróxidos inorgánicos, carburos, fosfuros
- con ácido clorhídrico: sulfuros, hipocloritos, cianuros
- con ácido nítrico: algunos metales
- con ácido sulfúrico: ácido fórmico, ácido oxálico, alcohol etílico

Cuadro 2.2.- Incompatibilidades de almacenamiento de sustancias peligrosas [2.1].

- Inflamables
- Tóxicos
- Corrosivos
- Oxidantes
- Autoinflamables
- Criogénicos
- Inertes

La ITC EP-6 “Recipientes a presión transportables”, aprobada por el Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre [2.8], es la que se aplica a las condiciones de utilización de botellas y botellones, entre otros, mientras que la manipulación, el almacenamiento y la utilización de estos recipientes se realizará teniendo en cuenta los requisitos de la ITC MIE APQ-5 del Real Decreto 379/2001 [2.3] (ver apartado 2.1 “Almacenamiento de Productos Químicos Peligrosos”).

Las botellas deben estar perfectamente etiquetadas, conforme a la legislación vigente [2.6, 2.9]. Además, como sistema complementario al etiquetado, se utiliza un código de colores en la ojiva [2.10] que permite identificar su contenido y, por tanto, los riesgos asociados al mismo, ya sea un gas o una mezcla, y la aplicación a la que se destina: industrial, mezcla o medicinal (cuadros 2.3 y 2.4).

TÓXICO Y/O CORROSIVO
INFLAMABLE
OXIDANTE
INERTE

Cuadro 2.3.- Colores de identificación según propiedades del gas contenido.

ACETILENO
OXÍGENO
ÓXIDO NITROSO
ARGÓN
NITRÓGENO
DIÓXIDO DE CARBONO
HELIO

Cuadro 2.4.- Colores de identificación para gases específicos.

2.2.2. Estimación de riesgos relativos a botellas y botellones de gases a presión

A la hora de abordar los riesgos derivados de la presencia de botellas y botellones en el lugar de trabajo, de su manipulación y almacenamiento, hay que tener en cuenta los siguientes requisitos básicos (cuadro 2.5), que permiten obtener información relevante acerca de estos riesgos.

Requisitos básicos

TRANSPORTE

No eliminar ningún elemento de protección.

Realizar el transporte con la válvula cerrada y la caperuza de protección puesta, incluso si la botella está vacía.

No coger por la caperuza en ningún caso.

Utilizar carretillas para trasladar las botellas colocando éstas en posición vertical y sujetándolas con abrazaderas. Para pequeños desplazamientos o si no se dispone de carretilla, se podrán mover haciéndolas girar sobre su base.

Evitar el arrastre, deslizamiento o rodadura en posición horizontal.

ALMACENAMIENTO

Identificar correctamente el contenido de las botellas.

Señalar la zona de almacenamiento indicando los tipos de gases almacenados y disponer de instrucciones de seguridad para cada gas almacenado.

Almacenar por separado las botellas llenas y las vacías.

Almacenar siempre en posición vertical y debidamente protegidas para evitar su caída (ancladas a la pared).

Proteger las botellas de proyecciones incandescentes.

Evitar choques entre botellas y contra superficies duras y, en general, cualquier tipo de agresión mecánica que pueda suponer un deterioro del recipiente.

Mantener siempre con las válvulas cerradas y provistas de su caperuza, incluso para las botellas vacías.

No almacenar botellas que presenten fugas u otro tipo de deterioro. En este caso, avisar al suministrador para su retirada inmediata.

Disponer de suministro permanente de agua que permita enfriar las botellas en caso de incendio.

No disponer en el local de reactivos, grasas o aceites.

Colocar, siempre que sea posible, las botellas en casetas de gases exteriores y distribuir desde allí los gases a las distintas zonas de uso.

UTILIZACIÓN Y MANIPULACIÓN

Disponer de personal experimentado y previamente informado para el manejo de las botellas.

Disponer de las instrucciones de uso y mantenimiento así como de las de emergencia en los lugares de utilización, de forma accesible.

Disponer de un plan de mantenimiento preventivo de las instalaciones. El usuario es el responsable de la correcta manipulación de las botellas y del gas que contienen y de conservar en buen estado tanto éstas como sus accesorios.

Disponer de la protección personal adecuada. Se recomienda calzado de seguridad y guantes adecuados libres de grasa. En caso necesario, utilizar la protección respiratoria específica.

Cuadro 2.5.- Requisitos básicos para el transporte, almacenamiento y manipulación de botellas y botellones de gases a presión.

2.3. RESIDUOS PELIGROSOS

2.3.1. Introducción

Según la Ley 10/1998 de Residuos [2.11], se considera residuo cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en su anexo, del que su propietario debe o tiene la intención u obligación de desprenderse. En todo caso, tendrán esta consideración los que figuren en el Catálogo Europeo de Residuos (CER), aprobado por las Instituciones Comunitarias.

Los residuos se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Residuos asimilables a urbanos: por su característica o composición son similares a los de producción domiciliaria.
- Residuos inertes: los que, depositados en un vertedero, no sufren modificación química, física o biológica, no reaccionan entre sí ni producen lixiviados.
- Residuos peligrosos: los que en su composición contienen uno o varios elementos que son tóxicos, nocivos, irritantes, corrosivos, inflamables, mutágenos o cancerígenos.
- Residuos no peligrosos: los que no pueden englobarse en ninguna de las categorías anteriores.

Los residuos peligrosos son los que se tratan en este apartado. La legislación contempla también como residuo peligroso los recipientes y envases que los hayan contenido [2.11, 2.12].

Los residuos peligrosos van identificados por códigos (ver ejemplo de la figura 2.2) que permiten disponer de información relativa a los mismos, de tal forma que se facilita el control de residuos desde su producción hasta su destino final. La información necesaria se obtiene a partir de los códigos contemplados en una serie de tablas que figuran en el Anexo I del Real Decreto 952/1997 [2.12].

RESIDUOS PELIGROSOS	
NOMBRE: ACEITES MINERALES	
CÓDIGO: Q16 // R01 // L08 // C53 // H2B/06 // A871.7 // B0019	
TITULAR:	
NOMBRE DE LA EMPRESA	
NOMBRE, DIRECCIÓN Y TELÉFONO DEL TITULAR DE LOS RESIDUOS	
 	FECHA DE ENVASADO:

Figura 2.2.- Etiqueta de residuo peligroso.

En el cuadro 2.6 se especifican una serie de requisitos básicos que deben tenerse en cuenta en el transporte, almacenamiento y manipulación de residuos y que son útiles para estimar los riesgos relativos a los residuos peligrosos.

2.3.2. Estimación de riesgos derivados de los residuos peligrosos

Requisitos básicos
Disponer de una adecuada ventilación en la zona dispuesta para el transporte y almacenamiento de los envases (completamente ventilada y aislada de cualquier foco de ignición).
Limitar el tiempo de permanencia de los residuos en el lugar de generación o de almacenamiento temporal.
Identificar correctamente los residuos.
Respetar la incompatibilidad de sustancias.
Realizar el transporte de los envases de residuos mediante medios mecánicos de carga siempre que sea posible.
Evitar manipular los residuos en solitario.
No utilizar envases para residuos líquidos con capacidad superior a 30 litros, para facilitar su manipulación y evitar riesgos innecesarios.
No fumar y / o comer durante la manipulación y transporte de residuos.
Efectuar el vertido de los residuos en los envases correspondientes de forma lenta y controlada e interrumpir la actividad si se observa cualquier fenómeno anormal. Si fuera necesario, utilizar en el transvase una bomba preferentemente manual y, en caso de ser eléctrica, antideflagrante.
Disponer de los equipos de protección individual adecuados, que eviten el contacto directo con los residuos.
Disponer de procedimientos adecuados de trasvase, transporte y almacenamiento.
Disponer de procedimientos y medios para actuación en caso de emergencia o vertido accidental.

Cuadro 2.6.- Requisitos básicos para el transporte, almacenamiento y manipulación de residuos.

Una vez comprobado que se cumplen los requisitos básicos expuestos anteriormente y la legislación específica aplicable para estas instalaciones y actividades, el proceso de evaluación continuará con el análisis de los factores de riesgo implicados en el proceso productivo propiamente dicho (ver capítulo 3 “Factores de riesgo”).

BIBLIOGRAFÍA

2.1.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.

- 2.2.- Bartual Sánchez, J. y Torrado del Rey, S. Riesgo químico. 4ª Edición. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2007. ISBN 978-84-7425-727-1.
- 2.3.- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ 1 a 7.
- 2.4.- Real Decreto 2016/2004, de 11 de octubre, por el que se aprueba la instrucción técnica complementaria MIE APQ-8 "Almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno".
- 2.5.- Real Decreto 105/2010, de 5 de febrero, por el que se modifican determinados aspectos de la regulación de los almacenamientos de productos químicos y se aprueba la instrucción técnica complementaria MIE APQ-9 "Almacenamiento de peróxidos orgánicos".
- 2.6.- Reglamento (CE) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, y sus modificaciones, 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) nº 1907/2006.
- 2.7.- Guardino Sola J. [et al]. Seguridad y condiciones de trabajo en el laboratorio. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2001. ISBN 84-7425-584-8.
- 2.8.- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias EP 1 a 6.
- 2.9.- Norma UNE-EN ISO 7225: 2008. Botellas de gas. Etiquetas de precaución.
- 2.10.- Norma UNE-EN 1089-3:2004: Botellas para el transporte de gas. Identificación de las botellas de gas (excepto de GLP). Parte 3: Código de colores.
- 2.11.- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.
- 2.12.- Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado por el Real Decreto 833/1988, de 20 de julio.

Los riesgos derivados de la presencia de agentes químicos pueden clasificarse, siguiendo el esquema de la figura 3.1, como riesgos asociados a la seguridad de los agentes químicos, en los que la materialización del peligro daría lugar a un accidente, y riesgos derivados de la exposición a agentes químicos, que pueden dar lugar a intoxicaciones, enfermedades, etc.

3.1. RIESGOS ASOCIADOS A LA SEGURIDAD DE LOS AGENTES QUÍMICOS

Los peligros asociados a la seguridad de los agentes químicos (AQ) se materializan en accidentes que pueden dar lugar a incendios, explosiones o reacciones químicas peligrosas que pueden suponer daños a los trabajadores, a las instalaciones e incluso provocar accidentes mayores.

Las circunstancias que intervienen en los accidentes que implican AQ se esquematizan en la figura 3.2.

El art. 5.3 del RD 374/2001 [3.1] establece que deben adoptarse medidas para la protección de los trabajadores frente al riesgo de incendios, explosiones o reacciones químicas peligrosas.

Dada su importancia, el riesgo de incendio y explosión se incluye en un punto aparte, aunque sea consecuencia de una reacción química peligrosa.

Las reacciones químicas peligrosas pueden ser debidas a las características fisicoquímicas de las sustancias presentes tales como inflamabilidad, inestabilidad o reactividad química frente a otras sustancias presentes en el lugar de trabajo.

3.1.1. Reacciones químicas peligrosas

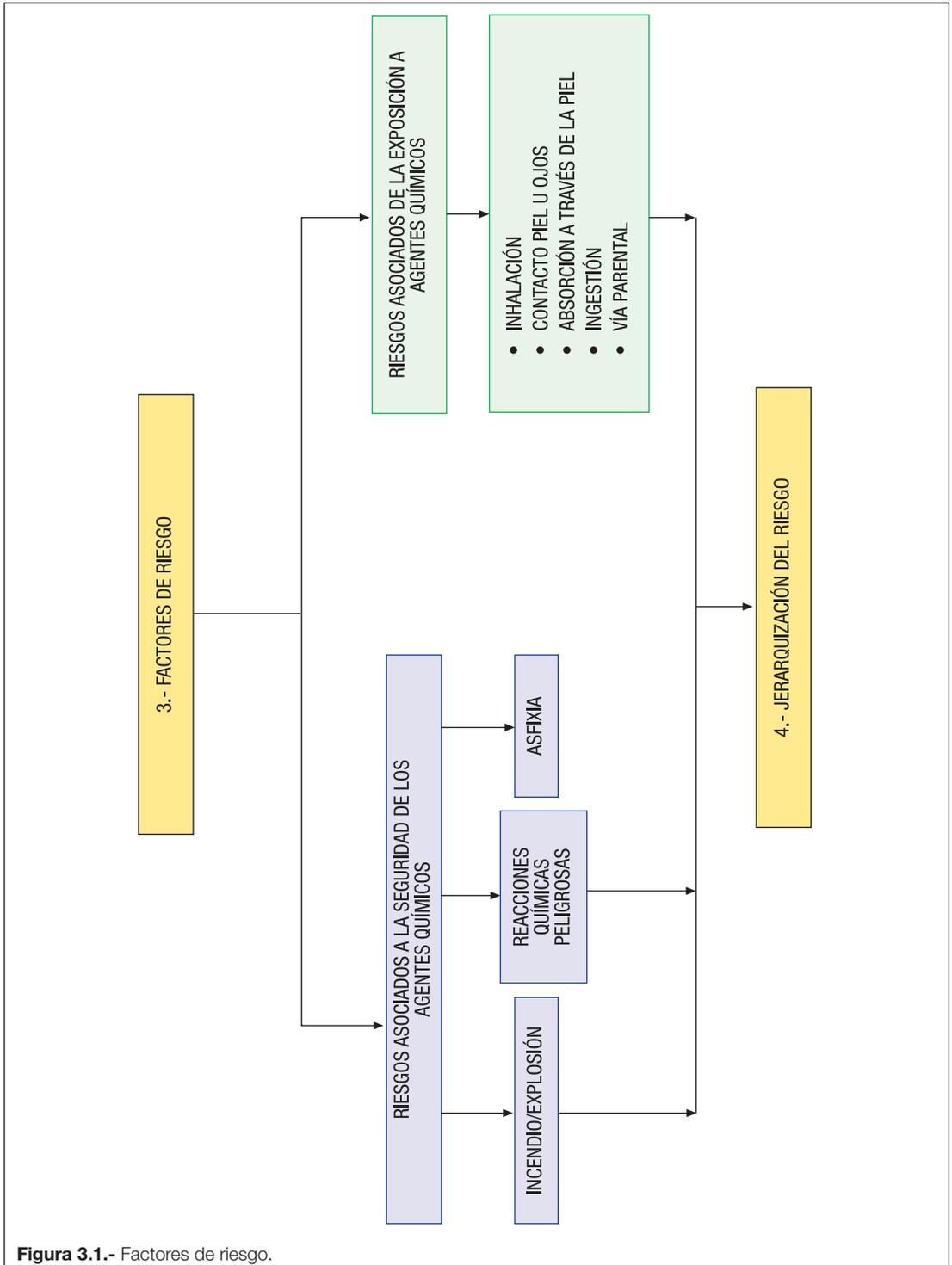
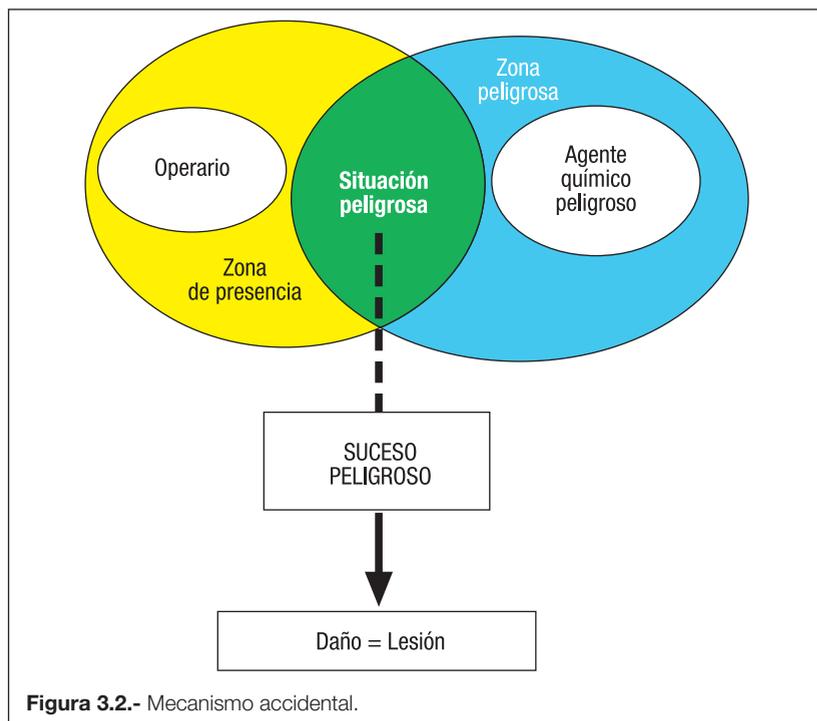


Figura 3.1.- Factores de riesgo.



El conocimiento de este tipo de propiedades es fundamental para el almacenamiento de productos químicos, especialmente las incompatibilidades de cada sustancia, ya sea por “familias” o las específicas debidas a su reactividad.

Las reacciones indeseadas pueden ser debidas a:

- Compuestos que reaccionan violentamente con el agua (R14-R15).
- Compuestos que reaccionan violentamente con el aire (R17-R18).
- Incompatibilidad.
- Reacciones peligrosas con los ácidos (R31-R32).
- Formación de peróxidos explosivos (R19).
- Reacciones de polimerización.
- Reacciones de descomposición.

Se han incluido entre paréntesis las frases R aplicables a este tipo de reacciones peligrosas. Las fichas de datos de seguridad (FDS) dan una información más completa sobre estos peligros y sobre las medidas preventivas en los apartados de identificación de los peligros, medidas de lucha contra incendios, manipulación y almacenamiento, estabilidad y reactividad.

Un resumen de las incompatibilidades por “familias” basadas en el etiquetado de la sustancia y su almacenamiento puede encontrarse en la Guía Técnica de Agentes Químicos [3.2].

Esta guía [3.2] considera los siguientes factores de riesgo en relación con las reacciones químicas peligrosas:

- Reactividad e inestabilidad química de sustancias.
- Características de la reacción (balances másicos y energéticos, exotermicidad, desprendimiento de gases tóxicos).
- Sistema de agitación inadecuado.
- Sistema de aporte de calor no suficientemente controlado.
- Sistema de refrigeración infradimensionado.
- Sistema de control de las variables clave de la reacción poco fiable (regulación de presión, temperatura y caudal).
- Dispositivos de seguridad de los equipos inadecuados (reactor, mezclador, agitador).
- Adición manual de sustancias.
- Presencia no controlada de subproductos.
- Procedimientos de trabajo en operaciones peligrosas (toma de muestras, carga de aditivos) inexistentes, insuficientes o no actualizados.

3.1.2. Incendio / Explosión

Los incendios originados por productos químicos pueden causar daños materiales importantes, lesiones corporales y, en algunos casos, la muerte de personas. Los daños materiales están relacionados con la temperatura alcanzada en el incendio, que depende del poder calorífico del combustible, mientras que los daños sobre personas pueden ser producidos por el calor o por la acción directa de las llamas, aunque el efecto más frecuente es la intoxicación o asfixia debida a la inhalación de gases tóxicos de la combustión, principalmente CO, o a la falta de oxígeno.

En los lugares de trabajo pueden estar presentes un gran número de sustancias inflamables como gasolinas, disolventes, gases para soldadura, sin olvidar los materiales combustibles en forma de polvo entre los que se encuentra el polvo de madera, harina, azúcar, metales, etc.

Los incendios y explosiones son ocasionados por la ignición incontrolada de agentes químicos inflamables (R1-R2-R3-R4-R5-R6-R7-R8-R9-R10-R11-R12-R15-R16-R17-R18-R19-R30-R44) o de otros materiales presentes en el lugar de trabajo. La prevención consiste en eliminar al menos alguno de los tres componentes: combustible, oxígeno o fuente de ignición (llama, chispa o punto de calor).

Para que se produzca un incendio o una explosión es necesario un combustible (como una sustancia inflamable), el aire y una fuente de ignición. Para el caso de la explosión es necesaria además, la presencia de una atmósfera explosiva.

El RD 681/2003 [3.3] sobre protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de la formación de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo define atmósfera explosiva como *“mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada”*.

Es decir, que para que se produzca una explosión, además de una ignición, es necesario que el combustible esté disperso en el ambiente en determinada concentración y que la combustión tenga lugar en un espacio confinado.

La reacción de combustión genera unos productos (humos, gases, residuos sólidos) y mucho más calor que el necesario inicialmente. Cuando éste se reinvierte en promover el desarrollo de nuevas reacciones químicas en cadena, el proceso de combustión se hace incontrolable y, mientras no se elimine alguno de los tres factores que determinan la posibilidad del incendio, éste no se extingue.

La posibilidad de estas reacciones en cadena como cuarto factor, junto con los tres ya citados, permite el fenómeno de la progresión espontánea del incendio y su propagación en el espacio y en el tiempo.

La propagación de un incendio se realiza en todas las direcciones de forma espontánea, aunque, a efectos prácticos, se diferencien las propagaciones horizontal y vertical.

También es importante la velocidad de propagación de un incendio, entendida como la velocidad de avance del frente de reacción, es decir, la velocidad lineal de propagación del frente que separa la zona no destruida de los productos de la reacción.

Los incendios se pueden clasificar por la velocidad de propagación en:

- Combustiones simples (viva y con llama): velocidad de propagación $< 1\text{m/s}$ (combustión de sólidos como papel o madera, líquidos contenidos en recipientes).
- Combustiones deflagrantes o deflagraciones (muy viva): velocidad de propagación $> 1\text{m/s}$ e inferior a la del sonido (vapores de líquidos inflamables, mezclas en aire de polvos combustibles).

- Combustiones detonantes o detonaciones (instantánea): velocidades de propagación superiores a la del sonido (explosivos industriales, mezcla de gases y vapores inflamables en condiciones especiales, como en espacios confinados).

La peligrosidad del combustible depende fundamentalmente de su estado físico (sólido, líquido o gas) y, en cada caso, de otros aspectos ligados a sus propiedades físico-químicas:

- Para combustibles sólidos el grado de fragmentación es fundamental ya que a mayor división se precisa menor energía, en intensidad y duración, para iniciar la combustión.
- Para líquidos y gases inflamables los parámetros fundamentales son el límite inferior de inflamabilidad (proporción combustible - aire que hace falta para la ignición) y la energía mínima de ignición (energía de activación necesaria para que se produzca la reacción de combustión).
- La inflamabilidad de los líquidos se caracteriza por la temperatura de inflamación ("destello") que es la temperatura mínima a la que el combustible emite vapores suficientes para que se forme la mezcla inflamable. A su vez, se define como punto de auto inflamación la temperatura mínima a la que arde un material de forma espontánea bajo la acción del calor y sin contacto con llama (el éter etílico se inflama espontáneamente a los 160° C).

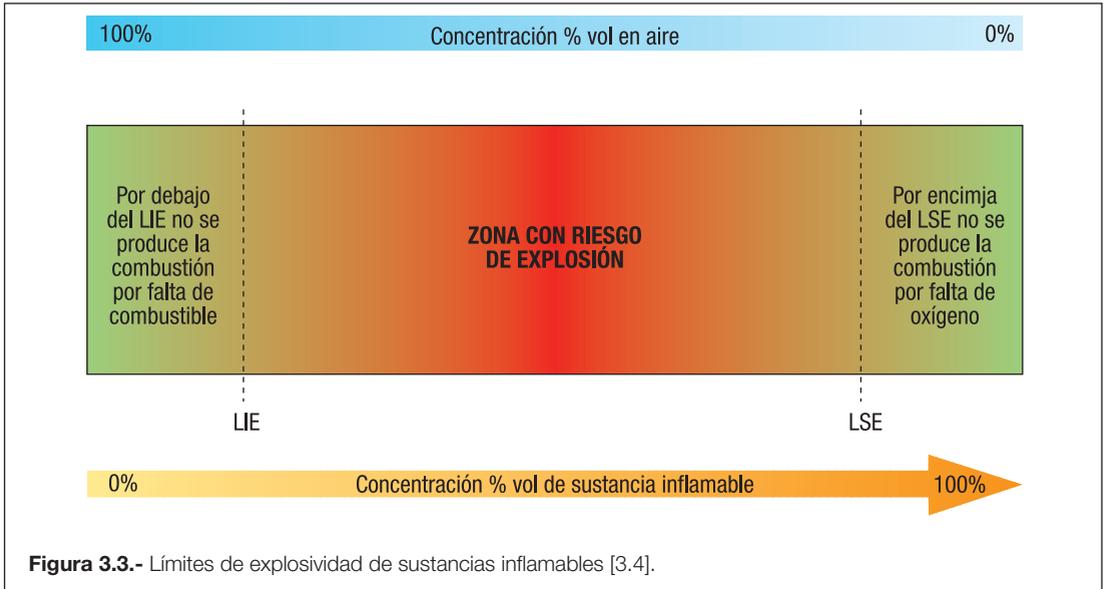
Los principales parámetros a considerar para evaluar la posible formación de atmósferas explosivas son (figura 3.3):

- El límite inferior de explosividad (LIE): límite de concentración por debajo del cual no se produce la explosión debido a la falta de combustible.
- El límite superior de explosividad (LSE): límite de concentración por encima del cual no se produce la explosión por falta de oxígeno.

Estos límites están en función de la temperatura y la presión. En el caso de contaminantes en forma de polvo dependen también de la granulometría del mismo.

Además, hay que considerar la energía mínima de inflamación (EMI), que es la energía mínima necesaria para conseguir la inflamación de la atmósfera, para una concentración delimitada [3.5].

En el caso de los AQ en forma de polvo, para evaluar las consecuencias de una posible explosión, se utilizan además parámetros como la presión máxima de explosión y la relación máxima de sobrepresión que pueda alcanzar una explosión, el índice de explosión K o Kst [3.6]. En función de esta constante Kst (que se



determina en laboratorio) se obtienen cuatro clases de polvo explosivo, de acuerdo con la severidad de la explosión, como muestra la tabla 3.1.

Clases de polvo explosivo	Kst (bar m/s)	Características
St 0	0	
St 1	<200	explosión leve
St 2	>200 - <300	explosión fuerte
St 3	>300	explosión muy fuerte

Tabla 3.1.- Clasificación en función del índice de explosión (Kst) [3.7].

La base de datos GESTIS DUST-EX [3.8] proporciona información sobre las características de combustión y explosividad (energía mínima de inflamación y clase de polvo explosivo) de gran número de compuestos en forma de polvo.

Tanto para que se produzca tanto un incendio como una explosión es necesario un aporte de energía, por ello es recomendable controlar la temperatura en los almacenes de agentes químicos, la generación de chispas, etc.

En general, hay que tener en cuenta [3.2]:

- Estado físico y grado de división del producto.

- Inflamabilidad del producto (temperatura de inflamación, temperatura de autoignición).
- Potencia calorífica.
- Concentración ambiental (límites de inflamabilidad).
- Inexistencia o insuficiencia de sistemas de ventilación general o localizada.
- No aislamiento de fuentes de generación de gases, vapores, polvos.
- Focos de ignición térmicos (fumar, operaciones con llama).
- Focos de ignición mecánicos (herramientas, calzado).
- Focos de ignición eléctricos (cargas electrostáticas, sobrecargas, cortocircuitos).
- Focos de ignición químicos (reacciones exotérmicas, productos inestables).
- Atmósfera rica en comburente (% de O₂ >21%).
- Procedimientos de trabajo inseguros en áreas o actividades de riesgo.
- Incremento del riesgo por efectos aditivos en mezclas.

El incendio se «**declara**» por la presencia de combustible, de comburente y de fuente de ignición. La explosión se «**produce**» por la presencia de una atmósfera explosiva y una fuente de ignición o cuando un agente explosivo es sometido a una cierta energía (choque, calor, chispa).

La magnitud del siniestro dependerá de los medios de detección y alarma y de la rapidez de la puesta en marcha de los medios de lucha contra el fuego. La prevención “evita el inicio del fuego” y la protección “limita la propagación y las consecuencias del incendio”. Las medidas de protección pueden ser:

- Pasivas, que, sin actuar sobre el fuego, dificultan o imposibilitan la propagación del fuego, evitan el derrumbe del edificio o facilitan la evacuación o extinción (características de los combustibles, elementos constructivos, exutorios, exigencias de comportamiento de los materiales ante el fuego, señalización y alumbrado).
- Activas o de lucha contra incendios (medios de detección, transmisión de la alarma, adiestramiento del personal, organización, medios de extinción, vías de evacuación, plan de emergencia, mantenimiento de los sistemas de detección, alarma y extinción).

Existen metodologías simplificadas para la evaluación del riesgo de incendio y explosión. La Guía Europea [3.9] presenta una metodolo-

gía para evaluar los riesgos derivados del almacenamiento y la utilización de agentes químicos peligrosos (AQP) en los lugares de trabajo que permite jerarquizar los riesgos y priorizar su corrección. Mediante un cuestionario identifica deficiencias en instalaciones, equipos, procesos, tareas, etc. Las deficiencias son consideradas de mayor o menor gravedad dependiendo de las frases R asignadas a los AQP, lo que da lugar al nivel de peligrosidad objetivo (NPO). Además, se considera el nivel de exposición (NE) y el nivel de consecuencias (NC). Para más información, consultar la Guía Europea [3.9].

La asfixia se produce, en general, por la presencia de sustancias en estado gaseoso. El mecanismo que produce la asfixia puede ser de dos tipos:

- Químico: en el caso de gases que interfieren en el transporte de oxígeno o su utilización a nivel celular. Ejemplos de este tipo de asfixiantes son el monóxido de carbono y el cianuro de hidrógeno.
- Físico: la asfixia se produce por falta de oxígeno en la atmósfera que respira el trabajador, como consecuencia, por ejemplo, de la combustión, la respiración, la oxidación lenta de un metal con formación de óxido, el escape de un gas inerte o el vertido de nitrógeno líquido.

Ambos tipos de mecanismos se pueden dar en el caso de espacios confinados o de zonas cerradas y mal ventiladas (pozos, cubas, silos, reactores, túneles, galerías de servicio, depósitos, etc.) ya sea porque la atmósfera se ha empobrecido en oxígeno o porque haya cantidades apreciables de algún asfixiante químico.

Las medidas de prevención y protección se centran en evitar las fuentes de generación de gas que empobrecen el contenido de oxígeno en el aire, garantizando el aporte de aire nuevo, controlando la calidad del aire interior, y en disponer, eventualmente, de equipos independientes de protección respiratoria.

3.2. RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS

La exposición a agentes químicos es el objeto del presente documento por lo que los factores de riesgo asociados a la exposición se evaluarán en los siguientes capítulos.

A modo de resumen se incluyen a continuación los factores de riesgo identificados en la Guía Técnica [3.2] para cada posible riesgo:

3.1.3. Asfixia

Inhalación

- Concentración ambiental.
- Tipo de exposición (aguda, crónica).
- Tiempo diario de exposición.
- Número y situación de los focos de emisión.
- Separación del trabajador de los focos de emisión.
- Tasa de generación de gases, vapores o aerosoles.
- Aislamiento del agente.
- Sistemas de ventilación general y local insuficientes.
- Procedimiento de trabajo inadecuado.
- Trabajadores especialmente sensibles.
- Exposición simultánea a varios agentes.

Contacto de la piel o los ojos con el AQ

- Gestión incorrecta de equipos de protección individual (EPI).
- Procedimiento de trabajo inadecuado.
- Inexistencia de medios de control de fugas y derrames.
- Envases inadecuados.
- Sistema de trasvase incorrecto.

Absorción a través de la piel

- Localización y extensión del contacto.
- Duración y frecuencia del contacto.
- Cantidad o concentración del AQ.
- Temperatura y humedad ambiental.
- Gestión incorrecta de los EPI.
- Procedimiento de trabajo inadecuado.
- Trabajadores especialmente sensibles.
- Exposición simultánea a varios agentes.

Ingestión

- Hábitos higiénicos personales.
- Posibilidad de comer, beber o fumar en los puestos de trabajo.
- Procedimiento de trabajo inadecuado.
- Trabajadores especialmente sensibles.
- Exposición simultánea a varios agentes.

Vía parenteral

- Deterioro de la piel.
- Uso de objetos o herramientas cortantes o punzantes.

- Frecuencia de contacto.
- Gestión incorrecta de los EPI.
- Procedimiento de trabajo inadecuado.
- Trabajadores especialmente sensibles.
- Exposición simultánea a varios agentes.
- Uso de cremas protectoras.

BIBLIOGRAFÍA

3.1.- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

3.2.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003

3.3.- Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

3.4.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. Madrid, 2008.

3.5.- Norma UNE-EN 13821:2003. Atmósferas potencialmente explosivas. Prevención y protección frente a la explosión. Determinación de la energía mínima de inflamación de las mezclas polvo/aire.

3.6.- Norma UNE-EN 26184-1. Sistemas de protección contra explosiones. Parte 1: Determinación de los índices de explosión de los polvos combustibles en el aire.

3.7.- ASTM E1226-09: Standard test method for pressure and rate of pressure rise for combustible dusts.

3.8.- INSTITUT FÜR ARBEITSSCHUTZ DER DEUTSCHEN GESETZLICHEN UNFALLVERSICHERUNG (IFA). Database Combustion and explosion characteristics of dusts. GESTIS-DUST-EX. Disponible en web: www.dguv.de/ifa/en/gestis/expl/index.jsp

3.9.- COMUNIDADES EUROPEAS. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Guía Práctica de la Directiva sobre Agentes Químicos 98/24/CE.

En el capítulo 1 “Identificación de peligros”, se consideró la importancia de recoger información sobre las propiedades de los agentes químicos presentes así como de otras variables asociadas a los mismos y, en concreto, las que tienen una influencia directa o indirecta con la potencial exposición de los trabajadores.

En el capítulo 3 se estudiaron los factores de riesgo teniendo en cuenta sus efectos tanto para la seguridad como para la salud de los trabajadores. Si tras el análisis de los factores de riesgo se detecta alguna deficiencia de fácil solución, se procederá a su corrección antes de comenzar con la etapa de jerarquización que se trata en este capítulo. Esos cambios en las medidas de control o en las condiciones de trabajo implicarán volver a estudiar cómo influyen los factores de riesgo en la nueva situación (figura 4.1).

La jerarquización de riesgos puede aplicarse tanto a los riesgos para la salud, como a los riesgos de incendio y explosión, aunque en cada caso el procedimiento y las variables consideradas serán distintos.

A partir de este capítulo sólo se tendrán en cuenta los riesgos para la salud.

4.1. FUNDAMENTO Y OBJETIVOS

Un paso intermedio entre el análisis de los factores de riesgo y los siguientes de evaluación por las diferentes vías sería jerarquizar los distintos tipos de riesgo identificados. El objetivo de esta etapa es, a partir de unas pocas variables de fácil obtención, filtrar las situaciones inaceptables que requieren la adopción inmediata de medidas y establecer el orden de prioridad para la evaluación posterior

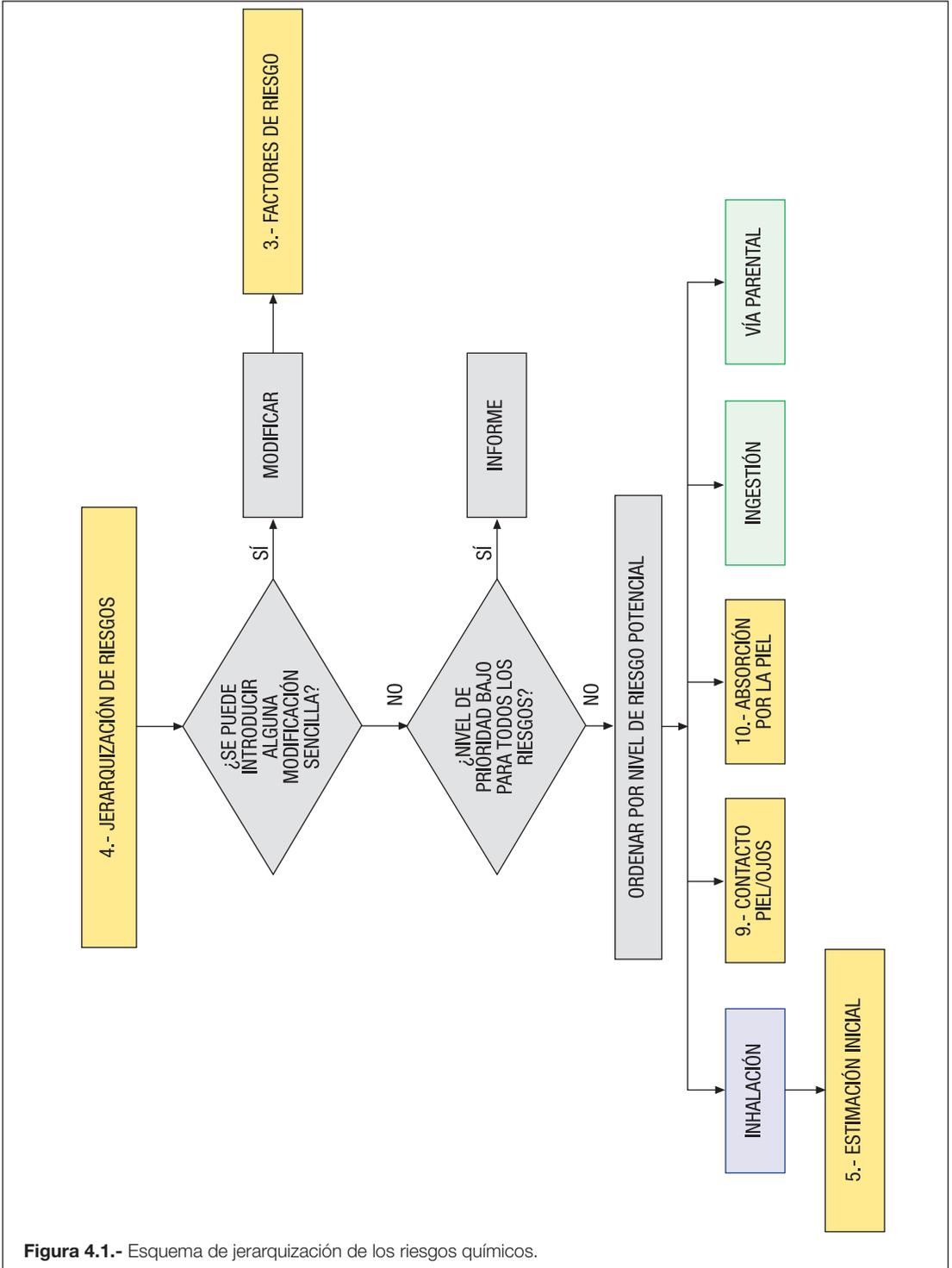


Figura 4.1.- Esquema de jerarquización de los riesgos químicos.

de todas las situaciones de riesgo. Este paso de jerarquización puede que no sea necesario cuando, por ejemplo, el número de riesgos detectados es escaso, ya que en este caso la prioridad puede ser evidente. Sin embargo, puede ser útil a la hora de ordenar los riesgos identificados cuando éstos son numerosos o se carece de la experiencia necesaria para priorizar sin aplicar una metodología determinada.

En el anexo B, se describe un método de jerarquización, basado en el método del INRS francés, que considera las siguientes variables:

- la peligrosidad intrínseca de los agentes presentes (a través de frases R o, en su ausencia, los valores límite ambientales o el agente químico emitido en el proceso)
- la cantidad
- la frecuencia con que se utilizan

Combinando estas variables se llega a tres posibles niveles de riesgo: bajo, medio o elevado.

Con la jerarquización podría concluirse la evaluación, cuando para todos los riesgos identificados se obtenga un nivel bajo (ver anexo B). En cualquier caso se trata de una decisión que hay que adoptar únicamente cuando la situación es clara, porque el objetivo de la etapa de jerarquización es priorizar las actuaciones, no terminar la evaluación. Cuando la exposición es por inhalación, lo adecuado sería continuar con la evaluación, al menos hasta la etapa de “Estimación inicial” (capítulo 5).

En el resto de los casos, esta etapa va a permitir continuar la evaluación de riesgo por inhalación (capítulo 5), por contacto con piel/ojos (capítulo 9), por absorción por la piel (capítulo 10) u otras vías, empezando por aquel en el que se haya detectado prioridad elevada (figura 4.1).

Para los agentes químicos cancerígenos, mutágenos y tóxicos para la reproducción (C/M/R) y los de acción sensibilizante, la evaluación cuantitativa es necesaria [4.1, 4.2] y, en todo caso, hay que cumplir con la legislación vigente [4.3, 4.4].

4.2. CONSIDERACIONES GENERALES

En un contexto general, la jerarquización de riesgos se puede aplicar, según convenga en cada caso, a las fases que comprenden una tarea o procedimiento, a los lugares de trabajo o a los distintos agentes químicos, identificando así grupos de riesgo homogéneo.

A continuación, se expone, mediante ejemplos, cómo puede realizarse el planteamiento de la jerarquización, de forma lógica y sencilla en los tres casos citados anteriormente (cuadro 4.1).

	TAREA	PROCEDIMIENTO	AGENTE QUÍMICO
	Elaboración de una mezcla	Cromado de una placa metálica	Percloroetileno
Fases	Carga de disolvente Pesada de productos pulverulentos Introducción de los productos pulverulentos en el mezclador Vigilancia de la mezcla Vaciado del mezclador Limpieza del mezclador	Rectificación Montaje en soporte de tratamiento Desengrasado Decapado ácido Cromado electrolítico Aclarado Secado	Almacenamiento de los bidones (200l) Trasvase a recipientes de 5l para el taller de mantenimiento Llenado de las máquinas de desengrase Vaciado de cada máquina Eliminación del producto extraído una vez al mes
Observaciones	Todas las fases son realizadas por un mismo operario	Estas fases pueden ser o no realizadas por un mismo operario	Estas fases pueden ser o no realizadas por un mismo operario

Cuadro 4.1.- Planteamiento de jerarquización según tarea, procedimiento o agente químico (ejemplos).

BIBLIOGRAFÍA

4.1.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.

4.2.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición durante el trabajo a agentes cancerígenos o mutágenos. Madrid, 2005.

4.3.- Real Decreto 374/2001, de 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.

4.4.- Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, y modificaciones posteriores, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a cancerígenos o mutágenos durante el trabajo.

Exposición por inhalación a agentes químicos. Estimación inicial

5

5.1. EXPOSICIÓN POR INHALACIÓN A AGENTES QUÍMICOS

La evaluación del riesgo por exposición a agentes químicos pretende alcanzar los mismos objetivos que la de cualquier otro tipo de riesgo [5.1]:

1. Decidir sobre la necesidad o no de adoptar medidas preventivas adicionales a las ya existentes.
2. Determinar la índole de las medidas preventivas que hubiera que adoptar.
3. Priorizar las medidas preventivas necesarias.

El Real Decreto 374/2001 [5.2], sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, fija entre las obligaciones del empresario:

- Determinar si existen agentes químicos peligrosos en el lugar de trabajo y evaluar los riesgos originados por dichos agentes.
- Evaluar los riesgos derivados de la exposición por inhalación a los agentes químicos peligrosos, que debe incluir la medición de las concentraciones del agente en el aire o indicar las razones por las que no se considera necesario efectuar tales mediciones.

De acuerdo con lo anterior, siempre que no haya dificultades insalvables de orden práctico, o que no resulte, ya de entrada, totalmente evidente la conclusión, la evaluación del riesgo debe basarse en una evaluación cuantitativa de la exposición, ya que, de esta forma, el error puede ser menor que si se basara en la consideración directa de los factores de riesgo que dan lugar a dicha exposición. Este modo de actuación es el característico de la Higiene Industrial y constituye su contenido técnico específico.

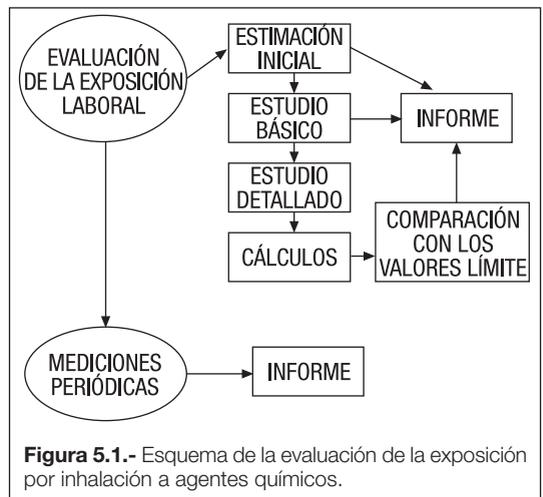
Es decir, después de haber obtenido información sobre la organización, características y complejidad del trabajo, sobre las materias primas y los equipos de trabajo existentes en la empresa y sobre el estado de salud de los trabajadores, es importante conocer no solamente cuáles son los agentes químicos presentes, sino también en qué concentración se encuentran, para lo cual, en muchos casos, es necesario realizar una serie de mediciones con una estrategia de muestreo definida, de forma que se pueda obtener una estimación válida y representativa de la exposición real. Posteriormente, se evalúa el riesgo por comparación de los resultados obtenidos con los valores límite establecidos.

La Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con los agentes químicos [5.3] tiene por objeto facilitar la aplicación del RD 374/2001 [5.2]. Está estructurada de manera que se ofrece el articulado del Real Decreto seguido de comentarios sobre los aspectos más relevantes que no se consideran autoexplicativos. Esta guía proporciona herramientas para la identificación de las situaciones de riesgo por exposición o presencia de agentes químicos peligrosos con la finalidad de facilitar las acciones preventivas a tomar y propone procedimientos específicos de evaluación del riesgo. Asimismo propone procedimientos de medición para aquellos supuestos en que ésta se precise para evaluar el riesgo.

Al ser el Real Decreto 374/2001 [5.2] una transposición de la Directiva 98/24/CE, otra herramienta útil la constituye la Guía desarrollada al efecto [5.1].

La estrategia de la evaluación consta realmente de dos fases (figura 5.1):

- evaluación de la exposición laboral en la que la exposición se compara con el valor límite
- mediciones periódicas, cuando sean necesarias, para comprobar regularmente si las condiciones han cambiado



Es importante tener en cuenta que *evaluar no implica tener que medir* y que el resultado que se busca, en muchas ocasiones, es obtener una estimación de la exposición para poder comparar la misma con los valores límite, no medir la exposición.

Como valores límite, con los que comparar la exposición obtenida en las mediciones, se utilizarán [5.2]:

- los del anexo I del citado Real Decreto (Pb inorgánico y sus derivados)
- los de una normativa específica aplicable, en los casos en los que exista
- los publicados por el INSHT en “Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España” [5.4].

En el caso de no existir valor límite en los publicados por el INSHT para una sustancia, se puede consultar la base de datos GESTIS [5.5], http://www.dguv.de/ifa/en/gestis/limit_values/index.jsp, desarrollada dentro del Comité Europeo de Normalización (CEN), y que contiene los valores límite de exposición profesional vigentes en una serie de países europeos: Alemania, Austria, Dinamarca, España, Francia, Hungría, Italia, Reino Unido y Suecia, además de los valores establecidos en la Unión Europea y en Estados Unidos por OSHA, o los valores límite (TLV®), de la ACGIH de Estados Unidos [5.6]. Estos últimos los publica anualmente la Generalitat Valenciana en castellano [5.7].

En caso de no existir valor límite, se puede obtener información de alguna propuesta de establecimiento de un valor límite o de estudios epidemiológicos.

La evaluación de la exposición laboral se realiza durante la primera evaluación y se repite cuando hay algún cambio significativo en [5.8]:

- las condiciones de trabajo
- el proceso industrial
- los productos o sustancias químicas
- el valor límite.

5.2. ESTRATEGIA DE MUESTREO Y COMPARACIÓN CON LOS VALORES LÍMITE

Cuando sea necesario realizar mediciones para evaluar la exposición laboral, el procedimiento de medición y, concretamente, la estrategia de muestreo y el método de análisis se ajustarán a lo indicado en la legislación específica [5.2, art. 3.5]. En su ausencia, se utilizarán los criterios de carácter técnico, según el orden estable-

cido (Normas UNE, Guías INSHT, normas internacionales, guías de otras entidades de reconocido prestigio en la materia).

La estrategia de muestreo tiene como objeto asegurar la representatividad de las mediciones al menor coste posible y conseguir que los resultados obtenidos el día o días que se realizaron las mediciones sean extrapolables a otros días.

La estrategia de muestreo estudia el número de muestras necesario y las características de las mismas para afirmar si, con una determinada probabilidad, se supera el valor límite en una exposición ambiental. Las características de las muestras se refieren a:

- duración de cada muestra
- duración del periodo de muestreo
- hora adecuada del muestreo
- número de días necesario para el mismo
- frecuencia entre dos evaluaciones.

La duración de cada muestra está relacionada con el procedimiento analítico que se vaya a utilizar. La duración del periodo de muestreo lo está con la duración del periodo de exposición, que puede ser la jornada entera o no y con el tipo de valor límite con el que vayamos a comparar nuestra estimación de la exposición, de larga duración, VLA-ED®, o de corta duración, VLA-EC®. La hora adecuada del muestreo depende de cómo varían las concentraciones a lo largo del periodo de exposición y, también, del tipo de valor límite con el que se vaya a comparar el resultado de la evaluación, ya que, si el valor límite es de larga duración, se trata de obtener una estimación de la exposición media a lo largo de la jornada de trabajo, mientras que, si se trata de un valor límite de corta duración, lo que interesa conocer es si ese valor límite se ha podido sobrepasar en algún momento a lo largo de la jornada, por lo que interesa muestrear aquellos momentos en los que la concentración sea mayor.

Sin embargo, no siempre es necesario realizar una medición para obtener una estimación de la exposición, ya que puede resultar evidente que la exposición es muy inferior al valor límite establecido, bien por las cantidades que se utilicen, bien porque el proceso esté aislado, bien porque se hayan evaluado procesos similares en otras ocasiones y siempre los valores obtenidos hayan resultado muy inferiores al valor límite, etc.

Otra posibilidad es que sea muy evidente que las concentraciones son muy elevadas y que, en consecuencia, la exposición diaria va a resultar superior al valor límite, en cuyo caso lo más adecuado sería tomar las medidas correctoras oportunas para disminuir las concentraciones ambientales, por ejemplo, mediante una extracción

localizada, aislando el proceso, etc., y proceder de nuevo a la evaluación tras la implantación de las medidas adoptadas.

Cuando se precisa tomar una o varias muestras para realizar una evaluación, se puede después obtener el valor medio ponderado de las mismas. En cualquier caso, tanto si se ha tomado una muestra correspondiente a todo el periodo de exposición o varias muestras que cubran todo o parte del periodo de exposición, el valor de la concentración ambiental que se determine estará afectado por un error. Esto significa que la medida obtenida no será un valor exacto, sino que estará situada en un cierto intervalo.

El motivo de esta indeterminación es doble. Por una parte, todos los procedimientos de medida tienen una incertidumbre asociada, y el escogido para realizar la determinación tendrá una incertidumbre expandida relativa que no debería exceder la admitida en la Norma UNE-EN 482 [5.9], pero que en cualquier caso debe haberse determinado o estimado al poner a punto el procedimiento.

Por otra parte, la estimación de la exposición se realiza un día y en un momento determinados. Pero lo que realmente pretende dicha estimación es determinar si la exposición se mantendrá dentro de los límites permitidos no solamente el día que se ha realizado la medición, sino cualquier otro día y en cualquier otro momento, de tal forma que, aunque el trabajo sea repetitivo a lo largo del tiempo y, por lo tanto, la exposición no varíe demasiado de un día para otro, supone también un cierto grado de indeterminación en la medida obtenida para la exposición.

Por ello, utilizando el resultado de las mediciones realizadas y dada la incertidumbre del método de medida empleado, se aplican criterios estadísticos para determinar que con una cierta probabilidad (normalmente se calcula con un 95%) cualquier otra medida que tomemos, ese día u otro cualquiera, estará por debajo de un cierto valor. Este valor se conoce con el nombre de límite superior de confianza (LSC). Dicho en otras palabras, si se realizase una serie de mediciones de la exposición en otros momentos o en otros días, el 95% de las veces se obtendría un valor inferior al LSC.

Del mismo modo, se puede determinar un valor, por encima del cual se encontrarán, con un 95% de probabilidad, las medidas que se realicen en cualquier otro momento. O lo que es igual: que el 95% de las medidas que se tomen ese o cualquier otro día estará por encima de ese valor. Este valor se llama límite inferior de confianza (LIC).

De acuerdo con lo anterior, cuando se realiza una medida de la exposición y se compara con el valor límite adecuado, se puede encontrar una de estas tres situaciones:

- exposición aceptable

- exposición inaceptable
- situación de no decisión.

EXPOSICIÓN INACEPTABLE

Se alcanza cuando, en base a las mediciones, la exposición del trabajador esté por encima del valor límite. Es decir, se alcanza no solamente cuando la media de las mediciones está por encima del valor límite, sino también cuando la probabilidad de superar el valor límite es alta.

EXPOSICIÓN ACEPTABLE

Se alcanza cuando existe una probabilidad del 95%, en base a las mediciones, de que la exposición del trabajador esté por debajo del valor límite. Es decir, se alcanza cuando el LSC de las mediciones está por debajo del valor límite.

SITUACIÓN DE NO DECISIÓN O INDETERMINACIÓN

Esta situación se da cuando, en base a las mediciones, no se puede alcanzar ninguna de las dos situaciones anteriores.

En cualquier caso, además de no superar el valor límite de larga duración, las fluctuaciones de la exposición tienen que cumplir los requerimientos de los límites de exposición para periodos de corta duración (valor límite de corta duración o límites de desviación), ya que las exposiciones tienen que ser inferiores a todos los valores límite que tenga una sustancia.

5.3. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL POR INHALACIÓN

La Norma UNE-EN 689 [5.8] es una guía para la evaluación de la exposición laboral. No es, por tanto, de obligado cumplimiento, aunque sí constituye una herramienta útil. Para poder ser aplicable es necesario que la exposición sea:

- por inhalación
- comparable con un valor límite, VL, de larga duración
- repetitiva.

Para poder aplicar la Norma UNE-EN 689 es necesario que el contaminante tenga un valor límite de larga duración, aunque también habrá que cumplir con el valor límite de corta duración, si lo tiene, o con los límites de desviación si el contaminante no tiene VLA-EC®.

Se considera que la exposición es repetitiva cuando no varía ostensiblemente de una jornada a otra:

- el ritmo de producción
- la duración de las tareas
- la cantidad de agente químico usado o generado
- el nº de focos de emisión
- la eficacia de los sistemas de ventilación.

A veces la exposición no es uniforme entre distintas jornadas de trabajo. En casos justificados cabe una valoración de base semanal en lugar de diaria [5.4]. Para que pueda aplicarse es preciso que el agente químico tenga un largo periodo de inducción, es decir, que sea capaz de producir efectos adversos para la salud sólo tras exposiciones repetidas a lo largo de meses o años y que existan variaciones sistemáticas entre las exposiciones de diferentes jornadas.

Si la exposición no es repetitiva habría que llevar a cabo una evaluación cautelara en los focos de generación del agente, realizando muestreos o mediciones que indiquen las concentraciones ambientales en su proximidad y llevar a cabo acciones preventivas para que esas concentraciones sean lo más bajas posible (operación segura) [5.10].

Cuando la exposición a un agente químico es muy irregular y, en consecuencia, de difícil control, es difícil garantizar que la exposición a dicho agente está suficientemente controlada. En este caso debería llevarse a cabo la vigilancia de la salud [5.3].

En determinadas ocasiones, puede ser de utilidad el control biológico de dicho agente químico siempre que su vida media biológica sea capaz de proporcionar información sobre la acumulación del agente en el organismo, es decir, siempre que su vida media sea superior a 5-7 horas, porque en ese caso el valor del indicador biológico podría dar una indicación de la exposición semanal o de la debida a más largo plazo, dependiendo del valor de la vida media.

En caso contrario, si la vida media biológica es inferior a 2 horas, el compuesto no se acumula en el organismo, desaparece antes de comenzar la siguiente jornada de trabajo, y su determinación o la de sus metabolitos en una muestra biológica no daría más información que la que pudiese dar una muestra ambiental, ya que el valor del indicador biológico sería debido únicamente a la exposición de ese día o, incluso, la debida a la última fase de la exposición, si la vida media biológica estuviese en torno a los 10-20 minutos.

Eso no quiere decir que el control biológico no tenga utilidad cuando la vida media biológica es pequeña, inferior a 2-3 horas, sino que la información que proporciona es distinta. No sería útil para estimar la exposición a un contaminante, pero sí lo sería para

evaluar la eficacia de un equipo de protección individual o para probar la exposición por otras vías de entrada.

Si la exposición se debe a un agente cancerígeno o mutágeno, hay que tener en cuenta lo expuesto en el artículo 7 del RD 665/97 [5.11].

De acuerdo con la Norma UNE-EN 689 [5.8] la evaluación de la exposición laboral se realiza en tres pasos:

- identificación de la posible exposición
- determinación de los factores de exposición en el lugar de trabajo
- evaluación de la exposición.

Los dos primeros han sido descritos con detalle en el capítulo 1.

En la figura 5.1 se da un esquema general de cómo llevar a cabo la evaluación de la exposición laboral por inhalación.

5.3.1. Identificación de la posible exposición La identificación se realiza confeccionando una lista con todos los agentes químicos presentes en el lugar de trabajo. Esta lista debe incluir materias primas, impurezas, productos intermedios y finales, productos de reacción y subproductos y en ella se deben seleccionar los valores límite apropiados y, en el caso de que no existan, se podrían utilizar otros criterios (ver apartado 5.1).

5.3.2. Determinación de los factores de exposición en el lugar de trabajo En esta etapa se evalúan los procesos y los procedimientos de trabajo, con el fin de estimar la posible exposición a los agentes químicos, por medio de una revisión detallada de:

- las funciones de trabajo, es decir, las tareas
- los ciclos y las técnicas del trabajo
- los procesos de producción
- la configuración del lugar de trabajo
- las medidas y los procedimientos de seguridad
- las instalaciones de ventilación y otras formas de control técnico
- las fuentes de emisión
- los periodos de exposición
- la carga de trabajo
- etc.

5.3.3. Evaluación de la exposición La evaluación de la exposición se puede estructurar en tres pasos [5.8]:

- una estimación inicial
- un estudio básico
- un estudio detallado.

No es necesario completar todos los pasos de la evaluación de la exposición laboral. Si se espera que la exposición exceda el valor límite, o está claro que está muy por debajo, lo que hay que hacer es tomar decisiones, de acuerdo con el punto 5.4.

5.4. ESTIMACIÓN INICIAL

Permite tener una primera idea de la posible exposición. El objeto es descartar la presencia del agente químico en el ambiente de trabajo o el contacto físico del individuo con él, o bien detectar exposiciones cuyo riesgo derivado no es admisible.

Se realiza considerando:

- variables que afectan a las concentraciones ambientales de las sustancias:
 - número de fuentes emisoras de agentes químicos
 - ritmo de producción en relación con la capacidad de producción
 - grado de emisión de cada fuente
 - dispersión de los agentes químicos debida al movimiento del aire
 - tipo y eficacia de los sistemas de extracción y ventilación
- variables relacionadas con el trabajador:
 - proximidad del individuo a la fuente
 - tiempo de permanencia en cada zona
 - hábitos individuales de trabajo.

Si, como consecuencia de esta etapa, resulta evidente que la exposición se encuentra por encima del valor límite, no hay que continuar con la evaluación, sino tomar medidas correctoras para reducir la exposición e iniciar de nuevo la evaluación, desde la etapa de "Identificación de Peligros".

Si, por el contrario, como consecuencia de esta etapa, resulta evidente que la exposición se encuentra muy por debajo del valor límite, la exposición diaria se considerará aceptable y para terminar la evaluación habrá que comprobar si también se cumple con los límites de exposición de corta duración, bien el VLA-EC® si existe o, en caso contrario, los límites de desviación.

Si, a partir de este estudio, no se pueden obtener conclusiones claras en cuanto a que la exposición está muy por debajo del límite o por encima del mismo, habría que continuar el estudio.

También hay que continuar el estudio cuando, aunque resulte evidente que la exposición se encuentra muy por debajo del valor límite, existan compuestos cancerígenos, mutágenos, tóxicos para la reproducción o sensibilizantes. En este caso, es necesario también establecer un plan de vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos [5.3].

De acuerdo con la Norma UNE-EN 689, es importante considerar que, hasta este momento, no ha sido necesario tomar ninguna muestra para poder llegar a la conclusión de que la exposición está muy por debajo del límite o supera el mismo.

En la figura 5.2 se puede ver un esquema de esta fase.

A no ser que la experiencia de quien realiza la evaluación de riesgos sea muy grande, siempre es preferible utilizar una sistemática para evaluar las variables que se tienen en cuenta en este capítulo, porque hace que, aunque la evaluación la realicen diferentes personas, sea más fácil llegar a conclusiones similares y evitan que se puedan obviar variables o situaciones que, sin una sistemática, pueden quedar olvidadas. Para ello son de gran utilidad los llamados métodos simplificados para la evaluación de riesgos. La principal ventaja de estos métodos es el sistema de puntuaciones que utilizan, que facilita que se alcance este objetivo.

Las metodologías simplificadas pueden constituir una buena ayuda para realizar la estimación inicial de riesgos y determinar si es necesario recurrir a medidas correctoras. El proceso de evaluación de riesgos continúa, la mayor parte de las veces, con la evaluación pormenorizada, a no ser que el riesgo detectado sea bajo. Por lo tanto, *a priori*, estas metodologías no constituyen una alternativa a la evaluación pormenorizada, sino que efectúan un primer diagnóstico de la situación a evaluar. Algunas de ellas ofrecen también orientaciones sobre el tipo de medida a implementar, en función del nivel de riesgo y del tipo de operación o proceso evaluado.

Estos procedimientos son muy adecuados para realizar esta etapa de “Estimación Inicial” siempre que a partir de ellos sea posible obtener información para descartar la presencia del agente químico en el ambiente de trabajo, estimar que la exposición al agente químico es muy inferior al valor límite, menos de un 10%, o bien concluir que la concentración del agente químico en el aire es superior al valor límite.

En este documento se describen dos procedimientos que, sin ser los únicos desarrollados, son de los más utilizados:

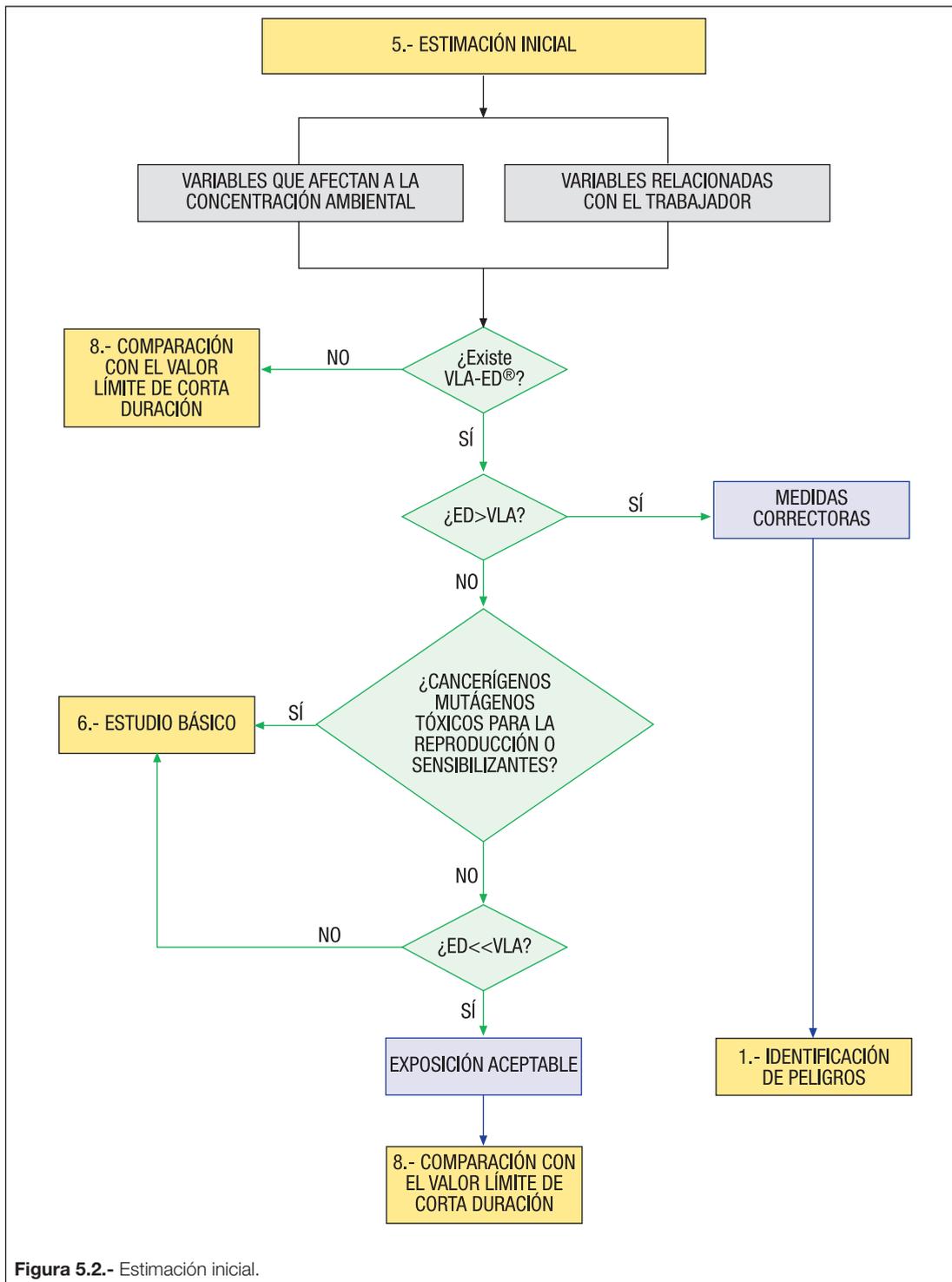


Figura 5.2.- Estimación inicial.

- El procedimiento desarrollado por el “Health and Safety Executive” (HSE) del Reino Unido, denominado *COSHH Essentials* (ver anexo C).
- El procedimiento desarrollado por el “Institut National de la Recherche et de Sécurité” (INRS) de Francia (ver anexo D).

De los dos, el más conocido en España probablemente sea el del HSE, aunque el del INRS ha sido ampliamente comentado en castellano recientemente [5.12].

Ambos procedimientos tienen en cuenta ciertas variables, como la peligrosidad del agente o agentes químicos y otras relacionadas de una u otra manera, con la posible presencia del agente químico en el ambiente, tales como:

- Cantidad.
- Tendencia a pasar al ambiente (volatilidad o pulverulencia).

Pero el procedimiento del INRS tiene en cuenta, además, otras variables tales como:

- Grado de confinamiento del procedimiento utilizado.
- Protección colectiva (ventilación).

Estas variables también tienen influencia en la concentración del agente químico que se puede alcanzar en el ambiente.

Éste es uno de los motivos por los que, en nuestra opinión, es preferible utilizar el procedimiento desarrollado por el INRS francés. Por último, otras razones son que el método del HSE no se diseñó para la evaluación de riesgos como tal, sino para determinar el nivel de control necesario de un proceso, y que no está desarrollado para aplicarse a una serie de productos, como pueden ser los de origen natural o los generados durante el proceso, el plomo, el amianto, gases, plaguicidas ni medicamentos ni a una serie de situaciones, como puede ser la evaluación del riesgo de incendio o explosión (ver Anexo C, apartado C.2).

En nuestra opinión, el método del INRS, aunque no lo advierte, no debería aplicarse a:

- medicamentos,
- productos de descomposición térmica, como se detalla en el apartado D.1 del anexo D.

Cualquiera de los procedimientos desarrollados hasta ahora para utilizarlos como métodos simplificados de evaluación presenta ciertas limitaciones. Una de ellas es que se puede subestimar el riesgo cuando se aplica a sustancias que tienen un valor límite muy bajo (ver apartado D.1.5 del anexo D), ya que es fácil que se llegue a alcanzar en el ambiente una concentración próxima al valor de referencia, aunque su tendencia a pasar al ambiente sea baja.

BIBLIOGRAFÍA

- 5.1.- COMUNIDADES EUROPEAS. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Guía Práctica de la Directiva sobre Agentes Químicos 98/24/CE.
- 5.2.- Real Decreto 374/2001, de 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.
- 5.3.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.
- 5.4.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. (Publicación anual).
- 5.5.- INSTITUT FÜR ARBEITSSCHUTZ DER DEUTSCHEN GESETZLICHEN UNFALLVERSICHERUNG (IFA). Database on hazardous substances. GESTIS - International limit values for chemical agents. Disponible en web: http://www.dguv.de/ifa/en/gestis/limit_values/index.jsp
- 5.6.- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH) TLVs® and BEIs® Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices.
- 5.7.- GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D'ECONOMIA, HISENDA i OCUPACIÓ. TLVs®. Valores Límite para Sustancias Químicas y Agentes Físicos en el Ambiente de Trabajo. BEIs®. Índices Biológicos de Exposición.
- 5.8.- Norma UNE-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición. AENOR 1996.
- 5.9.- Norma UNE-EN 482:2007. Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos. AENOR 2007.
- 5.10.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP n° 406. Contaminantes químicos: evaluación de la exposición laboral (I).
- 5.11.- Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- 5.12.- E. Sousa, C. Tanarro, M. Bernaola y J.N. Tejedor. "Aplicación de métodos simplificados de evaluación del riesgo químico con efectos para la salud". *Seguridad y Salud en el Trabajo* n° 50, 2008, p. 28-39.

Según lo indicado en el capítulo anterior “Exposición por inhalación a agentes químicos. Estimación inicial”, habrá que recurrir al estudio básico para estimar la magnitud del riesgo a través de datos cuantitativos fiables y contrastables, con especial atención a las tareas de alto riesgo [6.1], cuando no se hayan obtenido conclusiones claras sobre la exposición respecto al valor límite en la etapa anterior o cuando existan compuestos cancerígenos, mutágenos, tóxicos para la reproducción o sensibilizantes [6.2].

Las posibles fuentes de información son:

- mediciones anteriores
- mediciones en instalaciones o procesos comparables
- cálculos basados en datos cuantitativos apropiados.

Tampoco en este punto es necesario tomar ningún tipo de muestras, ya que es posible obtener información por comparación con otros procesos similares o teniendo en cuenta las cantidades utilizadas o comprobando si el proceso está convenientemente aislado, y decidir si las concentraciones ambientales son muy inferiores al valor límite o superiores al mismo. O puede ocurrir que se esté haciendo una nueva evaluación de la exposición laboral porque haya cambiado el valor límite de una sustancia, en cuyo caso las mediciones anteriores pueden ser de utilidad.

En la figura 6.1 se puede ver un esquema de esta etapa.

Si, como consecuencia de esta etapa, resulta evidente que la exposición se encuentra por encima del valor límite, no hay que continuar con la evaluación, sino tomar medidas correctoras para reducir la exposición e iniciar de nuevo la evaluación, desde la etapa de “Identificación de Peligros”.

Si, por el contrario, como consecuencia de esta etapa, resulta evidente que la exposición se encuentra muy por debajo del valor lí-

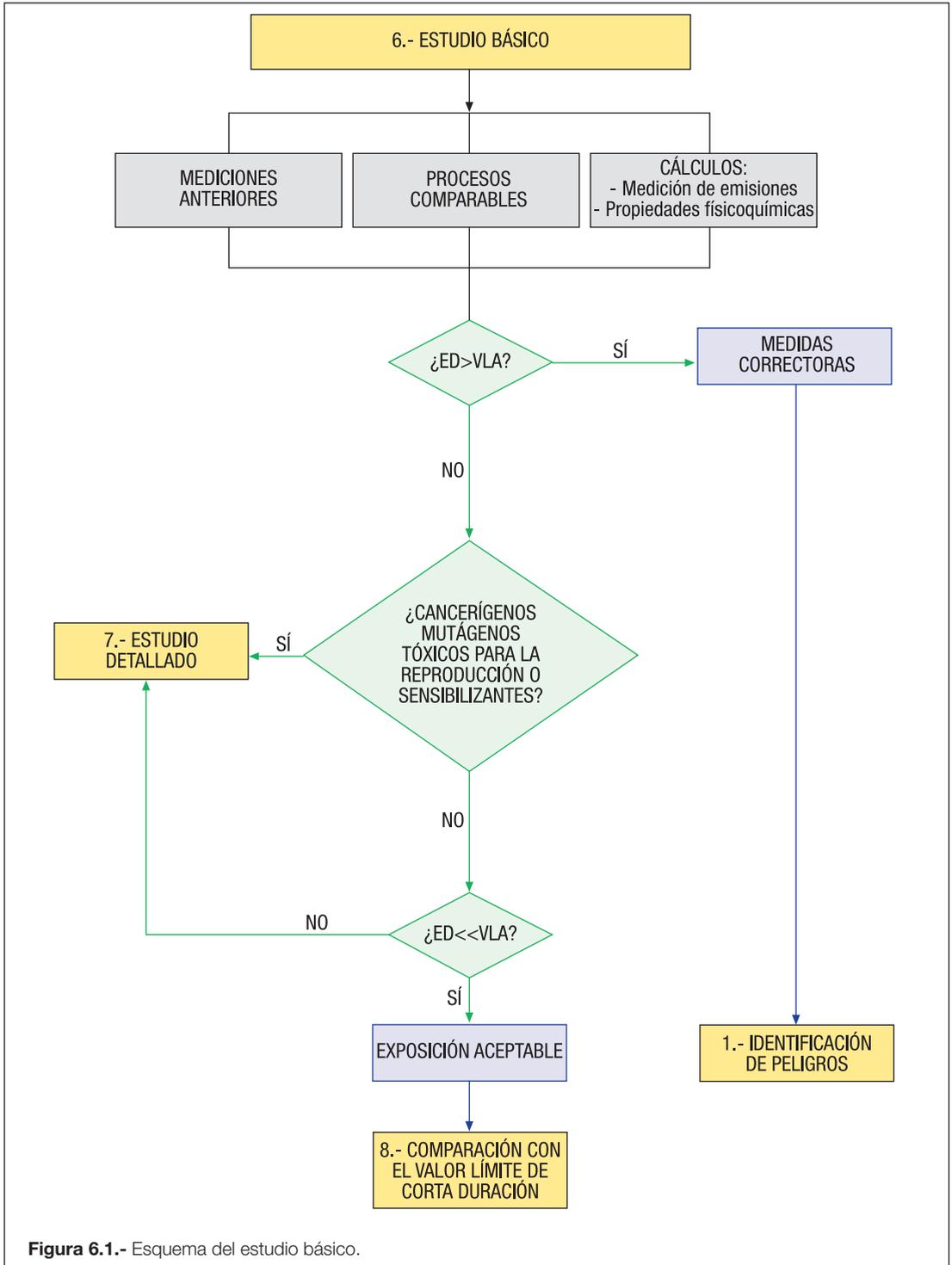


Figura 6.1.- Esquema del estudio básico.

mite, habrá que comprobar si también se cumple con los límites de exposición de corta duración, bien con el valor límite ambiental de corta duración (VLA-EC®) cuando exista, bien con los límites de desviación en caso contrario.

Si, a partir de este estudio, no se pueden obtener conclusiones claras en cuanto a que la exposición está muy por debajo del valor límite o por encima del mismo, habría que continuar con el siguiente paso de la evaluación.

También hay que continuar el estudio cuando, aunque resulte evidente que la exposición se encuentra muy por debajo del valor límite, existen compuestos cancerígenos, mutágenos, tóxicos para la reproducción o sensibilizantes. En este caso, es necesario también establecer un plan de vigilancia de la salud [6.2].

Se puede dar un caso en el que, existiendo algún agente cancerígeno, mutágeno, tóxico para la reproducción o sensibilizante, no sea necesario pasar al estudio detallado. Para que esto pueda suceder, tienen que darse simultáneamente estas dos condiciones:

- que el motivo para realizar una nueva evaluación de la exposición laboral sea el cambio del valor límite de uno o más compuestos
- que en el estudio básico a partir de los datos de mediciones anteriores, que incluyan la del agente cancerígeno, mutágeno, tóxico para la reproducción o sensibilizante, se pueda llegar a la conclusión de que la exposición continúa estando muy por debajo del valor límite.

Un ejemplo de cálculo basado en datos cuantitativos apropiados sería el siguiente:

En un taller de dimensiones 5 x 3 x 4 m se gastan mensualmente 12,5 kg de pegamento cuyo disolvente es tolueno y se encuentra en una proporción del 20% en peso.

Se trabajan 10 horas diarias, 25 días al mes. El ritmo de trabajo puede considerarse constante y permanente.

El taller cuenta con un sistema de ventilación en el que se ha estimado un número de renovaciones por hora de 4 y se considera que la constante de mezcla es 5.

Todos estos datos se pueden obtener en la visita al lugar y, a partir de ellos, realizando una serie de cálculos, puede saberse si se sobrepasa el valor límite.

Como el ritmo de trabajo es constante, la emisión de tolueno también lo será, entonces:

$$\frac{12,5\text{kg de pegamento} \cdot 20\% \text{ tolueno}}{100\% \text{ pegamento}} = 2,5\text{kg tolueno/mes} \quad (6.1)$$

Como se trabajan 250h/mes:

$$\frac{2,5\text{kg tolueno/mes}}{250 \text{ h/mes}} = 0,01\text{kg tolueno/hora} = 10\text{g/h} \quad (6.2)$$

La cantidad que se emite por hora (G):

$$\mathbf{G=10g/h} \quad (6.3)$$

Por otro lado, el caudal de renovación (Q') será:

$$Q' = \frac{R \times V}{K} \quad (6.4)$$

donde :

V es el volumen del taller (**60 m³**),

R es el número de renovaciones (4 renovaciones/hora) y

K es la constante de mezcla (K=5).

Esta constante se encuentra entre 1 y 10. Su valor depende de la eficacia de mezcla y distribución del aire introducido en el local, la toxicidad del agente químico y otras consideraciones que el higienista considere importantes en base a su experiencia y a las características de la situación concreta [6.3, punto 2.3.1].

Así,

$$Q' = \frac{4 \times 60}{5} \quad (6.5)$$

$$\mathbf{Q'=48 \text{ m}^3/\text{h}.} \quad (6.6)$$

A partir de la ecuación para ventilación general y despejando el tiempo, podemos calcular en qué momento del día se alcanza una concentración igual al valor límite (**C=0,192 g/m³**):

$$t = - \frac{V}{Q'} \ln \frac{G - Q'C}{G} \quad (6.7)$$

$$\mathbf{t = 3,18 \text{ horas}} \quad (6.8)$$

Aproximadamente a las 3 horas de trabajo se alcanza una concentración de tolueno que supera el valor límite (y la concentración seguirá subiendo a lo largo de la jornada), lo que indica que se supera claramente el valor límite y hay que tomar medidas correctoras.

BIBLIOGRAFÍA

6.1.- Norma UNE-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición. AENOR 1996.

6.2.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.

6.3.- ACGIH. Generalitat Valenciana. Conselleria de Treball i Afers Socials. Direcció General de Treball *Ventilación industrial: Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales*. 1992. ISBN 84-7890-818-8.

Una vez realizado el estudio básico y teniendo en cuenta lo reflejado en el capítulo anterior, se ha de realizar un estudio detallado cuando se da una de estas circunstancias:

- La exposición está próxima al valor límite, es decir, no se pueden obtener conclusiones claras en cuanto a si la exposición está muy por debajo o por encima del valor límite.
- En el caso de exposición a agentes cancerígenos, mutágenos y tóxicos para la reproducción [7.1]¹.
- Cuando en el lugar de trabajo estén presentes agentes sensibilizantes [7.1]¹.

Este estudio tiene como objeto suministrar una información válida y fiable sobre la exposición, conocer cuál es el modelo de la misma y obtener datos cuantitativos de las concentraciones de la exposición laboral para evaluar el riesgo por inhalación, mediante la comparación de dicha concentración con el valor límite ambiental de exposición diaria (VLA-ED®).

Cuando se sospecha que la exposición está muy por debajo o por encima del valor límite, se pueden utilizar, para confirmarlo, técnicas fáciles de aplicar, aunque sean menos precisas. Otras posibilidades pueden ser medidas cerca de la fuente de emisión o medidas en el caso más desfavorable, ya que si éstas son muy inferiores al valor límite, está claro que la exposición de los trabajadores también lo será.

Las mediciones deben realizarse durante suficientes días y en operaciones concretas diferentes, con el fin de obtener información sobre el modelo de exposición, de forma que se pueda asegurar, con un determinado grado de confianza, normalmente el 95%, que

¹ En el caso de agentes cancerígenos, mutágenos, tóxicos para la reproducción o sensibilizantes, no será necesario hacer un estudio detallado obligatorio si se dan las condiciones que figuran en el capítulo 6.

no se supera el valor límite no sólo en los días en que se tomaron las muestras, sino también en el futuro, siempre y cuando se mantengan las mismas condiciones.

Al comparar el valor obtenido para la concentración con el valor límite ambiental, establecido para dicho agente químico, se puede llegar a tres conclusiones: exposición aceptable, exposición inaceptable o situación de no decisión (ver capítulo 5).

7.1. PROCEDIMIENTO PARA EL ESTUDIO DETALLADO

No existe un procedimiento único a seguir, por lo tanto, es importante la experiencia del técnico que realiza el estudio.

Una opción válida es seguir las directrices dadas en la norma UNE-EN 689 [7.3]. En la Guía Técnica de Agentes Químicos [7.1] se da una estrategia que, en parte, está basada en esta norma UNE [7.2], pero también tiene en cuenta la estrategia desarrollada por Leidel et al [7.3]. No siempre queda claro en la Guía cuando la estrategia se refiere a la de la norma UNE y cuando se refiere a la de Leidel.

La figura 7.1 recoge el esquema de actuación. Para que este procedimiento sea aplicable se ha de cumplir que:

- La concentración promedio de la jornada de trabajo sea representativa de la exposición laboral.
- Si hay condiciones de operación que se diferencian claramente, se evalúen por separado.
- Las condiciones de operación del trabajo se repitan regularmente y no cambien de forma significativa entre jornadas.

En casos justificados, si la exposición no es uniforme entre distintas jornadas de trabajo, cabe una valoración de base semanal en lugar de diaria [7.4, punto 5.4.1]. En este caso, se requiere que:

- existan variaciones sistemáticas entre las exposiciones diarias de diferentes jornadas
- el agente químico tenga un largo período de inducción, es decir, que produzca efectos adversos para la salud, sólo tras exposiciones repetidas a lo largo de meses o años.

También es posible otra base distinta de la semanal cuando, por ejemplo, se trata de exposición a un contaminante en una campaña de una cierta duración [7.5], como ocurre con el trabajo con ciertos plaguicidas.

Si la exposición no es repetitiva, como ya se dijo en el capítulo 5, habría que llevar a cabo una evaluación cautelara en los focos de

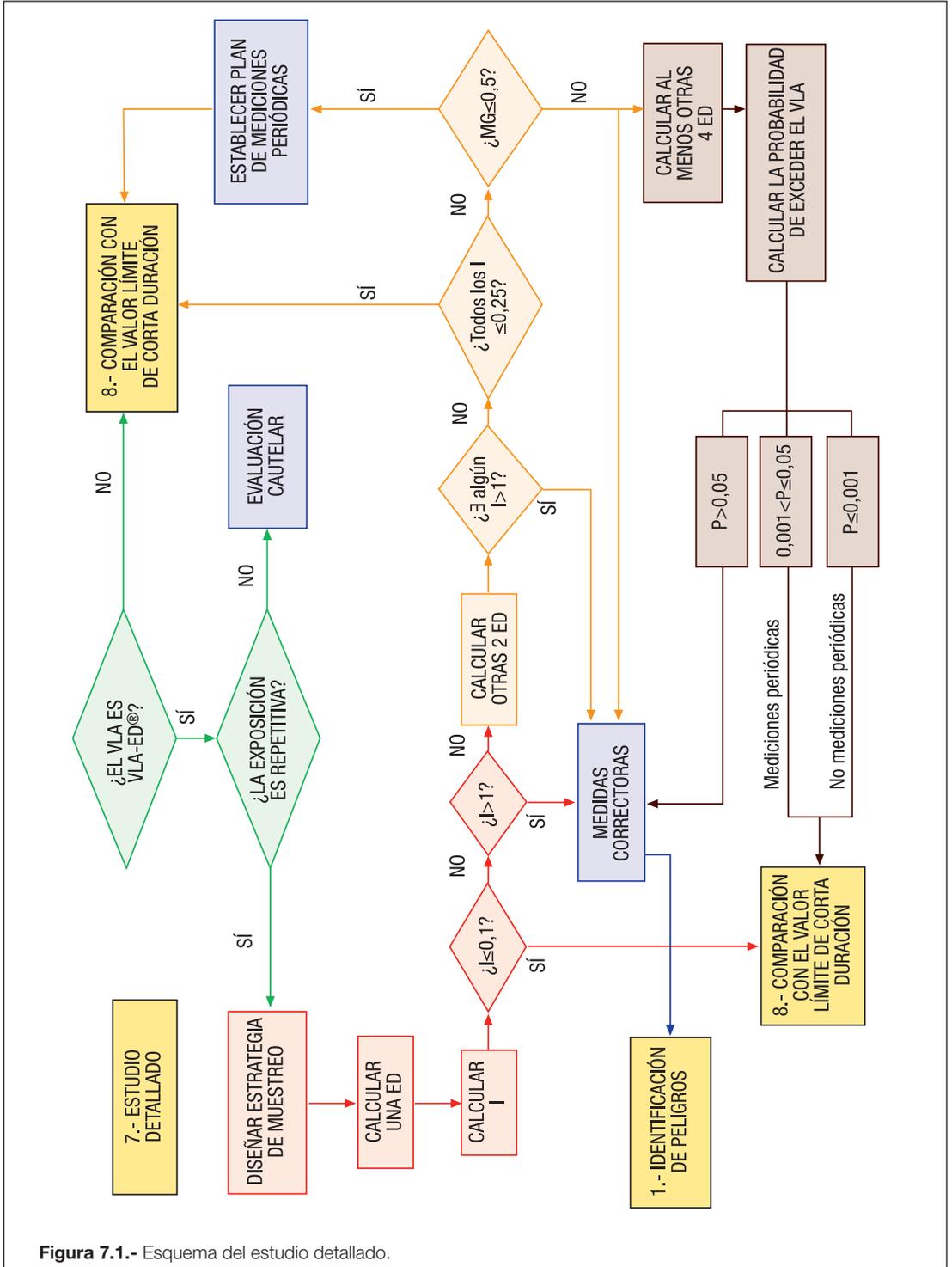


Figura 7.1.- Esquema del estudio detallado.

generación del agente, realizando muestreos o mediciones que indiquen las concentraciones ambientales en su proximidad, y llevar a cabo acciones preventivas para que esas concentraciones sean lo más bajas posible (operación segura) [7.6]. En los casos en que la exposición sea muy irregular y, en consecuencia, de difícil control, la Guía Técnica de Agentes Químicos [7.1] recomienda una vigilancia de la salud de los trabajadores.

7.2. ESTRATEGIA DE MUESTREO

Para diseñar la estrategia de muestreo, una vez comprobado que la exposición es repetitiva, se debe obtener información sobre:

- la duración de las exposiciones
- el número de trabajadores expuestos
- los procedimientos de medida disponibles

En el punto 5 de la norma UNE-EN 482 [7.7], figuran los requisitos generales relativos al funcionamiento de dichos procedimientos de medida. De acuerdo con el art. 5.3 del RD 39/1997 [7.8], los criterios para elegir un método son, en primer lugar, los contemplados en la normativa específica de aplicación en caso de que exista o, en su defecto, los criterios de carácter técnico, según el orden establecido (Normas UNE, Guías INSHT, normas internacionales, guías de otras entidades de reconocido prestigio en la materia).

La toma de muestras ha de ser personal, siempre que sea posible. Se aceptarán mediciones ambientales cuando el sistema o soporte utilizado lo haga necesario y los resultados sirvan para evaluar la exposición del trabajador. En este caso las muestras deben tomarse, en la medida de lo posible, a la altura de las vías respiratorias y en un punto próximo a los trabajadores y, en caso de duda, se tomará como punto de muestreo el de mayor riesgo.

7.2.1. Diseño de la estrategia de muestreo

Como regla general, hay que tratar de optimizar los recursos mediante el uso más eficaz de los mismos. Se debe tener en cuenta lo cerca que se esté respecto del valor límite. Cuanto más cerca se encuentre la exposición de los trabajadores del valor límite, menor será la incertidumbre expandida del procedimiento de medida requerida (ver tabla 7.1), el número de muestras que haya que tomar será mayor y mayor precisión se requiere, también, en el método de toma de muestra y análisis utilizado [7.7].

Período de referencia	Intervalo de medida	Incertidumbre expandida relativa
Corta duración (p.ej. 15 min.)	0,5 a 2 veces el valor límite	$\leq 50 \%$
Larga duración	0,1 a $< 0,5$ veces el valor límite	$\leq 50 \%$
Larga duración	0,2 a 2 veces el valor límite	$\leq 30 \%$

Tabla 7.1.- Requisitos de incertidumbre expandida para mediciones de comparación con los valores límite.

Como se ha dicho anteriormente, sólo si se sospecha que la exposición es claramente inferior o superior al valor límite, se pueden utilizar para confirmarlo técnicas de medición fáciles de aplicar aunque sean menos precisas [7.2].

Al diseñar la estrategia de muestreo hay que establecer:

- selección de los trabajadores a medir
- selección de las condiciones de medida
- procedimiento de medida

Existen dos posibilidades:

- hacer un muestreo aleatorio [7.3] dentro del total de trabajadores expuestos
- dividir la población expuesta en grupos de exposición homogénea (GEH) [7.2].

El muestreo aleatorio requiere un número relativamente grande de muestras y, además, presenta un riesgo considerable de que se puedan pasar por alto pequeños subgrupos de personas altamente expuestas. Es preferible dividir la población expuesta en GEH, es decir, aquellos que realizan tareas idénticas o similares en el mismo lugar y puede, por tanto, suponerse que tienen exposición similar, ya que, además, tiene la ventaja práctica de que los recursos pueden concentrarse en aquellos grupos de trabajadores con mayor exposición.

A la hora de elegir el número de trabajadores a muestrear dentro del GEH es importante, también, el criterio profesional, sobre todo en los grupos pequeños. La frecuencia y el número de mediciones necesarios depende de:

- la precisión que se necesite en la evaluación de la exposición
- lo cerca que se esté del valor límite
- las propiedades del agente químico

7.2.2.

Selección de los trabajadores a medir

El muestreo [7.2, punto 5.2.1] debe realizarse, al menos, a un trabajador por cada diez del grupo. Es razonable incluir dentro de un mismo GEH a trabajadores que pertenezcan a distintos turnos, siempre que no haya ningún motivo para suponer que la exposición va a ser distinta dependiendo del turno de trabajo. Si la exposición está próxima al valor límite, es conveniente tomar, al menos, seis medidas dentro del grupo. Si el número de trabajadores fuera inferior a seis, se puede muestrear más de una vez al mismo trabajador.

Una vez obtenidas las mediciones, es necesario verificar que se han seleccionado adecuadamente los grupos mediante el estudio crítico de los ciclos de trabajo y el examen de los resultados de los muestreos preliminares. Como regla práctica, si la exposición de un trabajador es inferior a la mitad o superior al doble de la media aritmética del grupo, hay que reconsiderar si se ha elegido bien el grupo [7.2. punto 5.2.1].

Cuando la media aritmética de las medidas obtenidas en un grupo se aproxima a la mitad del valor límite, es probable que alguna de ellas exceda dicho valor.

Si la selección del número de trabajadores a muestrear se hubiese realizado mediante un muestreo estadístico [7.3], el número de mediciones necesario sería, en general, superior.

Para decidir cuántos trabajadores habría que muestrear se puede utilizar la tabla 7.2 [7.3]. Así se garantizaría, con un 90% de probabilidad, que dentro del grupo muestreado (n) se encontraría uno de los trabajadores incluido en el grupo de los de mayor exposición, N_o , que en este caso es el 10% ($N_o = 0,1N$), siendo N el número total de trabajadores.

Por ejemplo, si dentro de un grupo de 20 trabajadores, seleccionamos trece, habrá un 90% de probabilidad de que, dentro de los trece, uno sea de los dos trabajadores del total que tienen mayor exposición.

Si el total de trabajadores es inferior a ocho, se debe muestrear a todos ellos.

Sea cual sea el procedimiento elegido para determinar el número de trabajadores a muestrear, la elección de los mismos debe hacerse al azar, para lo cual se puede utilizar una "tabla de números aleatorios", [7.1, 7.3].

7.2.3. Selección de las condiciones de medida Se puede muestrear tomando una o varias muestras que cubran toda la jornada o bien estimar la concentración a partir de mediciones que cubran sólo parte de la misma, siempre que se pueda extrapolar la concentración de ese periodo muestreado a la totalidad de la exposición. Hay que examinar críticamente el periodo no

N° de trabajadores a muestrear del total P= 10%, N ₀ =0,1N	
N° total de trabajadores "N"	N° de trabajadores muestreados "n"
8	7
9	8
10	9
11-12	10
13-14	11
15-17	12
18-20	13
21-24	14
25-29	15
30-37	16
38-49	17
50	18

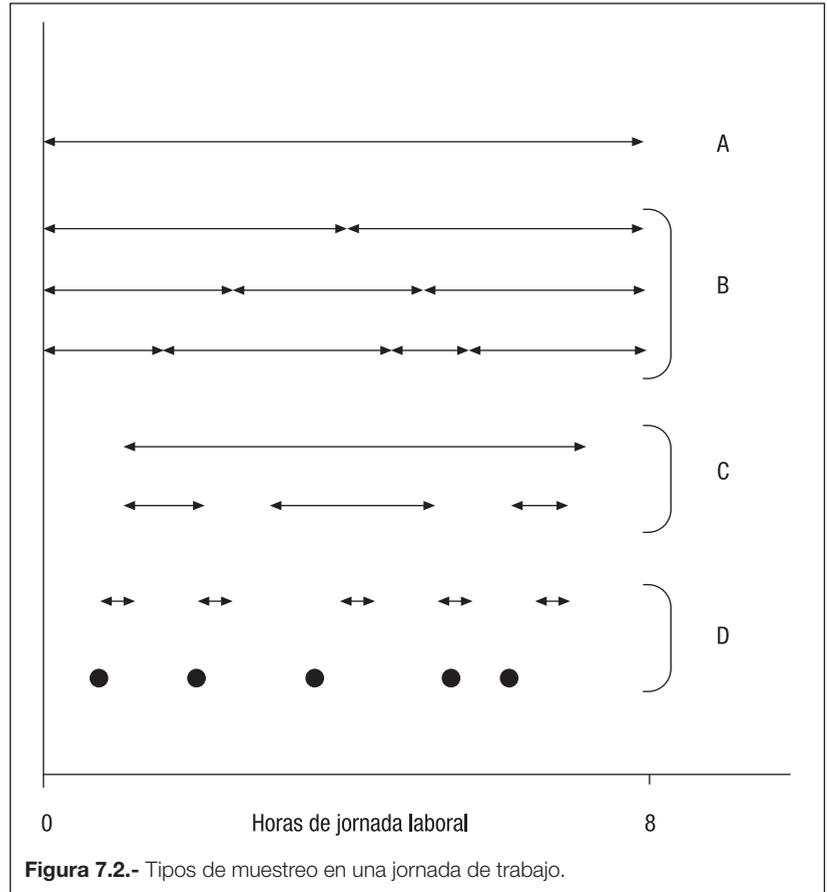
Tabla 7.2.- Número de trabajadores a muestrear para que con un 90% de probabilidad se muestree a uno de los que están entre el 10% de mayor exposición.

muestreado para comprobar que no existen diferencias respecto al que sí se muestreó.

En la figura 7.2 se recogen varios modelos de muestreo [7.3].

El orden de preferencia al seleccionar un modelo de muestreo es [7.3]:

- B: de periodo completo con varias muestras consecutivas que no tienen por qué ser de la misma duración. Este tipo de muestreo es preferible al A, porque proporciona límites de confianza más estrechos al estimar la exposición [7.3] y porque permite detectar mejor la contaminación accidental de una muestra [7.1]. De todas formas hay que considerar que un aumento en el número de muestras encarece la evaluación, por lo que dos muestras consecutivas de 4 horas cada una se considera como el mejor compromiso [7.3].
- A: de periodo completo, con una única muestra.
- C: de periodo parcial, con una muestra única o muestras consecutivas. Para una jornada de 8 horas, el periodo muestreado no debería ser inferior a 4 horas. Se puede usar siempre que



se pueda extrapolar la concentración de este periodo a la totalidad de la exposición.

- D: cuando es imposible, debido a limitaciones de los procedimientos de muestreo, efectuar ninguno de los muestreos anteriores. Esto sucede con frecuencia cuando se utilizan tubos colorimétricos o equipos de lectura directa, aunque puede ocurrir también cuando se utiliza un adsorbente sólido y el volumen de ruptura es pequeño. En ese caso se pueden tomar muestras puntuales de igual duración y repartidas de forma aleatoria a lo largo de la jornada laboral. El número óptimo de este tipo de muestras se encuentra entre 8 y 11 [7.3], pero si el trabajador distribuye su jornada de trabajo entre varios lugares, entonces el número óptimo de muestras sería entre 8 y 11 por cada periodo de exposición diferente que contribuya de forma significativa a la exposición total. No obstante, si no es posible tomar un número tan alto de muestras, se recomienda

distribuir el número de muestras en proporción al tiempo de cada periodo de exposición, es decir, se deben tomar más muestras en los lugares donde se permanece más tiempo. Cuando se utiliza este tipo de muestreo, la duración de las muestras sólo es importante desde el punto de vista analítico, pero no desde el punto de vista de la representatividad de las mismas [7.3]. En la práctica, este tipo de muestreo [7.1] sólo es útil en situaciones en que los resultados individuales estén muy por debajo o muy por encima del VLA-ED®.

Lo ideal es evaluar la exposición del trabajador tomando muestras personales que cubran toda la jornada de trabajo y sean representativas de las distintas actividades que puedan desarrollarse durante la misma. Esto no siempre es práctico, pero es necesario obtener información de aquellas tareas para las que es más difícil conocer la exposición [7.2, punto 5.2.3.1].

No es necesario evaluar todas las tareas. Si se conoce la exposición de una cierta tarea, porque se haya evaluado en otra ocasión, podemos utilizar los datos que se obtuvieron entonces, siempre y cuando no exista ningún motivo para pensar que ha cambiado la exposición.

De acuerdo con la Norma UNE-EN 689, es aconsejable realizar las mediciones en un número suficiente de días. Es importante tener en cuenta las variaciones que pueden deberse a diferentes turnos o épocas del año [7.2].

Cuando es posible identificar los momentos o procesos en los que la exposición es mayor, los periodos a muestrear se eligen de manera que cubran estos momentos. Esto se llama muestreo en el caso más desfavorable.

También se pueden identificar estos momentos mediante un procedimiento semicuantitativo (en general, un procedimiento de medida rápido y sencillo, aunque no proporcione el mismo grado de exactitud en las mediciones). Esto es particularmente importante en los sitios donde el trabajo varía a lo largo de la jornada.

El modelo para la medición puede estar influenciado por ciertos problemas prácticos, tales como la frecuencia y duración de algunas tareas y el uso óptimo de los recursos analíticos y de la Higiene Industrial. Dentro de estas limitaciones, el muestreo debería organizarse de manera que los datos sean significativos de las tareas identificadas para periodos conocidos. Esto es particularmente importante en muchos lugares de trabajo, donde las tareas cambian durante el periodo de trabajo, lo que puede implicar interrupciones y no poder alcanzar una duración de 8 horas a lo largo de la jornada.

La duración de cada muestra viene determinada por el método de toma de muestra y análisis. Cuando se tenga certeza de que la concentración durante un determinado periodo no varía significativamente, no es necesario muestrear todo el periodo [7.2]. De acuerdo con la Norma UNE-EN 689, en este caso bastaría con muestrear el 25% del periodo de exposición.

Sin embargo, el tiempo no muestreado es el principal punto débil en la credibilidad de cualquier medición de la exposición. Durante este tiempo es necesaria una observación cuidadosa de los hechos. La hipótesis de que no han ocurrido cambios durante el periodo no muestreado debe ser examinada siempre de forma crítica.

Cuando la duración del muestreo es menor que el periodo completo de exposición durante una jornada de trabajo, el número mínimo de muestras a tomar puede variar en función del tipo de muestra (duración de cada muestra) y del grado de confianza que se requiere para determinar la exposición [7.2, anexo A]. Este número mínimo de muestras se puede ver en la tabla 7.3.

Duración de la muestra	Número mínimo de muestras por jornada de trabajo
10 seg.	30
1 min.	20
5 min.	12
15 min.	4
30 min.	3
1 hora	2
≥ 2 horas	1

Tabla 7.3.- Número mínimo de muestras por jornada de trabajo en función de la duración de una muestra.

Esta tabla se basa en la presunción de que se debe muestrear al menos el 25% del período de exposición, siempre que no se produzcan cambios significativos en la concentración del contaminante a lo largo de dicho periodo.

Si la exposición se caracteriza por la presencia de picos de concentración, hay que estimar éstos para compararlos con los valores límite de corta duración.

El procedimiento de medida debe proporcionar resultados representativos de la exposición del trabajador. Para ello, como se ha dicho anteriormente, siempre que sea posible se tomarán muestras personales.

Además, tal y como se ha expuesto en el punto 7.2.1, debe cumplir con lo exigido en la Norma UNE-EN 482 [7.7] y debe incluir:

- las sustancias muestreadas
- el método de toma de muestra
- el método de análisis
- la localización de las muestras
- la duración del muestreo
- el horario y el intervalo entre las mediciones
- los cálculos que conducen a la concentración ambiental a partir de los resultados analíticos
- las instrucciones técnicas adicionales adecuadas a las mediciones
- las tareas a controlar.

Si los trabajadores están expuestos simultánea o consecutivamente a más de una sustancia, hay que tenerlo en cuenta.

7.2.4. Procedimiento de medida

7.3. CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN DIARIA

A partir de los resultados analíticos individuales obtenidos para cada trabajador, se calcula su exposición diaria (ED). El cálculo se hace de forma ponderada con respecto al tiempo de la jornada estándar de 8 horas [7.2, anexo B].

La ED se calcula mediante la fórmula:

$$ED = \frac{\sum c_i \times t_i}{8} \quad (7.1)$$

donde:

c_i = concentración de la exposición laboral en el tiempo t_i

t_i = tiempo de exposición asociado en horas

8 = periodo de referencia del valor límite en horas

Y donde $\sum t_i$ sería la duración de la jornada en horas, que puede ser inferior, igual o superior a 8 horas.

7.3.1. Muestreos tipos A y B

7.3.2. Muestras tipo C La ED se calcula mediante la fórmula:

$$ED = \frac{\sum c_i \times t_i}{\sum t_i} \cdot \frac{J}{8} \quad (7.2)$$

donde:

- c_i = concentración de la exposición laboral en el tiempo t_i
- t_i = tiempo de exposición asociado en horas
- $\sum t_i$ = duración total del periodo muestreado
- 8 = periodo de referencia del valor límite en horas
- J = duración de la jornada en horas

7.3.3. Muestras tipo D Cuando el muestreo es de tipo, D, es decir, se han tomado varias muestras de corta duración y de forma aleatoria a lo largo de la jornada, la exposición diaria se calcula mediante una estimación del valor más probable de la media de las mediciones efectuadas.

Como ejemplo, los valores obtenidos para la concentración (c_i) son: 40,1; 25,8; 20,0; 30,8; 14,5; 23,4; 53,0; 37,0; 28,2 y 20,8 ppm (ver cuadro 7.1).

Los pasos a seguir para estimar la media son [7.9]:

1. Calcular los logaritmos neperianos de las "n" concentraciones (c_i), en el ejemplo estos valores están en el cuadro 7.1.
2. Calcular m_L , la media aritmética de los Ln c_i

$$m_L = \frac{\sum \text{Ln } c_i}{n} \quad (7.3)$$

En el ejemplo (cuadro 7.1):

$$m_L = 3,3147 \quad (7.4)$$

3.- Calcular la desviación estándar, s_L

$$s_L = \sqrt{\frac{\sum (m_L - \text{Ln } c_i)^2}{n - 1}} \quad (7.5)$$

En el ejemplo (cuadro 7.1):

$$s_L = 0,3791 \quad (7.6)$$

4.- Calcular la media geométrica, MG

$$MG = e^{m_L} \quad (7.7)$$

En el ejemplo (cuadro 7.1):

$$MG = 27,52 \quad (7.8)$$

5.- Calcular la desviación estándar geométrica, DSG

$$DSG = e^{s_L} \quad (7.9)$$

En el ejemplo (cuadro 7.1):

$$DSG = 1,46 \quad (7.10)$$

6.- Calcular Φ , se puede obtener de la figura 7.3, conociendo DSG y el número de muestras.

$$\Phi = 1,07 \quad (7.11)$$

También se puede calcular Φ mediante la fórmula:

$$\Phi = 1 + \frac{(n-1)}{n}t + \frac{(n-1)^3}{n^2(n+1)} \frac{t^2}{2!} + \frac{(n-1)^5}{n^3(n+1)(n+3)} \frac{t^2}{3!} + \dots \quad (7.12)$$

donde:

$$t = \frac{(s_L)^2}{2} \quad (7.13)$$

Realmente, en la fórmula (7.12), sólo los tres primeros términos son significativos, por lo que la fórmula se puede reducir a:

$$\Phi = 1 + \frac{(n-1)}{n}t + \frac{(n-1)^3}{n^2(n+1)} \frac{t^2}{2!} \quad (7.14)$$

En el cuadro 7.2, se han calculado para un número de muestras comprendido entre 2 y 12 los valores de $(n-1)/n$ y de $(n-1)^3/n^2(n+1)$, por lo que, en el ejemplo, sustituyendo en (7.14) para $n=10$ y el valor de t calculado en el cuadro 7.2, se obtiene:

$$\Phi = 1 + 0,9 \times 0,07186 + 0,662727 \frac{(0,07186)^2}{2} = 1,07 \quad (7.15)$$

7.- A partir de la media geométrica y de Φ se estima la media aritmética, es decir, el valor más probable de la media de la concentración (media estimada):

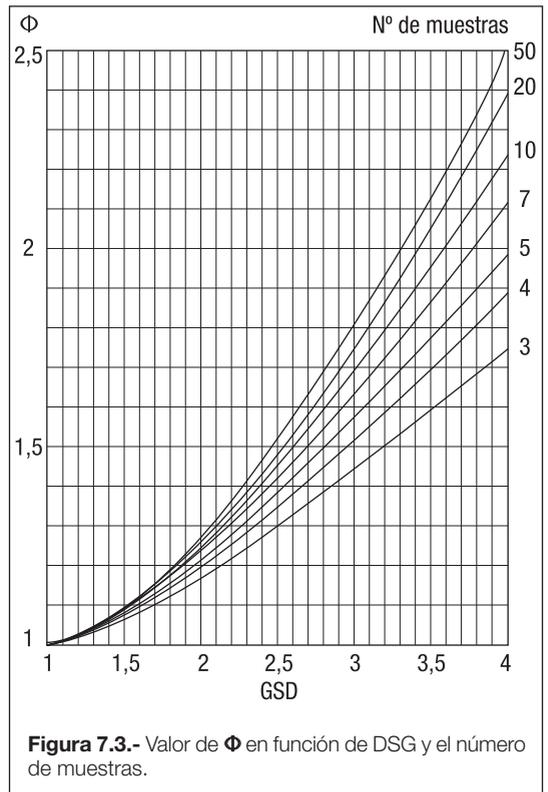
$$m_{\text{estimada}} = MG \times \Phi = 27,51 \times 1,066 = 29,3\text{ppm} \quad (7.16)$$

i	c _i (ppm)	Ln c _i	m _L - Ln c _i	(m _L - Ln c _i) ²
1	14,5	2,6741	0,6406	0,4104
2	20,0	2,9957	0,319	0,1018
3	20,8	3,0350	0,2798	0,0783
4	23,4	3,1527	0,1620	0,0262
5	25,8	3,2504	0,0644	0,0041
6	28,2	3,3393	-0,0246	0,0006
7	30,8	3,4275	-0,1128	0,0127
8	37,0	3,6109	-0,2962	0,0877
9	40,1	3,6914	-0,3766	0,1419
10	53,0	3,9703	-0,6556	0,4298
suma		33,1474		1,2934
m _L		3,3147		
			s _L ²	0,1437
			s _L	0,3791
			MG	27,52
			DSG	1,46

Cuadro 7.1.- Cálculos para determinar Φ.

n	(n-1)/n	(n-1) ³ /[n ² (n+1)]
2	0,500	0,083
3	0,667	0,222
4	0,750	0,338
5	0,800	0,427
6	0,833	0,496
7	0,857	0,551
8	0,875	0,595
9	0,889	0,632
10	0,900	0,663
11	0,909	0,689
12	0,917	0,711
	s _L ²	0,1437
t=	s _L ² /2	0,0719
t ² =		0,0052
	1	1,0000
	(n-1)/n*t	0,0647
	(n-1) ³ /[n ² (n+1)]*t ² /2!	0,0017
Φ		1,07

Cuadro 7.2.- Cálculos para la determinación matemática de Φ.



7.4. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN

El índice de exposición (I) [7.2, anexo C] se determina de acuerdo con la expresión:

$$I = \frac{ED}{VL} \quad (7.17)$$

donde:

ED = exposición diaria de un trabajador al contaminante

VL = VLA-ED[®] del contaminante

Si en el puesto de trabajo existen agentes químicos con efectos aditivos², se utilizaría como índice de cada jornada:

$$\sum \frac{ED_i}{VLA - ED_i^{\text{®}}} \quad (7.18)$$

Si se trata de la exposición de un grupo homogéneo, la fórmula (7.17) se convertiría en

$$I = \frac{ED_m}{VL} \quad (7.19)$$

donde:

ED_m = exposición diaria media del GEH al contaminante

VL = VLA-ED[®] del contaminante

7.5. VALORACIÓN A PARTIR DEL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN OBTENIDO

La valoración de la exposición se realiza en función del valor de I [7.2].

- Si el valor de I es inferior o igual a 0,1, la exposición está por debajo del VL. Si, además, puede demostrarse que este valor es representativo a largo plazo y que también se cumple con las condiciones del valor límite de corta duración (capítulo 8), se considera terminada la evaluación, no es necesario hacer nuevas mediciones.

2 Los **VLA** se establecen para agentes químicos específicos y no para las mezclas de éstos. Sin embargo, cuando están presentes en el ambiente varios agentes que ejercen la misma acción sobre los mismos órganos o sistemas, es su efecto combinado el que requiere una consideración preferente. Dicho efecto combinado debe ser considerado como aditivo, salvo que se disponga de información que indique que los efectos son sinérgicos o bien independientes [7.4].

La Generalitat Valenciana publica anualmente [7.10] la traducción de los *Threshold Limit Values* (TLV[®]) establecidos por la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH). Esta publicación incluye información sobre el efecto o efectos adversos para la salud en que está basado el TLV[®] de cada compuesto. Esta información puede utilizarse para determinar si los componentes de una mezcla actúan independientemente o de forma aditiva.

- Si algún valor de I es superior a 1, la exposición está por encima del VL.
- Si el valor de I es superior a 0,1 pero igual o inferior a 1, hay que medir otros dos días. En este último caso, una vez obtenidas las mediciones de los tres días, se puede llegar a una de estas situaciones:
 - Si los valores de I en tres días diferentes son todos inferiores o iguales a 0,25, la exposición está por debajo del VL. Si, además, las condiciones no varían con el tiempo, no son necesarias evaluaciones periódicas.
 - Si los valores de I en tres días diferentes son todos inferiores o iguales a 1, y la media geométrica (MG) de los tres es inferior o igual a 0,5, la exposición está por debajo del VL, aunque en este caso sería necesario establecer un plan de mediciones periódicas para comprobar que la exposición continúa siendo inferior al VL.
 - Si algún valor de I es superior a 1, la exposición está por encima del VL. En este caso hay que investigar las causas y tomar medidas para corregir la situación y, una vez tomadas, hacer una nueva evaluación de riesgos.
 - En cualquier otro caso, el procedimiento conduce a la situación de "no decisión".

En el caso de que haya que calcular otras dos exposiciones diarias, hay que tener en cuenta que:

- las exposiciones diarias que se obtengan han de proceder de jornadas diferentes, si es posible no consecutivas y elegidas al azar;
- las condiciones de trabajo no han de variar, sustancialmente, de una jornada a otra, ni a largo plazo;
- las fases o tareas diferenciadas se muestrean por separado.

Si se concluye que la exposición está por debajo del valor límite de exposición diaria, la evaluación continúa con la comparación con los valores límite de corta duración o límites de desviación (ver capítulo 8).

Si la exposición es superior al valor límite, como se ha dicho antes, habrá que adoptar medidas correctoras para reducirla y, cuando se apliquen, hacer una **nueva** evaluación de la exposición laboral. Se trata de una nueva evaluación de la exposición y no de una medición periódica, porque al adoptar medidas correctoras se han cambiado las condiciones de trabajo (ver capítulo 5, apartado 5.1) y habrá que iniciar la evaluación de la exposición desde el principio para tener en cuenta los cambios introducidos.

Si se ha llegado a una situación de “no decisión”, se puede adoptar una de estas dos soluciones:

- Adoptar medidas para reducir la exposición y, una vez implantadas, realizar una **nueva** evaluación de la exposición laboral. Se usarán, en orden de preferencia, las medidas de control en el foco de contaminación, el medio de difusión y en último lugar sobre el trabajador [7.1]. Como en el caso anterior se trata de una nueva evaluación de la exposición porque, al adoptar medidas para reducir la exposición, se cambian las condiciones de trabajo (ver capítulo 5).
- Aumentar el número de mediciones, obteniendo otras cuatro y, con la ayuda de un gráfico de probabilidad (Anexo E), calcular la probabilidad de que se supere el valor límite. Aumentar el número de mediciones sólo tendría sentido si el valor de la media geométrica de las exposiciones de los tres días fuera ligeramente superior a 0,5, o cuando su coste compensase frente al coste de las medidas correctoras.

En este último caso, en función del valor obtenido para la probabilidad, P, se llega a una de estas tres situaciones (ver Anexo E):

- **SITUACIÓN VERDE, SI $P \leq 0,1$ %**

La exposición es aceptable y no son necesarias mediciones periódicas.

- **SITUACIÓN NARANJA, SI $0,1$ % < $P \leq 5$ %**

La exposición es aceptable pero es necesario establecer un plan de mediciones periódicas.

- **SITUACIÓN ROJA, SI $P > 5$ %**

La exposición no puede considerarse aceptable.

7.6. MEDICIONES PERIÓDICAS

El principal interés de las mediciones periódicas está en objetivos a largo plazo, tales como la comprobación de que las medidas de control continúan siendo eficaces. La información obtenida probablemente indicará las tendencias o los cambios de la exposición permitiendo que puedan tomarse medidas antes de que ocurran exposiciones excesivas.

Los objetivos de las mediciones periódicas son, por tanto:

- Comprobar si las condiciones de la exposición han cambiado.
- Comprobar que las medidas de control permanecen eficaces.

- Obtener información acerca de la tendencia de la exposición que permita tomar medidas antes de que ocurran exposiciones excesivas.

Como el seguimiento periódico se diseña para proporcionar un tipo de información algo diferente de la obtenida durante la evaluación de la exposición laboral, se entiende que las estrategias de muestreo utilizadas pueden no ser las mismas.

Para que sean realmente útiles, deben poder compararse los resultados sucesivos de un programa de muestreo periódico. La estrategia de muestreo, es decir, cómo, cuándo y dónde se recogen las muestras, se planificará en función de los objetivos y, una vez establecida, se debe mantener en el tiempo con el fin de que los resultados que se vayan obteniendo puedan compararse. De esta forma también es posible saber cuándo se ha producido un cambio en la exposición.

La frecuencia de las mediciones depende de los resultados obtenidos en la evaluación de la exposición laboral. Se aumentará cuanto más próxima esté al Valor Límite. Otros factores que pueden tenerse en cuenta son:

- Los ciclos de los procesos
- Las consecuencias de los fallos en los dispositivos de protección
- La proximidad al valor límite
- La eficacia de los controles
- El tiempo requerido para restablecer la situación normal
- La variabilidad temporal de los resultados
- El tiempo de respuesta del laboratorio de análisis

Un posible esquema de actuación para fijar las mediciones periódicas es el descrito en el anexo F de la Norma UNE-EN 689 [7.2]:

- La primera medición a las 16 semanas
- y, de acuerdo con el valor de I obtenido, se fija la siguiente:
 - $I \leq 0,25$ a las 64 semanas
 - $0,25 < I \leq 0,5$ a las 32 semanas
 - $0,5 < I \leq 1$ a las 16 semanas
 - $I > 1$ identificar las causas y remediar la situación

Cuando se disponga de datos de las sucesivas mediciones periódicas, se puede utilizar una representación gráfica de la media ponderada móvil obtenida a partir de las mismas. Es un método adecuado para seguir las tendencias de la exposición [7.2, anexo G].

BIBLIOGRAFÍA

7.1.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.

7.2.- Norma UNE-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición. AENOR 1996.

7.3.- N.A. Leidel, K.A. Buch and J.R. Lynch. *Occupational Exposure Sampling Strategy Manual*. U.S. Department of Health, Education and Welfare. Public Health Service. Center for Disease Control. National Institute for Occupational Safety and Health, 1977.

7.4.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. (Publicación anual).

7.5.- S.A. Roach. "Threshold limit values for extraordinary work schedules". *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 39 (4), 1978, p. 345-348.

7.6.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP n° 406. Contaminantes químicos: evaluación de la exposición laboral (I).

7.7.- Norma UNE-EN 482:2007. Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos. AENOR 2007.

7.8.- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

7.9.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP n° 347. Contaminantes químicos: evaluación de la concentración ambiental.

7.10.- GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D'ECONOMIA, HISENDA i OCUPACIÓ. TLVs®. Valores Límite para Sustancias Químicas y Agentes Físicos en el Ambiente de Trabajo. BEIs®. Índices Biológicos de Exposición.



Comparación con el valor límite de corta duración

8

Una vez comprobado que no se excede el valor límite de larga duración o, en el caso de que no exista, si la exposición se caracteriza por la presencia de picos de concentración, éstos se tienen que evaluar de acuerdo con los requisitos de los límites de corta duración, si los hubiese [8.1, punto 5.2.1].

Los valores límite de corta duración (VLA-EC[®]) y los límites de desviación, en el caso de que no existan VLA-EC[®], están explicados en el Apéndice 1 de la Guía de Agentes Químicos [8.2] y en el Documento sobre Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España [8.3].

La evaluación del riesgo por inhalación por comparación con el VLA-EC[®] requiere obtener el valor de la concentración ponderada durante el periodo de 15 minutos de exposición más elevada. Si no existe VLA-EC[®], habrá que comprobar que las concentraciones pico que se produzcan a lo largo de la jornada no exceden los límites de desviación [8.3].

Existen dos grandes diferencias en cuanto a las muestras que se deben tomar para comparar con el VLA-EC[®] y las que se toman para comparar con el VLA-ED[®] [8.4]:

- Es preferible que las muestras no se tomen de un modo aleatorio si se conocen los periodos en los que se espera que la exposición sea más alta. Evidentemente, habrá ocasiones en las que no se conozcan los periodos de mayor exposición y, entonces, haya que recurrir a un muestreo aleatorio.
- En general, las muestras tienen una duración menor cuando se van a comparar con el VLA-EC[®]. Cada medida consistirá en una muestra de 15 minutos de duración o en una serie de muestras consecutivas que cubran 15 minutos.

Se recomienda efectuar al menos tres mediciones durante una jornada de trabajo [8.4] y considerar el resultado más alto como la mejor estimación de la exposición de la jornada.

La estrategia de muestreo será distinta si se conocen o no los momentos en que la exposición es mayor.

- Si se conocen los momentos en que la exposición es mayor, hay que muestrear esos periodos para obtener el valor de la exposición de corta duración (EC). Si en uno o más de los periodos muestreados se obtiene una concentración superior al VLA-EC[®], la exposición es inaceptable, mientras que si todos los valores obtenidos son inferiores al VLA-EC[®], se concluye que la exposición es aceptable.
- Si no se conocen, habrá que seleccionar un número de periodos en los que sea posible que la concentración de contaminante sea mayor y que permitan obtener una estimación de la EC y calcular la probabilidad de que en los periodos no muestreados se pueda superar el VLA-EC[®].

En una jornada laboral de 8 horas existen 32 periodos de 15 minutos consecutivos contando desde el inicio al final de la jornada y, si además se tienen en cuenta los periodos solapados, el número es muy elevado.

Por este motivo, la probabilidad de que, eligiendo un cierto número de periodos, se muestree el de mayor concentración o alguno de los de mayor concentración, es muy baja. Esto justifica que en la práctica se seleccionen "a priori" los periodos de la jornada en los que las condiciones del proceso hagan presuponer una mayor generación de agente químico. Para ello es preciso analizar las tareas del puesto y el proceso de trabajo. Cuando sea posible se muestreará el total de periodos en los que presumiblemente se dan las condiciones más desfavorables. Si no se pueden muestrear todos los periodos posibles porque su número fuera muy elevado, se eligen aleatoriamente algunos de ellos [8.2].

Como la seguridad de que se ha muestreado el "peor" periodo de 15 minutos no es total, se puede recurrir a la estadística y estimar la probabilidad de que se supere el valor de VLA-EC[®] en alguno de los periodos no muestreados.

Se parte de la suposición, habitualmente admitida, de que los valores de concentración ambiental se comportan de acuerdo con una distribución logarítmico-normal, es decir, que los logaritmos de esos valores se ajustan a una distribución normal. Si se dispone de algunos valores de concentración promedio ponderada durante un periodo de 15 minutos (EC), se puede predecir la probabilidad de que un periodo no muestreado supere el valor VLA-EC[®] y también

la probabilidad global de que eso suceda en la totalidad de periodos de 15 minutos que no han sido muestreados. A continuación se trata de establecer un criterio de decisión (exposición aceptable, inaceptable o indeterminada) en función de la probabilidad, p' , de **no superar** el VLA-EC® [8.2, Apéndice 4].

- Si $p' > 0,9$ (o 90%), se considera que no se supera el VLA-EC® (exposición aceptable).
- Si $p' < 0,1$ (o 10%), se considera que se supera el VLA-EC® (exposición inaceptable).
- Si $0,1 \leq p' \leq 0,9$, no es posible concluir que se supera el VLA-EC®, ni que no se supera, por lo que se considera que hay indeterminación.

Si no se sobrepasa el VLA-EC®, el siguiente paso sería elaborar el informe. Si la probabilidad de sobrepasarlo es superior al 10%, habría que muestrear un número mayor de periodos posibles con el fin de precisar la caracterización de la EC, o bien tomar medidas para reducir la exposición. En realidad, si se había muestreado un número razonable de periodos, al menos seis, no tiene mucho sentido seguir muestreando más, por lo que es preferible tomar medidas para reducir la exposición. Sólo en el caso de que la estimación de p' se hubiese hecho basándose en pocos periodos muestreados, tendría sentido aumentar el número de mediciones.

En la figura 8.1 se puede ver un esquema de la comparación con el VLA-EC® o, en su caso, con los límites de desviación.

El planteamiento del muestreo y la comparación con el VLA-EC® puede seguirse de acuerdo con los pasos que se detallan a continuación, mientras que los cálculos numéricos se pueden ver en el cuadro 8.1.

- 1.- Identificar el número de periodos, **a**, de 15 minutos en los cuales es posible sobrepasar el VLA-EC®. Por ejemplo, 16, siendo el valor de VLA-EC® 70 ppm.
- 2.- Muestrear algunos de ellos, **b**. Por ejemplo diez (10). Los valores obtenidos para la concentración (C) son los mismos que los del ejemplo del Anexo E, es decir: 40,1; 25,8; 20,0; 30,8; 14,5; 23,4; 53,0; 37,0; 28,2 y 20,8 ppm (ver cuadro 8.1).
- 3.- Obtener el índice de exposición (I) de cada valor, dividiendo los valores obtenidos por VLA-EC®.

$$I = \frac{C}{\text{VLA-EC}^{\circledR}} \quad (8.1)$$

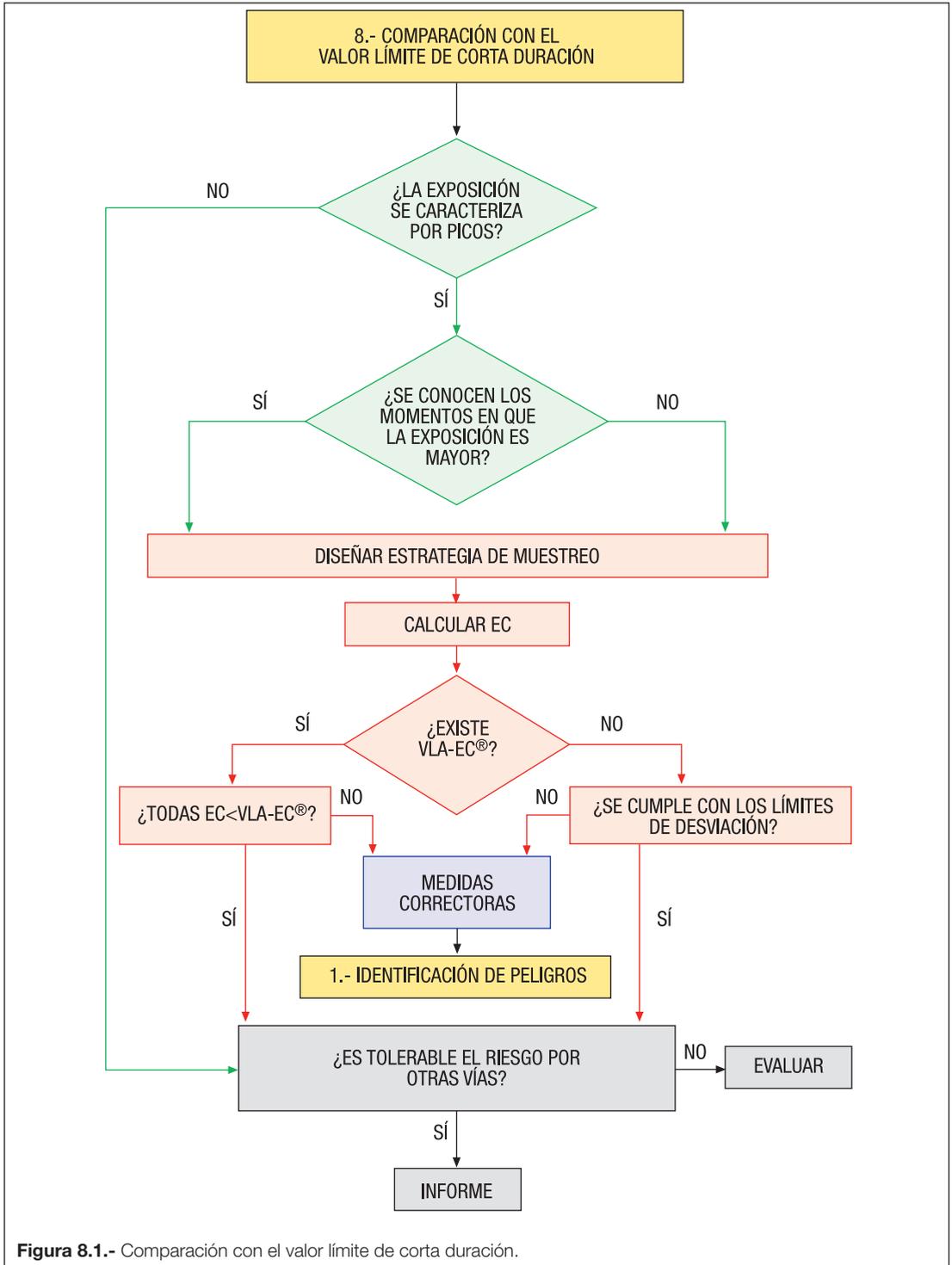


Figura 8.1.- Comparación con el valor límite de corta duración.

- 4.- Calcular el logaritmo decimal o natural de cada índice, L_i .
- 5.- Calcular la media, L , y la desviación estándar, σ , de los logaritmos de los índices. En nuestro caso,

$$L = -0,4055 \quad (8.2)$$

$$\sigma = 0,1646 \quad (8.3)$$

- 6.- Calcular el estadístico $Z = L / \sigma$. En nuestro caso,

$$Z = -0,4055/0,1646 = -2,46 \quad (8.4)$$

- 7.- Buscar, en la tabla 8.1, el valor de la probabilidad, p , correspondiente al valor Z . En nuestro caso, ese valor de p es 0,0069. Este valor representa la probabilidad de superar el VLA-EC[®], suponiendo que los datos obtenidos se ajustan a una distribución geométrica, y por tanto sus logaritmos se ajustan a una distribución normal.
- 8.- A partir de estos datos, hay que calcular p' , la probabilidad de que no se supere el VLA-EC[®] en los periodos no muestreados, aplicando la fórmula

$$p' = (1-p)^{a-b} \quad (8.5)$$

donde:

$$p = 0,0069$$

$$a = 16$$

$$b = 10$$

por lo que

$$p' = (1-0,0069)^{16-10} = 0,9931^6 = 0,96 \quad (8.6)$$

Como la probabilidad de no superar el VLA-EC[®] es del 96%, la exposición se considera aceptable.

Otra forma de comparar con VLA-EC[®] es gráficamente. En ese caso, a partir de un gráfico de probabilidad (ver Anexo E) y mediante la representación gráfica de los diez valores de EC obtenidos, se calcula la probabilidad de superar el VLA-EC[®] = 70 ppm. De acuerdo con la figura E.3 del Anexo E, esa probabilidad es de 0,008.

Aplicando la fórmula anterior,

$$p' = (1-0,008)^{16-10} = 0,992^6 = 0,95 \quad (8.7)$$

Como la probabilidad de no superar el VLA-EC[®] es del 95%, la exposición se considera aceptable.

i	C (ppm)	I=C/VLA-EC [®]	L _i	L - L _i	(L - L _i) ²
1	14,5	0,2071	-0,6837	0,2782	0,0774
2	20	0,2857	-0,5441	0,5441	0,2960
3	20,8	0,2971	-0,5270	0,5270	0,2778
4	23,4	0,3343	-0,4759	0,4759	0,2265
5	25,8	0,3686	-0,4335	0,4335	0,1879
6	28,2	0,4029	-0,3948	0,3948	0,1559
7	30,8	0,4400	-0,3565	0,3565	0,1271
8	37	0,5286	-0,2769	0,2769	0,0767
9	40,1	0,5729	-0,2420	0,2420	0,0585
10	53	0,7571	-0,1208	0,1208	0,0146
suma			-4,055261713	1,498383143	
L=			-0,405526171	σ= 0,166487016	
VLA-EC [®] = 70ppm			Z=L/σ -2,435782569		
			p	0,0069	

Cuadro 8.1.- Cálculos para determinar p.

$Z = \frac{L}{\sigma}$; p= probabilidad acumulada													
Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
3,49	0,9998	2,99	0,9986	2,49	0,9936	1,99	0,9767	1,49	0,9319	0,99	0,8389	0,49	0,6879
3,48	0,9997	2,98	0,9986	2,48	0,9934	1,98	0,9761	1,48	0,9306	0,98	0,8365	0,48	0,6844
3,47	0,9997	2,97	0,9985	2,47	0,9932	1,97	0,9756	1,47	0,9292	0,97	0,8340	0,47	0,6808
3,46	0,9997	2,96	0,9985	2,46	0,9931	1,96	0,9750	1,46	0,9279	0,96	0,8315	0,46	0,6772
3,45	0,9997	2,95	0,9984	2,45	0,9929	1,95	0,9744	1,45	0,9265	0,95	0,8289	0,45	0,6736
3,44	0,9997	2,94	0,9984	2,44	0,9927	1,94	0,9738	1,44	0,9251	0,94	0,8264	0,44	0,6700
3,43	0,9997	2,93	0,9983	2,43	0,9925	1,93	0,9732	1,43	0,9236	0,93	0,8238	0,43	0,6664
3,42	0,9997	2,92	0,9982	2,42	0,9922	1,92	0,9726	1,42	0,9222	0,92	0,8212	0,42	0,6628
3,41	0,9997	2,91	0,9982	2,41	0,9920	1,91	0,9719	1,41	0,9207	0,91	0,8186	0,41	0,6591
3,4	0,9997	2,9	0,9981	2,4	0,9918	1,9	0,9713	1,4	0,9192	0,9	0,8159	0,4	0,6554
3,39	0,9997	2,89	0,9981	2,39	0,9916	1,89	0,9706	1,39	0,9177	0,89	0,8133	0,39	0,6517
3,38	0,9996	2,88	0,9980	2,38	0,9913	1,88	0,9699	1,38	0,9162	0,88	0,8106	0,38	0,6480
3,37	0,9996	2,87	0,9979	2,37	0,9911	1,87	0,9693	1,37	0,9147	0,87	0,8078	0,37	0,6443
3,36	0,9996	2,86	0,9979	2,36	0,9909	1,86	0,9686	1,36	0,9131	0,86	0,8051	0,36	0,6406
3,35	0,9996	2,85	0,9978	2,35	0,9906	1,85	0,9678	1,35	0,9115	0,85	0,8023	0,35	0,6368
3,34	0,9996	2,84	0,9977	2,34	0,9904	1,84	0,9671	1,34	0,9099	0,84	0,7995	0,34	0,6331
3,33	0,9996	2,83	0,9977	2,33	0,9901	1,83	0,9664	1,33	0,9082	0,83	0,7967	0,33	0,6293
3,32	0,9995	2,82	0,9976	2,32	0,9898	1,82	0,9656	1,32	0,9066	0,82	0,7939	0,32	0,6255
3,31	0,9995	2,81	0,9975	2,31	0,9896	1,81	0,9649	1,31	0,9049	0,81	0,7910	0,31	0,6217
3,3	0,9995	2,8	0,9974	2,3	0,9893	1,8	0,9641	1,3	0,9032	0,8	0,7881	0,3	0,6179
3,29	0,9995	2,79	0,9974	2,29	0,9890	1,79	0,9633	1,29	0,9015	0,79	0,7852	0,29	0,6141
3,28	0,9995	2,78	0,9973	2,28	0,9887	1,78	0,9625	1,28	0,8997	0,78	0,7823	0,28	0,6103

Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
3,27	0,9995	2,77	0,9972	2,27	0,9884	1,77	0,9616	1,27	0,8980	0,77	0,7794	0,27	0,6064
3,26	0,9994	2,76	0,9971	2,26	0,9881	1,76	0,9608	1,26	0,8962	0,76	0,7764	0,26	0,6026
3,25	0,9994	2,75	0,9970	2,25	0,9878	1,75	0,9599	1,25	0,8944	0,75	0,7734	0,25	0,5987
3,24	0,9994	2,74	0,9969	2,24	0,9875	1,74	0,9591	1,24	0,8925	0,74	0,7704	0,24	0,5948
3,23	0,9994	2,73	0,9968	2,23	0,9871	1,73	0,9582	1,23	0,8907	0,73	0,7673	0,23	0,5910
3,22	0,9994	2,72	0,9967	2,22	0,9868	1,72	0,9573	1,22	0,8888	0,72	0,7642	0,22	0,5871
3,21	0,9993	2,71	0,9966	2,21	0,9864	1,71	0,9564	1,21	0,8869	0,71	0,7611	0,21	0,5832
3,2	0,9993	2,7	0,9965	2,2	0,9861	1,7	0,9554	1,2	0,8849	0,7	0,7580	0,2	0,5793
3,19	0,9993	2,69	0,9964	2,19	0,9857	1,69	0,9545	1,19	0,8830	0,69	0,7549	0,19	0,5753
3,18	0,9993	2,68	0,9963	2,18	0,9854	1,68	0,9535	1,18	0,8810	0,68	0,7517	0,18	0,5714
3,17	0,9992	2,67	0,9962	2,17	0,9850	1,67	0,9525	1,17	0,8790	0,67	0,7486	0,17	0,5675
3,16	0,9992	2,66	0,9961	2,16	0,9846	1,66	0,9515	1,16	0,8770	0,66	0,7454	0,16	0,5636
3,15	0,9992	2,65	0,9960	2,15	0,9842	1,65	0,9505	1,15	0,8749	0,65	0,7422	0,15	0,5596
3,14	0,9992	2,64	0,9959	2,14	0,9838	1,64	0,9495	1,14	0,8729	0,64	0,7389	0,14	0,5557
3,13	0,9991	2,63	0,9957	2,13	0,9834	1,63	0,9484	1,13	0,8708	0,63	0,7357	0,13	0,5517
3,12	0,9991	2,62	0,9956	2,12	0,9830	1,62	0,9474	1,12	0,8686	0,62	0,7324	0,12	0,5478
3,11	0,9991	2,61	0,9955	2,11	0,9826	1,61	0,9463	1,11	0,8665	0,61	0,7291	0,11	0,5438
3,1	0,9990	2,6	0,9953	2,1	0,9821	1,6	0,9452	1,1	0,8643	0,6	0,7257	0,1	0,5398
3,09	0,9990	2,59	0,9952	2,09	0,9817	1,59	0,9441	1,09	0,8621	0,59	0,7224	0,09	0,5359
3,08	0,9990	2,58	0,9951	2,08	0,9812	1,58	0,9429	1,08	0,8599	0,58	0,7190	0,08	0,5319
3,07	0,9989	2,57	0,9949	2,07	0,9808	1,57	0,9418	1,07	0,8577	0,57	0,7157	0,07	0,5279
3,06	0,9989	2,56	0,9948	2,06	0,9803	1,56	0,9406	1,06	0,8554	0,56	0,7123	0,06	0,5239
3,05	0,9989	2,55	0,9946	2,05	0,9798	1,55	0,9394	1,05	0,8531	0,55	0,7088	0,05	0,5199
3,04	0,9988	2,54	0,9945	2,04	0,9793	1,54	0,9382	1,04	0,8508	0,54	0,7054	0,04	0,5160
3,03	0,9988	2,53	0,9943	2,03	0,9788	1,53	0,9370	1,03	0,8485	0,53	0,7019	0,03	0,5120
3,02	0,9987	2,52	0,9941	2,02	0,9783	1,52	0,9357	1,02	0,8461	0,52	0,6985	0,02	0,5080
3,01	0,9987	2,51	0,9940	2,01	0,9778	1,51	0,9345	1,01	0,8438	0,51	0,6950	0,01	0,5040
3	0,9987	2,5	0,9938	2	0,9772	1,5	0,9332	1	0,8413	0,5	0,6915	0	0,5000
-3,49	0,0002	-2,99	0,0014	-2,49	0,0064	-1,99	0,0233	-1,49	0,0681	-0,99	0,1611	-0,49	0,3121
-3,48	0,0003	-2,98	0,0014	-2,48	0,0066	-1,98	0,0239	-1,48	0,0694	-0,98	0,1635	-0,48	0,3156
-3,47	0,0003	-2,97	0,0015	-2,47	0,0068	-1,97	0,0244	-1,47	0,0708	-0,97	0,1660	-0,47	0,3192
-3,46	0,0003	-2,96	0,0015	-2,46	0,0069	-1,96	0,0250	-1,46	0,0721	-0,96	0,1685	-0,46	0,3228
-3,45	0,0003	-2,95	0,0016	-2,45	0,0071	-1,95	0,0256	-1,45	0,0735	-0,95	0,1711	-0,45	0,3264
-3,44	0,0003	-2,94	0,0016	-2,44	0,0073	-1,94	0,0262	-1,44	0,0749	-0,94	0,1736	-0,44	0,3300
-3,43	0,0003	-2,93	0,0017	-2,43	0,0075	-1,93	0,0268	-1,43	0,0764	-0,93	0,1762	-0,43	0,3336
-3,42	0,0003	-2,92	0,0018	-2,42	0,0078	-1,92	0,0274	-1,42	0,0778	-0,92	0,1788	-0,42	0,3372
-3,41	0,0003	-2,91	0,0018	-2,41	0,0080	-1,91	0,0281	-1,41	0,0793	-0,91	0,1814	-0,41	0,3409
-3,4	0,0003	-2,9	0,0019	-2,4	0,0082	-1,9	0,0287	-1,4	0,0808	-0,9	0,1841	-0,4	0,3446
-3,39	0,0003	-2,89	0,0019	-2,39	0,0084	-1,89	0,0294	-1,39	0,0823	-0,89	0,1867	-0,39	0,3483
-3,38	0,0004	-2,88	0,0020	-2,38	0,0087	-1,88	0,0301	-1,38	0,0838	-0,88	0,1894	-0,38	0,3520
-3,37	0,0004	-2,87	0,0021	-2,37	0,0089	-1,87	0,0307	-1,37	0,0853	-0,87	0,1922	-0,37	0,3557
-3,36	0,0004	-2,86	0,0021	-2,36	0,0091	-1,86	0,0314	-1,36	0,0869	-0,86	0,1949	-0,36	0,3594
-3,35	0,0004	-2,85	0,0022	-2,35	0,0094	-1,85	0,0322	-1,35	0,0885	-0,85	0,1977	-0,35	0,3632
-3,34	0,0004	-2,84	0,0023	-2,34	0,0096	-1,84	0,0329	-1,34	0,0901	-0,84	0,2005	-0,34	0,3669
-3,33	0,0004	-2,83	0,0023	-2,33	0,0099	-1,83	0,0336	-1,33	0,0918	0,83	0,2033	-0,33	0,3707
-3,32	0,0005	-2,82	0,0024	-2,32	0,0102	-1,82	0,0344	-1,32	0,0934	-0,82	0,2061	-0,32	0,3745

Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
-3,31	0,0005	-2,81	0,0025	-2,31	0,0104	-1,81	0,0351	-1,31	0,0951	-0,81	0,2090	-0,31	0,3783
-3,3	0,0005	-2,8	0,0026	-2,3	0,0107	-1,8	0,0359	-1,3	0,0968	-0,8	0,2119	-0,3	0,3821
-3,29	0,0005	-2,79	0,0026	-2,29	0,0110	-1,79	0,0367	-1,29	0,0985	-0,79	0,2148	-0,29	0,3859
-3,28	0,0005	-2,78	0,0027	-2,28	0,0113	-1,78	0,0375	-1,28	0,1003	-0,78	0,2177	-0,28	0,3897
-3,27	0,0005	-2,77	0,0028	-2,27	0,0116	-1,77	0,0384	-1,27	0,1020	-0,77	0,2206	-0,27	0,3936
-3,26	0,0006	-2,76	0,0029	-2,26	0,0119	-1,76	0,0392	-1,26	0,1038	-0,76	0,2236	-0,26	0,3974
-3,25	0,0006	-2,75	0,0030	-2,25	0,0122	-1,75	0,0401	-1,25	0,1056	-0,75	0,2266	-0,25	0,4013
-3,24	0,0006	-2,74	0,0031	-2,24	0,0125	-1,74	0,0409	-1,24	0,1075	-0,74	0,2296	-0,24	0,4052
-3,23	0,0006	-2,73	0,0032	-2,23	0,0129	-1,73	0,0418	-1,23	0,1093	-0,73	0,2327	-0,23	0,4090
-3,22	0,0006	-2,72	0,0033	-2,22	0,0132	-1,72	0,0427	-1,22	0,1112	-0,72	0,2358	-0,22	0,4129
-3,21	0,0007	-2,71	0,0034	-2,21	0,0136	-1,71	0,0436	-1,21	0,1131	-0,71	0,2389	-0,21	0,4168
-3,2	0,0007	-2,7	0,0035	-2,2	0,0139	-1,7	0,0446	-1,2	0,1151	-0,7	0,2420	-0,2	0,4207
-3,19	0,0007	-2,69	0,0036	-2,19	0,0143	-1,69	0,0455	-1,19	0,1170	-0,69	0,2451	-0,19	0,4247
-3,18	0,0007	-2,68	0,0037	-2,18	0,0146	-1,68	0,0465	-1,18	0,1190	-0,68	0,2483	-0,18	0,4286
-3,17	0,0008	-2,67	0,0038	-2,17	0,0150	-1,67	0,0475	-1,17	0,1210	-0,67	0,2514	-0,17	0,4325
-3,16	0,0008	-2,66	0,0039	-2,16	0,0154	-1,66	0,0485	-1,16	0,1230	-0,66	0,2546	-0,16	0,4364
-3,15	0,0008	-2,65	0,0040	-2,15	0,0158	-1,65	0,0495	-1,15	0,1251	-0,65	0,2578	-0,15	0,4404
-3,14	0,0008	-2,64	0,0041	-2,14	0,0162	-1,64	0,0505	-1,14	0,1271	-0,64	0,2611	-0,14	0,4443
-3,13	0,0009	-2,63	0,0043	-2,13	0,0166	-1,63	0,0516	-1,13	0,1292	-0,63	0,2643	-0,13	0,4483
-3,12	0,0009	-2,62	0,0044	-2,12	0,0170	-1,62	0,0526	-1,12	0,1314	-0,62	0,2676	-0,12	0,4522
-3,11	0,0009	-2,61	0,0045	-2,11	0,0174	-1,61	0,0537	-1,11	0,1335	-0,61	0,2709	-1,11	0,4562
-3,1	0,0010	-2,6	0,0047	-2,1	0,0179	-1,6	0,0548	-1,1	0,1357	-0,6	0,2743	-0,1	0,4602
-3,09	0,0010	-2,59	0,0048	-2,09	0,0183	-1,59	0,0559	-1,09	0,1379	-0,59	0,2776	-0,09	0,4641
-3,08	0,0010	-2,58	0,0049	-2,08	0,0188	-1,58	0,0571	-1,08	0,1401	-0,58	0,2810	-0,08	0,4681
-3,07	0,0011	-2,57	0,0051	-2,07	0,0192	-1,57	0,0582	-1,07	0,1423	-0,57	0,2843	-0,07	0,4721
-3,06	0,0011	-2,56	0,0052	-2,06	0,0197	-1,56	0,0594	-1,06	0,1446	-0,56	0,2877	-0,06	0,4761
-3,05	0,0011	-2,55	0,0054	-2,05	0,0202	-1,55	0,0606	-1,05	0,1469	-0,55	0,2912	-0,05	0,4801
-3,04	0,0012	-2,54	0,0055	-2,04	0,0207	-1,54	0,0618	-1,04	0,1492	-0,54	0,2946	-0,04	0,4840
-3,03	0,0012	-2,53	0,0057	-2,03	0,0212	-1,53	0,0630	-1,03	0,1515	-0,53	0,2981	-0,03	0,4880
-3,02	0,0013	-2,52	0,0059	-2,02	0,0217	-1,52	0,0643	-1,02	0,1539	-0,52	0,3015	-0,02	0,4920
-3,01	0,0013	-2,51	0,0060	-2,01	0,0222	-1,51	0,0655	-1,01	0,1562	-0,51	0,3050	-0,01	0,4960
-3	0,0013	-2,5	0,062	-2	0,0288	-1,5	0,0668	-1	0,1587	-0,5	0,3085	0	0,5000

Tabla 8.1.- Distribución normal estándar.

BIBLIOGRAFÍA

8.1.- Norma UNE-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición. AENOR 1996.

8.2.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.

8.3.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. (Publicación anual).

8.4.- N.A. Leidel, K.A. Buch and J.R. Lynch. *Occupational Exposure Sampling Strategy Manual*. U.S. Department of Health, Education and Welfare. Public Health Service. Center for Disease Control. National Institute for Occupational Safety and Health, 1977.

Contacto con la piel y los ojos

9

Como ya se comentó anteriormente en el Capítulo 3 “Factores de Riesgo”, entre los factores de riesgo derivados de la exposición a agentes químicos, se encuentran los relativos al contacto con la piel o los ojos que, según la Guía Técnica de Agentes Químicos [9.1], pueden ser:

- Gestión incorrecta de los equipos de protección individual (EPI).
- Procedimiento de trabajo inadecuado.
- Inexistencia de medios de control en caso de fugas y derrames.
- Envases inadecuados.
- Sistema de trasvase incorrecto.

En este capítulo se aborda la prevención y evaluación del riesgo por contacto con la piel y los ojos, que adquiere importancia ya que el contacto con un agente químico puede dar lugar a efectos locales (lesiones, irritaciones, sensibilización, etc.) o, incluso, a efectos sistémicos al facilitar la penetración de otros agentes a través de la piel dañada.

En realidad, cuando el posible contacto es con los ojos, lo que hay que conseguir es evitarlo con la adecuada gestión de los EPI. Esto afecta a los agentes químicos (AQ) que tengan las frases R36, irrita los ojos, y R41, riesgo de lesiones oculares graves, o las frases H318, provoca lesiones oculares graves y H319, provoca irritación ocular grave. La evaluación del posible riesgo de contacto sólo tiene sentido en el caso de la piel, por lo que, en adelante sólo se considerará el contacto con la piel.

Antes de realizar la evaluación, es importante conocer las propiedades de la piel y las formas de interaccionar las sustancias químicas con ésta, las reacciones que se puedan dar, así como los factores de contacto a tener en cuenta.

9.1. MECANISMOS Y FACTORES DE CONTACTO

La piel, de espesor variable, proporciona protección frente a agentes químicos, biológicos y físicos (calor, frío) y regula la pérdida de agua. Cualquier alteración de la resistencia física o química de la piel causará un daño bien a la piel (tratado en este capítulo), bien al organismo si la sustancia en cuestión se absorbe (ver capítulo 10 “Absorción por la piel”). El daño causado va desde el enrojecimiento (eritema) o decoloración de la piel a cambios más complejos, incluido cáncer [9.2].

Existen diversos mecanismos de contacto de la sustancia con la piel, que se pueden clasificar en [9.3]:

- contacto directo (por ejemplo: inmersión, dispersión manual)
- contacto indirecto (manipulación de superficies o herramientas contaminadas)
- deposición sobre la piel de partículas en el aire.

Que se dé uno u otro dependerá del estado físico en el que se presente la sustancia, de tal forma que:

- si es sólido / polvo: el contacto puede ser directo (dispersión manual), indirecto (tratamiento mecánico o contaminación) o por deposición (spray)
- si es líquido / pasta: puede ser directo (inmersión o dispersión manual), contacto indirecto (manipulación de objetos contaminados o tratamiento mecánico) o por deposición (spray)
- si es vapor: puede haber contacto directo (inmersión), contacto indirecto (tratamiento mecánico) o deposición (dispersión por spray).

En la tabla 9.1 se resumen los tipos de contacto según el estado físico de la sustancia y se indican algunas acciones en las que se puede producir dicho contacto.

Al entrar en contacto el contaminante con la piel se pueden producir varias respuestas que permiten clasificar las sustancias químicas en varios grupos, según sean las reacciones que provocan en la piel:

- Corrosivos (como ácidos o álcalis), que, según su concentración, causan irritación o quemaduras, de forma que una sola exposición puede producir un efecto irreversible.
- Irritantes, que son las que causan dermatitis de contacto irritativa si el contacto es intenso y de duración suficiente y que producen desde una inflamación reversible de la piel a una necrosis celular irreversible con lesión permanente de la piel.

ESTADO FÍSICO	TIPO DE CONTACTO	TIPO DE ACCIÓN
Sólidos Polvo	Directo	Como sólido si hay iones suficientes
		Como polvo si hay acción mecánica
		Como humos a partir de una combustión (soldadura)
	Indirecto	Contaminación de la ropa
		Contaminación de líquidos (metal en los fluidos de corte)
Deposición	Utilización de sprays	
Líquidos Pasta	Directo	Inmersión
		Utilización de sprays
		Por condensación sobre superficies frías
	Indirecto	Adsorción de líquidos en material, ropa de trabajo y EPI
Deposición	Utilización de sprays	
Gases o vapores	Directo (por aire)	Inmersión
	Indirecto (por aire)	Adsorción en materiales, ropa de trabajo y EPI
	Deposición	Condensación a líquido
		Dispersión por spray

Tabla 9.1.- Tipo de contacto según el estado físico de la sustancia.

- Sensibilizantes o alérgenos, que conducen a una dermatitis de contacto alérgica.

Las dermatitis de contacto pueden ser tóxicas, irritativas o alérgicas. Las dermatitis de mecanismo tóxico aparecen como quemaduras, ampollas, etc. La irritativa se presenta en la parte del cuerpo en contacto directo con la sustancia que la provoca y puede dar lugar a un eczema a medio o largo plazo. Sin embargo, en el caso de las sustancias sensibilizantes, una vez ocurrida la sensibilización, siempre de carácter crónico, el simple contacto con esa sustancia u otras del mismo grupo desencadena una dermatitis que puede aparecer en zonas expuestas y/o no expuestas directamente a la sustancia al tratarse de una respuesta inmune.

En la práctica, no hay posibilidad visual de diferenciar estos dos últimos tipos de dermatitis, de forma que el diagnóstico ha de ser realizado por un especialista.

Entre las sustancias que pueden causar dermatitis de contacto irritativa, se encuentran ácidos, álcalis (como algunos jabones), disolventes, etc. mientras que la dermatitis de contacto alérgica se puede dar por sustancias de bajo peso molecular, como: sales de metales, sustancias químico-plásticas, químico-farmacéuticas, sustancias químicas de maderas y aditivos. Asimismo, están descritas las dermatitis proteicas de contacto, causadas por proteínas, en general sustancias de alto peso molecular de origen vegetal (látex, enzimas, harinas, etc.), animal (enzimas como tripsina, quimiotripsina, etc.) o bien por microorganismos y sus derivados industriales (enzimas de origen microbiano, etc.).

Entre los agentes con efectos locales por contacto y según el nuevo listado de enfermedades profesionales [9.4] se encuentran:

- Sustancias de bajo peso molecular (las más frecuentes):
 - Sales de metales (Cr, Co, Ni, etc.).
 - Sustancias endógenas y exógenas de las maderas (lactonas sesquiterpénicas, ácido plicático, etc.).
 - Aditivos (peróxido de benzoílo, sulfitos, etc.).
 - Sustancias químico-farmacéuticas (piperazina, sales de amonio cuaternario, etc.).
 - Sustancias químico-plásticas (resinas epoxi, colofonia, formaldehído, etc.).
- Sustancias de alto peso molecular (dermatosis proteicas): de origen vegetal, animal y por microorganismos.
- Jabones, ácidos, álcalis, disolventes (alteran la capa córnea).
- Detergentes (disuelven los lípidos de la piel).
- Deshidratantes (álcalis, ácidos, anhídridos).
- Oxidantes (blanqueadores, cloro, peróxidos).
- Hidrolizantes (cal).
- Reductores (ácido oxálico).
- Fotosensibilizantes (brea, tintes, proteínas vegetales).
- Queratógenos (arsénico, brea, petróleo, sol, radiación).

En general, el nivel de irritación dependerá de:

- la volatilidad del compuesto
- la solubilidad del compuesto en agua y en lípidos
- el tiempo de contacto
- las condiciones de la exposición.

Hay una serie de factores que pueden hacer que el trabajador sea más susceptible de padecer dermatitis, como son:

- Sexo, edad y raza.
- Condiciones ambientales según época del año.
- Alteraciones cutáneas preexistentes.
- Constitución atópica.
- Higiene personal.
- Estado del pelo, glándulas sudoríparas y sebáceas.

Los agentes químicos irritantes pueden ser primarios, como los que alteran la piel en un primer contacto, o secundarios, que provocan inflamación si el contacto es prolongado y repetido. Además, hay que tener en cuenta que la alteración del estado de la piel facilitará la entrada de otras sustancias.

En la tabla 9.2 se presentan diferentes ejemplos de riesgos para la salud en función de las propiedades de las sustancias o su mecanismo de acción [9.5]:

SUSTANCIA	PROPIEDADES/ MECANISMO	RIESGO PRINCIPAL PARA LA SALUD
A	Penetra por piel, toxicidad baja o media, no sensibilizante pero irritante moderada.	Bajo. Posible dermatitis de contacto después de una exposición prolongada.
B	Muy tóxica, sin apenas capacidad de penetración por piel, irritante baja.	Bajo riesgo de toxicidad sistémica por vía dérmica. Se evita el contacto como principio preventivo.
C	Muy irritante, baja toxicidad.	Riesgo alto de irritación, dermatitis de contacto. Cierta toxicidad sistémica.
A + B	A puede actuar como vehículo haciendo que penetre B.	Riesgo alto de toxicidad sistémica.
B después de C	C daña la capa barrera y permite que B penetre.	Riesgo alto de toxicidad sistémica o de dermatitis de contacto irritante.

Tabla 9.2.- Ejemplos de riesgos para la salud en función de las propiedades de las sustancias o su mecanismo de acción.

9.2. PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN FRENTE AL RIESGO POR CONTACTO CON LA PIEL

En líneas generales, se trata de minimizar la posibilidad de contacto del AQ con la piel para así alcanzar un nivel de riesgo tolerable, aplicando:

- procedimientos que eliminen o controlen el riesgo,

- medidas de protección colectiva eficaces o
- la utilización de los equipos de protección individual (EPI) adecuados al AQ.

La prevención del contacto con la piel se basa en cuatro principios [9.2]:

- Eliminación del producto o su sustitución por otro menos agresivo o cambiando su presentación.
- Medidas de control técnico (encerrar, aislar o segregar el proceso, ventilación por extracción localizada (VEL)).
- Procedimientos adecuados (sistemas de manipulación mecánicos o con control remoto) y medidas organizativas (prohibir o limitar el acceso a las áreas de riesgo; limitar la necesidad de entrada a la zona).
- Protección individual.

En la tabla 9.3 se muestran varios ejemplos de aplicación de los principios citados:

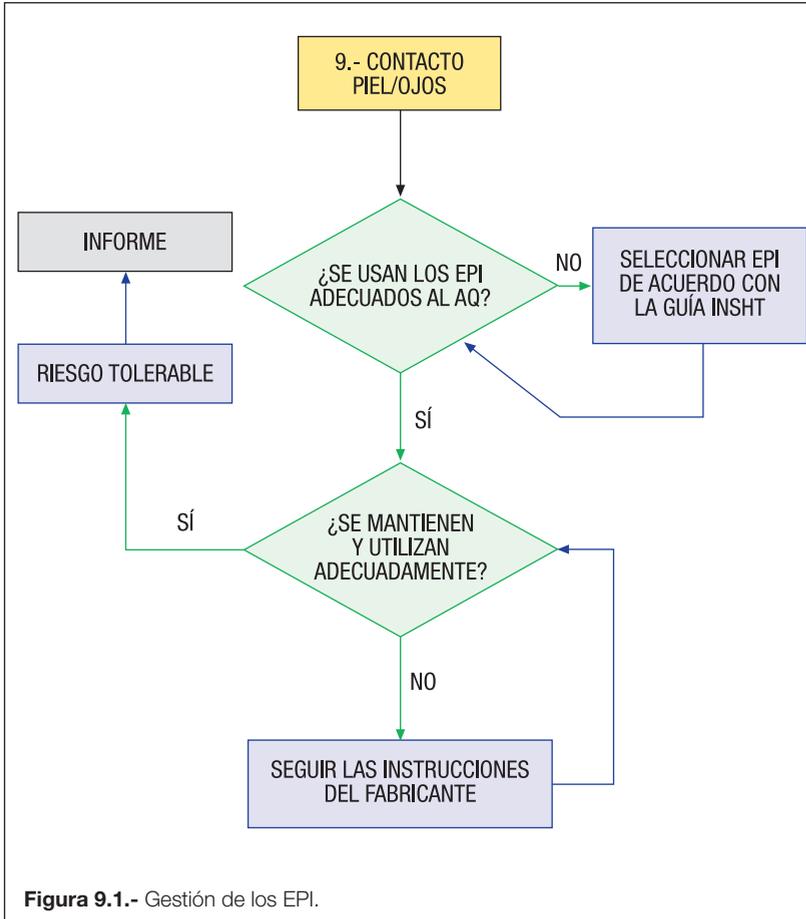
MÉTODO	EJEMPLOS
Eliminación del peligro	Paralización o cambio de proceso
	Retirada de la sustancia
	Sustitución
Control del proceso	Automatización
	Encerramiento
	Dispositivos y guardas
	VEL
Control sobre el individuo	Equipos de manipulación
	Procedimiento de trabajo
Limitación del efecto	EPI
	Higiene personal
	Limitación del número de personas expuestas
	Disminución del tiempo de exposición
	Menor frecuencia de exposición
	Vigilancia de la salud

Tabla 9.3.- Métodos de control del contacto dérmico.

Los equipos de protección individual (EPI) deberán utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad o salud de los trabajadores que no hayan podido evitarse o limitarse suficientemente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas, mé-

todos o procedimientos de organización del trabajo. Se recomienda seguir las instrucciones del fabricante y de la Guía Técnica de EPI [9.6].

La figura 9.1 esquematiza la sistemática para la gestión de los EPI.



9.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR CONTACTO CON LA PIEL

Para evaluar el riesgo hay que establecer previamente dónde y con qué se produce el contacto, ya que en la práctica no siempre se podrá evitar. Para interpretar si el riesgo es significativo hay que evaluar si las medidas de control y de protección son adecuadas y suficientes.

A nuestro criterio, los aspectos a tener en cuenta en la evaluación del riesgo por contacto con la piel son:

- estado físico de la piel
- tipo de proceso y posibles usos de la sustancia
- propiedades físico-químicas de la sustancia y estado físico
- tareas en las que hay contacto
- duración, frecuencia del contacto, rutas
- prácticas de trabajo
- medidas de control.

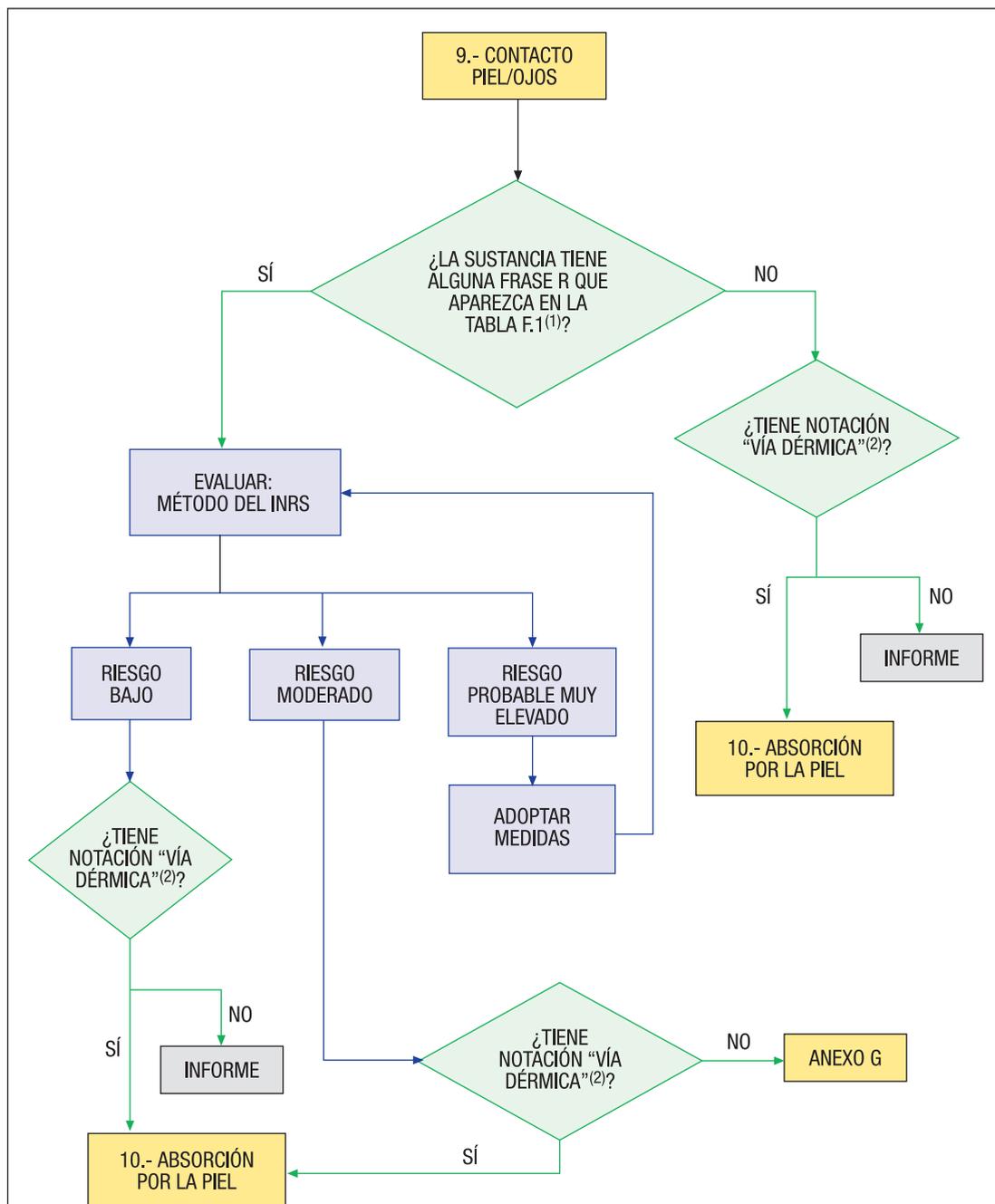
Al igual que en el caso de riesgo por inhalación, la evaluación del riesgo por contacto del agente químico con la piel puede iniciarse utilizando un método simplificado. En concreto, el método del INRS [9.7], ya tratado en el capítulo 4 y en el anexo B para jerarquización de riesgos y en el anexo D para riesgo por inhalación, presenta una metodología para evaluar este riesgo (ver esquema de la figura 9.2), que puede ser de utilidad dado que no existen métodos detallados para la evaluación del riesgo por contacto.

Este método se desarrolla en un anexo aparte (Anexo F) ya que, además de evaluar el riesgo por contacto, puede aplicarse, en una primera aproximación, a aquellos casos en los que haya absorción por vía dérmica y que se tratan en el capítulo siguiente y en el Anexo G.

Otra alternativa, cuando se quiere evaluar el riesgo por contacto con la piel, es aplicar la metodología basada en el proyecto europeo RISKOFDERM [9.2], que, a través de una herramienta informática (*Toolkit*), permite realizar una evaluación de forma separada para sustancias con efectos locales y sensibilización dérmica y para aquellas con efectos sistémicos originados tras la absorción de la sustancia por la piel.

Puesto que la absorción por la piel se trata en el capítulo siguiente y dicha metodología es aplicable tanto para evaluar el riesgo por contacto como por absorción, se desarrolla en un anexo aparte (Anexo G).

Por ello, según aparece en el esquema de la figura 9.2, en caso de que el riesgo obtenido tras la evaluación sea moderado y no haya notación por vía dérmica, se puede recurrir al anexo G (*Toolkit*) puesto que aporta medidas a adoptar en caso de riesgo moderado de contacto.



(1) Consultar en el Anexo F "Evaluación simplificada del riesgo por contacto y/o absorción. Método del INRS".

(2) Consultar en el documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España" [9.8]

Figura 9.2.- Esquema de evaluación del riesgo por contacto.

BIBLIOGRAFÍA

- 9.1.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.
- 9.2.- RISKOFDERM. Toolkit for Assessment and Management of Risks from Occupational Dermal Exposure to Hazardous Substances. Disponible en web: <http://product-testing.eurofins.com/services/research--development/projects-on-skin-exposure-and-protection/riskofderm---skin-exposure-and-risk-assessment/download-of-riskofderm-toolkit.aspx>
- 9.3.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 697 "Exposición a contaminantes por vía dérmica".
- 9.4.- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.
- 9.5.- C.L. PACKHAM. *Essentials of Occupational Skin Management. A practical guide to the creation and maintenance of an effective skin management system*. Limited edition Press, 1998.
- 9.6.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la utilización por los trabajadores en el trabajo de los Equipos de Protección Individual. Madrid, 2000.
- 9.7.- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS). Metodología simplificada del INRS. ND 2233-200-05 Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique. Disponible en web: <http://www.inrs.fr/>
- 9.8.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. (Publicación anual).

En el capítulo 3 “Factores de Riesgo”, se incluía, entre los riesgos derivados de la exposición a agentes químicos (AQ), la absorción a través de la piel.

Una vez que se ha producido el contacto de la sustancia con la piel (ver capítulo 9 “Contacto con la piel y los ojos”), además de las posibles lesiones que se puedan dar, puede ocurrir su absorción por vía dérmica, que se va a tratar en este capítulo.

La vía dérmica se ignora con frecuencia, quizás por la escasez de procedimientos normalizados de evaluación directa de la exposición por esta vía. Esta situación se debe, probablemente, a la dificultad de evaluarla, ya que está determinada por una serie de factores difíciles de cuantificar. En consecuencia, la medida directa de la exposición por vía dérmica está poco desarrollada y, para estimar su posible contribución, se suele recurrir, cuando es posible, al control biológico.

Por su relevancia en la caracterización del riesgo, y teniendo en cuenta que las exposiciones por vía inhalatoria están cada vez más controladas, se ha considerado conveniente tratar la absorción de la piel en un capítulo aparte.

Cuando un agente se puede absorber por vía cutánea en la manipulación directa o por contacto con los vapores o aerosoles ambientales con las partes desprotegidas de la piel se les asigna en la lista de valores límite ambientales (VLA) la notación “vía dérmica” [10.1]. Esta llamada advierte, por una parte, de que la medición de la concentración ambiental puede no ser suficiente para cuantificar la exposición global y, por otra parte, de la necesidad de adoptar medidas para prevenir la absorción dérmica.

La notación “vía dérmica” se indica cuando existe una contribución potencial significativa de la absorción por vía cutánea a la exposición total de esa sustancia, lo que ocurre con sustancias que

penetran fácilmente a través de la piel, las membranas mucosas o los ojos por contacto con los vapores o por contacto directo con la sustancia. Aunque algunas sustancias son capaces de causar irritación, dermatitis y sensibilización en los trabajadores, estas propiedades no se consideran relevantes cuando se evalúa esta notación [10.2].

La evaluación o el control de esta vía de entrada es de especial importancia para ciertas sustancias como determinados disolventes, clorofenoles, bifenilos policlorados, hidrocarburos policíclicos aromáticos [10.3]. En particular, en el caso de los plaguicidas, durante la mayoría de las operaciones de mezcla/carga y aplicación de estos productos en la agricultura, la vía dérmica puede tener incluso una contribución mayor a la dosis total absorbida que la vía inhalatoria, si no se utilizan los EPI y los procedimientos de trabajo adecuados.

La magnitud de la absorción por vía dérmica dependerá de una serie de factores relacionados con:

- las propiedades y características de la sustancia (entre las más importantes, la solubilidad en agua y lípidos y la volatilidad, ya que, a mayor volatilidad, menor tiempo de contacto con la piel);
- la superficie corporal expuesta y tipo de ropa utilizada;
- el estado de la piel (si se encuentra deteriorada, alterada, etc.);
- las características de la exposición, como el tiempo de exposición, la concentración, el posible vehículo utilizado, la presencia de otras sustancias, la actividad desarrollada y las condiciones ambientales, siendo las que más influyen el viento, la temperatura y la humedad relativa del aire.

10.1. CONTACTO CON LA PIEL

Para que sea posible la absorción por la piel es necesario que parte de la misma se encuentre expuesta directamente o mal protegida. Atendiendo a los mecanismos de contacto de la sustancia química con la piel (contacto directo, indirecto o deposición sobre la piel de partículas en el aire), comentados en el capítulo 9 “Contacto con la piel y los ojos”, las principales fuentes de exposición dérmica son:

- contacto directo con el agente o superficies contaminadas
- contacto con ropa o guantes contaminados
- condensación de vapores sobre la piel o la ropa
- deposición sobre la piel de partículas en el aire
- absorción de gases o de vapores.

10.2. CONTROL BIOLÓGICO

El control biológico es una herramienta útil en algunos casos para poder evaluar si existe una vía de exposición diferente de la inhalatoria. En determinados casos, permite la evaluación indirecta de la exposición dérmica pero, puesto que mide la dosis absorbida por todas las vías de entrada, es difícil precisar la contribución específica de la vía dérmica [10.4].

En el capítulo 11 “Control biológico”, se trata este tema y sus aplicaciones, incluida la absorción por vía dérmica, más detalladamente.

10.3. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POR VÍA DÉRMICA

En el caso de que exista absorción a través de la piel, la evaluación de la exposición se realiza según una serie de modelos y aproximaciones semicuantitativas que permiten estimar la probabilidad de que se dé una exposición por esta vía.

Como ya se ha dicho, por la dificultad de realizar una medida directa de la exposición dérmica, es frecuente el uso del control biológico (ver capítulo 11) para estimar su contribución [10.3]. Un ejemplo es la utilización del control biológico en la aplicación de plaguicidas donde, utilizando un EPI respiratorio adecuado, si se detecta que el compuesto ha llegado al organismo, se puede asumir que se debe a su penetración por vía dérmica.

El Comité Técnico CEN/TC 137 “Evaluación de la exposición en los lugares de trabajo a agentes químicos y biológicos” elaboró, en el año 2005, el Informe Técnico CEN/TR 15278 [10.5], que tiene como objetivo describir estrategias para evaluar la exposición de la piel a agentes químicos para, por ejemplo, analizar la exposición como parte del proceso de evaluación del riesgo, investigar las asociaciones entre la exposición y la aparición de enfermedades y para evaluar las medidas de control.

El Informe Técnico propone varios métodos o modelos que se emplean para la evaluación de la exposición por vía dérmica y cuya aplicación es análoga a las dos primeras etapas del proceso descrito por la Norma UNE-EN 689 para evaluación de la exposición por inhalación (estimación inicial y estudio básico):

- Método EASE (*Estimation and Assessment of Substance Exposure*):

Es un método desarrollado por el HSE que consiste en la aplicación de un diagrama de flujo que comprende tres puntos

clave: descripción del estado físico del compuesto, especificación del tipo de uso dado a dicho compuesto y selección del nivel de contacto, de tal forma que cada uno de los puntos finales posibles del diagrama se relaciona con un nivel de exposición.

- Método DREAM (*Dermal Exposure Assessment Method*):

Es un método semicuantitativo para evaluar la exposición dérmica que puede servir como estimación inicial del riesgo. Es el resultado de puntuar, para las tareas y los trabajos correspondientes, los determinantes de la exposición utilizando unos valores asignados por defecto.

La evaluación, realizada en función de las tareas, proporciona un resultado en unidades DREAM, clasificando la exposición en siete categorías que van desde “No exposición” a “Extrema”, a partir de las puntuaciones de la primera etapa.

En nuestra opinión, una alternativa sencilla a estos dos métodos propuestos es la utilización del método simplificado del INRS descrito en el anexo F para una primera estimación, ya que para que se dé la absorción, es necesario previamente que se produzca el contacto.

Si del resultado de esta primera aproximación no es posible adoptar una decisión, se podrá recurrir al tercero de los métodos propuestos en el Informe Técnico CEN/TR 15278 [10.5]:

- Modelo de exposición dérmica a través de la aplicación Toolkit, desarrollado dentro del proyecto europeo RISKOFDERM [10.6]:

Describe situaciones de exposición dérmica en diferentes sectores, llamados unidades DEO (*Dermal Exposure Operation*) o escenarios de exposición y permite realizar una evaluación y gestión de los riesgos derivados de la exposición dérmica utilizando un sistema de decisión a través de una serie de datos.

Como ya se comentó en el capítulo 9 “Contacto con la piel y los ojos”, a través de una herramienta informática (*Toolkit*), se puede realizar una evaluación de forma separada para sustancias con efectos locales y sensibilización dérmica y para aquéllas con efectos sistémicos originados tras la absorción de la sustancia por la piel. Puesto que esta metodología es aplicable tanto para evaluar el riesgo por contacto como por absorción, se desarrolla en un anexo aparte (Anexo G).

BIBLIOGRAFÍA

10.1.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. (Publicación anual).

10.2.- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH) TLVs® and BEIs®. Threshold Limit Values for Chemical Substances, Physical Agents and Biological Exposure Indices.

10.3.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 697 "Exposición a contaminantes por vía dérmica".

10.4.- Delgado Cobos P., Porcel Muñoz J., Abril Muñoz I., et al. "Exposición dérmica a sustancias químicas. Estudio cuantitativo en talleres de pintura de coches". *Prevención, trabajo y salud*. N° 27, 2003, p. 26-33.

10.5.- CEN/TR 15278:2006 "*Workplace exposure – Strategy for the evaluation of dermal exposure*".

10.6.- RISKOFDERM. Toolkit for Assessment and Management of Risks from Occupational Dermal Exposure to Hazardous Substances. Disponible en web: <http://product-testing.eurofins.com/services/research-development/projects-on-skin-exposure-and-protection/riskofderm---skin-exposure-and-risk-assessment/download-of-riskofderm-toolkit.aspx>

El control biológico es una valoración de la exposición global, es decir, por todas las vías de entrada, a las sustancias químicas que están presentes en el puesto de trabajo, a través de medidas apropiadas del indicador o indicadores en los especímenes biológicos tomados al trabajador en un tiempo determinado.

Se entiende por indicador biológico (IB) un parámetro apropiado en un medio biológico del trabajador, que se mide en un momento determinado, y está asociado, directa o indirectamente, con la exposición global a un agente químico. De modo similar a lo que ocurre en la evaluación ambiental de agentes químicos, donde los valores límite ambientales sirven de referencia a las concentraciones de los agentes químicos en el aire, en el caso del control biológico, los valores de referencia son los valores límite biológicos, VLB®.

El control biológico es una herramienta útil en muchos casos, ya que permite:

- completar la valoración ambiental, evaluando si existe una vía de exposición diferente de la inhalatoria, detectando una posible absorción por vía dérmica o ingestión;
- comprobar la eficacia de los equipos de protección individual (EPI), en determinadas ocasiones;
- detectar una exposición de origen no laboral.

No debe confundirse la vigilancia de la salud con el control biológico. El control biológico tiene como fin determinar la dosis interna de una sustancia química en el organismo, es decir, la cantidad de sustancia que alcanza el organismo a través de todas las vías de entrada posibles [11.1]. Mientras que la vigilancia de la salud son los exámenes médico-fisiológicos periódicos de los trabajadores expuestos con el objeto de proteger la salud y prevenir las enfermedades profesionales relacionadas [11.2].

La evaluación de los datos del control biológico es compleja y debe llevarse a cabo por higienistas, ya que es necesario tener unos conocimientos básicos de toxicología y toxicocinética, además de un conocimiento más profundo del metabolismo del agente químico que se está estudiando y las fuentes posibles, endógenas o inespecíficas, del indicador biológico considerado.

11.1. TIPO DE MUESTRAS

La medida puede realizarse en el aire exhalado, en la orina, en la sangre o en otros especímenes biológicos tomados del trabajador expuesto. En general, en sangre se determinan la mayor parte de los compuestos inorgánicos, los compuestos orgánicos que tengan bajas tasas de biotransformación y una vida media suficientemente larga, es decir, que permanezcan durante mucho tiempo en el organismo, y las sustancias que se unan a macromoléculas como la hemoglobina. En orina se suelen determinar compuestos inorgánicos, principalmente metales, y compuestos orgánicos o sus metabolitos que sean solubles en agua. Las determinaciones en aire exhalado están limitadas a compuestos orgánicos volátiles [11.1].

Los indicadores biológicos medidos en orina se analizan habitualmente en muestras puntuales tomadas en momentos determinados, ya que en el entorno laboral no es fácil ni seguro obtener muestras de orina correspondientes a períodos largos de tiempo (por ejemplo 24 horas), que proporcionarían una información más exacta sobre la eliminación del xenobiótico. Sin embargo, la medida cuantitativa de la exposición a partir de muestras puntuales puede verse afectada por la variabilidad en la producción de orina, debido a factores como la ingestión de líquidos, la temperatura excesiva, la carga de trabajo, el consumo de medicamentos, etc., que pueden producir efectos de concentración o dilución de la orina y afectar así al resultado de los indicadores [11.3].

Por esta razón es necesario corregir esos resultados, refiriéndolos a la concentración de alguna sustancia con mecanismo de excreción renal similar al del compuesto de interés y cuya eliminación se mantenga razonablemente constante a lo largo del tiempo.

En algunas ocasiones, los resultados de los indicadores se refieren a la concentración de creatinina (sustancia que se elimina por filtración glomerular; como gran parte de los contaminantes y sus metabolitos) medida en la misma muestra, expresándose los resultados en peso del indicador por unidad de peso de creatinina. Cuando éstos se eliminan por otro mecanismo, como la difusión

tubular renal, no se realizará esta corrección, expresándose los resultados directamente en términos de concentración.

Deben rechazarse las muestras de orina muy diluidas (densidad < 1,010 g/ml o creatinina < 0,3 g/l) y las muy concentradas (densidad > 1,030 g/ml o creatinina > 3,0 g/l), debiendo repetirse en estos casos la toma de muestra [11.3].

En cuanto a los indicadores biológicos medidos en sangre, mientras no se indique lo contrario, se entenderá que la muestra debe ser tomada en sangre venosa. Es necesario especificar si la determinación se realizará en sangre total, plasma, suero o eritrocitos, puesto que el determinante se puede acumular preferentemente en alguno de estos medios [11.1].

Como aire exhalado se entiende la fracción final del aire espirado, recogida siguiendo un procedimiento determinado utilizando, por ejemplo, el tubo de Haldane-Priestley, que recoge los últimos 50 ml del aire espirado, u otro similar. [11.4, 11.5]. En determinados casos, debido a los bajos niveles de determinante esperados, puede ser necesaria la concentración previa de la muestra [11.1].

11.2. TOXICOCINÉTICA DE LOS CONTAMINANTES DE ORIGEN LABORAL

La toxicocinética tiene como objetivo la cuantificación de los procesos de **absorción, distribución, metabolismo y eliminación**, mediante el uso de modelos matemáticos, que permiten establecer relaciones entre las concentraciones del xenobiótico o sus metabolitos en determinados órganos o tejidos del organismo, y las concentraciones o cantidades de xenobiótico a las que ha estado expuesto el trabajador y el tiempo transcurrido desde la exposición [11.2, 11.6].

Los tóxicos de origen laboral pueden tener características muy diferentes. Pueden ser sustancias muy hidrófilas, como bases de amonio cuaternarias o azocompuestos que contienen ácidos sulfónicos (como los que se encuentran en colorantes alimenticios) que se eliminan, si llegan a ser absorbidos, inalterados, o pueden ser sustancias muy lipófilas, metabólicamente estables, como DDT, que se acumulan en el tejido adiposo [11.6].

Existen compuestos capaces de inducir sistemas enzimáticos, como ocurre con el DDT, o bien de disminuir la capacidad de biotransformación de otros compuestos, tanto endógenos como extraños al organismo. A este último grupo pertenecen los

ditiocarbamatos, que se usan como activantes en vulcanización y como antioxidantes en la industria del caucho [11.6].

11.2.1. Absorción Si excluimos aquellas sustancias cuyo efecto se ejerce directamente sobre la zona de contacto (cáusticos, irritantes, sensibilizantes, polvos insolubles), las sustancias en primer lugar son absorbidas, es decir, pasan desde el compartimento de entrada en el organismo (generalmente, el pulmón) al sistema circulatorio¹.

Las principales vías de entrada son la inhalatoria y la dérmica. La vía digestiva puede ser otra vía de entrada, la ingestión puede producirse por penetración accidental en la boca o bien por la ingestión de partículas insolubles inhaladas, que alcanzan la boca por acción del aparato mucociliar que arrastra el moco con las partículas y pueden acabar siendo deglutidas.

La absorción por vía digestiva es menos importante que la inhalatoria y la dérmica, pero hay que tenerla en cuenta cuando se está expuesto a determinados tipos de polvo tóxico y no se mantiene una buena higiene o cuando se come, bebe o fuma en el puesto de trabajo.

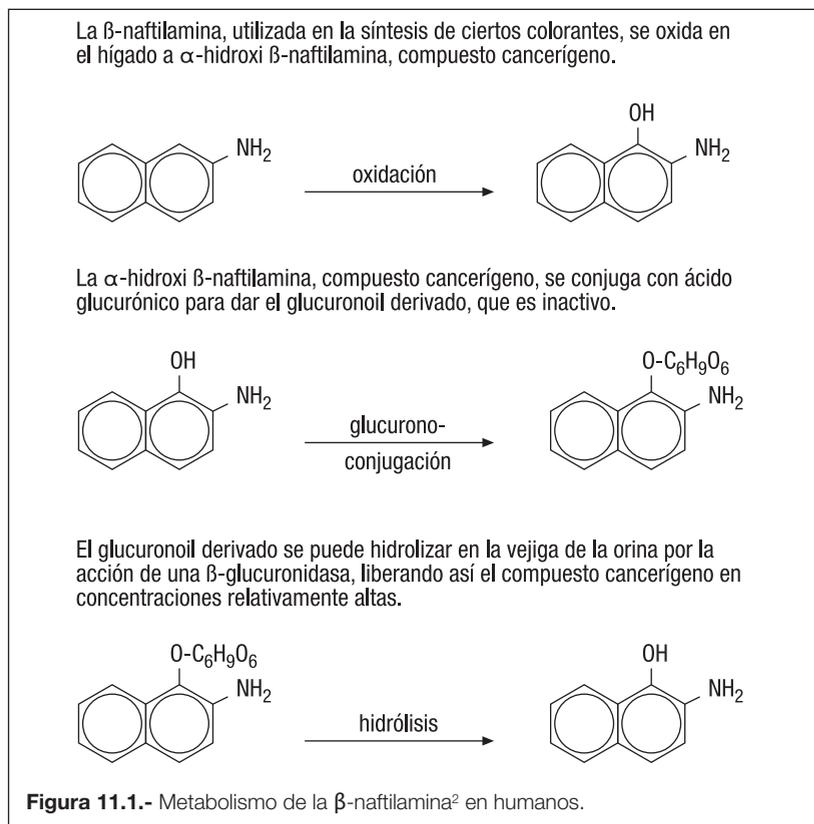
11.2.2. Distribución Una vez que la absorción ha tenido lugar, la sangre distribuye el tóxico por el organismo; se distribuye rápidamente a los tejidos con flujo sanguíneo elevado (pulmón, riñón, cerebro, hígado) y a la vez está llegando a los compartimentos de flujo menor, como los músculos, y de forma más lenta al tejido adiposo y óseo.

Las sustancias se distribuyen de forma homogénea o de forma selectiva, ya que pueden existir tejidos con afinidad distinta por el tóxico. Los tóxicos pueden acumularse en los tejidos por los que tengan mayor afinidad, que pueden o no coincidir con el lugar donde ejercen su acción tóxica.

11.2.3. Metabolismo El metabolismo hace referencia a la biotransformación de los tóxicos que han penetrado en el organismo. Aunque algunas sustancias son eliminadas sin sufrir transformación alguna, lo habitual es que sufran transformaciones a fin de aumentar su solubilidad en agua, ya que la lipofilia dificulta su eliminación mientras que la hidrofilia la hace más fácil. La biotransformación alude a los cambios bioquímicos, generalmente de naturaleza enzimática, que,

¹ La toxicocinética estudia todos los procesos y factores involucrados desde que el contaminante (xenobiótico) alcanza la circulación sistémica hasta que él mismo o alguno de sus metabolitos abandona el organismo en la orina, heces, aire espirado o sudor que, en sentido farmacocinético, están fuera del organismo [11.7]. Por el mismo motivo, desde un punto de vista farmacocinético, el pulmón se considera un órgano externo al organismo.

afectando a los xenobióticos, tienden a disminuir su toxicidad y a facilitar su eliminación. En algunas ocasiones sucede lo contrario y el xenobiótico se transforma en una sustancia más activa que la que ha sido absorbida. Un ejemplo de metabolismo con activación e inactivación de un xenobiótico por biotransformación es el de la β -naftilamina (ver figura 11.1).



Un compuesto puede tener diferentes rutas metabólicas y no necesariamente la ruta mayoritaria tiene por qué ser la principal desde el punto de vista tóxico. En la figura 11.2 están representadas las dos rutas metabólicas del tolueno.

El tolueno, uno de los disolventes más ampliamente utilizados en la industria, se puede transformar por oxidación microsomal en alcohol bencílico que, por la acción de una alcohol dehidrogenasa se oxida a benzaldehído. El benzaldehído se oxida posteriormente a ácido benzoico, que se elimina por la orina conjugado con glicina para formar ácido hipúrico y con ácido glucurónico para for-

² Sustancia incluida en el anexo XVII del Reglamento 1907/2006, relativo al REACH.

mar benzoilglucurónido. Esta ruta metabólica conduce a metabolitos menos tóxicos que el tolueno. Pero pequeñas cantidades de tolueno se pueden convertir en compuestos fenólicos, por la oxidación del núcleo aromático, así el 0,1% se convierte en o-cresol y el 1% en p-cresol. Esta oxidación enzimática tiene lugar a través de los correspondientes epóxidos, que presentan propiedades alquilantes, por lo que esta ruta metabólica conduce a productos intermedios, los epóxidos, más tóxicos que el propio tolueno [11.8].

La concentración de ácido hipúrico en la orina se ha utilizado como indicador biológico (IB) en la evaluación de la exposición a tolueno. Sin embargo, el ácido hipúrico también aparece en la orina humana en cantidades significativas a causa de otras fuentes, tales como la alimentación o el metabolismo normal, de tal modo que este IB ya no sirve para detectar con fiabilidad la exposición laboral a tolueno cuando las concentraciones en aire de dicha sustancia, en el lugar de trabajo, se encuentran por debajo

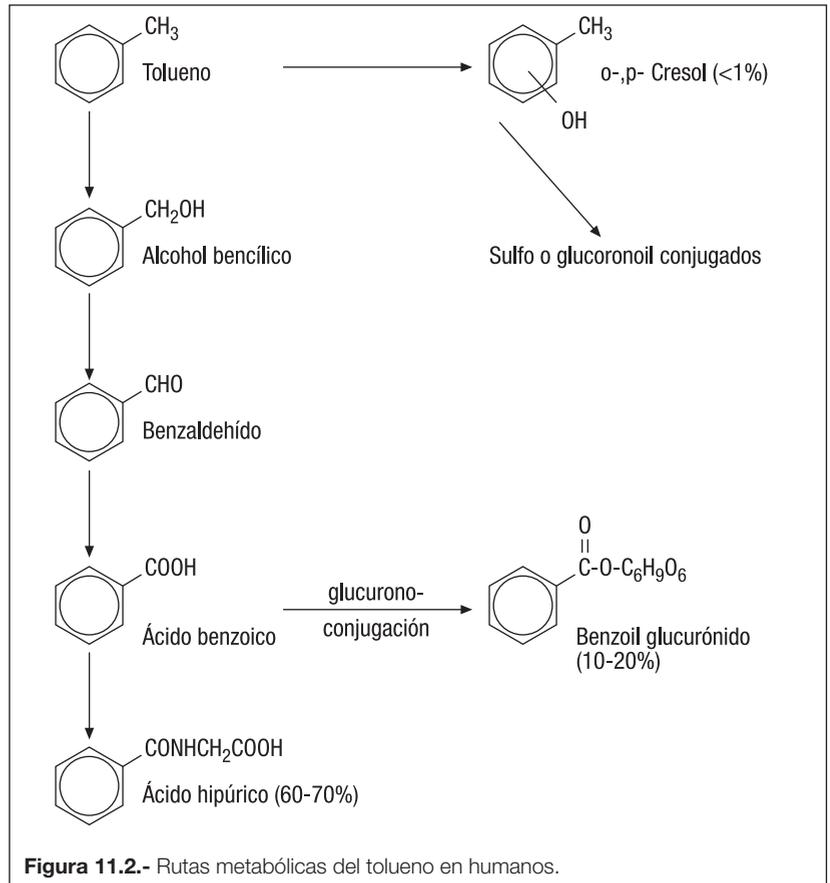


Figura 11.2.- Rutas metabólicas del tolueno en humanos.

de 100 ppm (384 mg/m³) [11.9]. Actualmente, se dispone de una serie de métodos alternativos, incluyendo las concentraciones de o-cresoles en la orina, que han demostrado su buena correlación con la exposición a tolueno [11.10].

La acumulación del tóxico en los tejidos de depósito es capaz de prolongar sus efectos tras cesar la exposición debido a la liberación progresiva del producto acumulado, ya que el tóxico acumulado está en equilibrio con el tóxico del plasma y se va liberando a medida que se metaboliza o se elimina.

Esta acumulación aumenta el tiempo de permanencia del tóxico en el organismo. El tiempo de permanencia se estima a partir de su vida media biológica, que es el tiempo necesario para que la cantidad de tóxico en el organismo se reduzca a la mitad.

La vida media biológica [11.11] se suele calcular a partir de concentraciones:

- del tóxico en sangre
- del tóxico en orina
- de los metabolitos del tóxico en orina

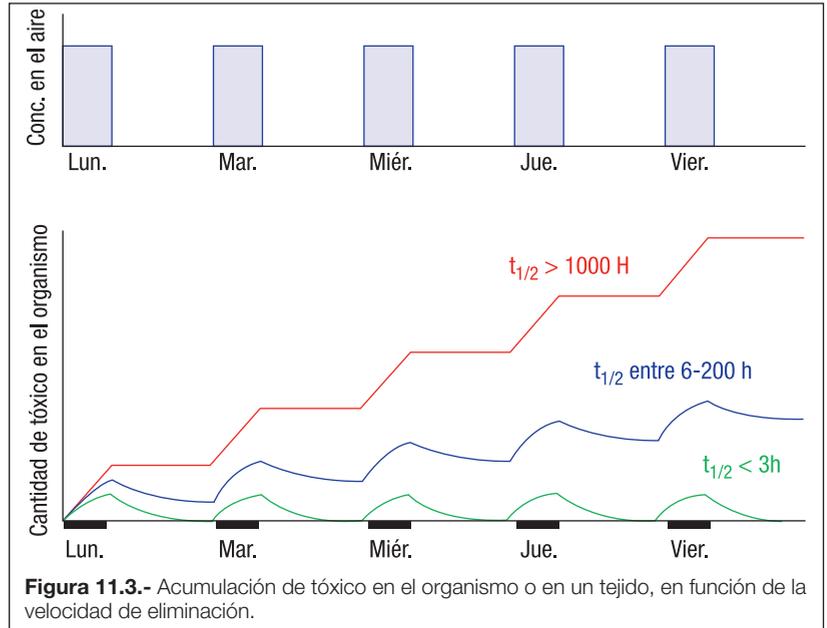
Hay que tener en cuenta que diferentes metabolitos del mismo tóxico pueden tener diferentes vidas medias, porque la velocidad de eliminación no sea igual para todos ellos. Para algunas sustancias, su vida media biológica puede ser muy larga incluso años, como en el caso de los plaguicidas clorados y el cadmio.

Conociendo la vida media de un tóxico se puede saber el tiempo necesario para que se elimine del organismo un determinado porcentaje del mismo. A efectos prácticos, se puede considerar que el tiempo de permanencia de un tóxico en el organismo es entre cinco [11.12] y siete veces el valor de su vida media. En un tiempo igual a cinco veces la vida media desaparecería más del 95% del contaminante, mientras que en siete veces desaparecería más del 99%.

Los tóxicos se clasifican según el valor de la vida media en:

- **acumulativos:** vida media superior a 1000 horas, despreciable o nula velocidad de eliminación, pudiéndose acumular en un compartimento interno (plaguicidas en el tejido adiposo) o en uno externo (sílice en los pulmones).
- **no acumulativos:** vida media inferior a 3 horas, velocidad de eliminación alta, por ejemplo algunos disolventes, como acetona, que, a las pocas horas de haber cesado la exposición o durante el fin de semana, se eliminan totalmente del organismo.

11.2.4. Acumulación



- **parcialmente acumulativos:** vida media entre 6 y 200 horas, se eliminan lentamente, por ejemplo, algunos metales.

En la figura 11.3 están representadas estas tres situaciones anteriores.

11.2.5. Eliminación

Los tóxicos o sus metabolitos pueden ser eliminados del organismo por diversas vías:

- renal
- respiratoria : exhalación, expectoración
- biliar
- secreción glandular: sudor, saliva, leche
- pelo y uñas
- heces.

La mayoría de los compuestos se eliminan en gran proporción por la orina. Los productos volátiles son eliminados en parte por vía respiratoria, en un proceso contrario al de su absorción. Algunos son eliminados por la bilis, en cuyo caso pueden ser reabsorbidos por el intestino, prolongándose así la permanencia en el organismo.

Un compuesto puede eliminarse por más de una vía. Así, por ejemplo, el tolueno se elimina principalmente por la orina, alrededor de un 80%, en forma de varios metabolitos pero también se elimina inalterado en el aire exhalado, alrededor de un 15-20% [11.8].

11.3. VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS (VLB®)

Cuando existe exposición a un contaminante, ésta puede quedar reflejada en los efectos que produce en el organismo. El objetivo de la Higiene Industrial es impedir que la repetida exposición a agentes químicos por parte del trabajador, pueda producirle daños a la salud. Para prevenir estos efectos, los higienistas industriales disponen, entre otras, de dos herramientas: los valores límite ambientales y los valores límite biológicos.

El muestreo del ambiente en los puestos de trabajo tiene por objeto evaluar la exposición por inhalación a las sustancias químicas en estos puestos midiendo la concentración de los contaminantes en el aire. Los VLA sirven como valores de referencia.

El control biológico es una valoración de la exposición global a la sustancia química presente en el puesto de trabajo, a través de medidas apropiadas del indicador o indicadores en los especímenes biológicos tomados al trabajador a un tiempo determinado. Los VLB® sirven como valores de referencia.

El indicador puede ser la misma sustancia química, uno de sus metabolitos o un cambio bioquímico reversible característico inducido por la sustancia. Como se ha dicho anteriormente, la medida puede realizarse en el aire exhalado, en la orina o en la sangre tomados del trabajador expuesto.

Los VLB® son, pues, valores de referencia para los indicadores biológicos asociados a la exposición global a los agentes químicos. Los VLB® son aplicables para exposiciones profesionales de 8 horas diarias durante cinco días a la semana [11.3].

Las bases para establecer los VLB® pueden derivarse de dos tipos de estudios [11.3]:

- Los que relacionan la intensidad de la exposición con el nivel de un indicador biológico (indicadores biológicos de dosis).

En este caso, los VLB® representan los niveles más probables de los indicadores biológicos en trabajadores sanos, sometidos a una exposición global a agentes químicos equivalente, en términos de dosis absorbida, a una exposición exclusivamente por inhalación del orden del Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED®).

- Los que relacionan el nivel de un indicador biológico con efectos sobre la salud (indicadores biológicos de efecto).

Hasta el momento, el número de indicadores de efecto que se utilizan es muy limitado. En la tabla 11.1 se pueden ver algunos ejemplos.

11.3.1. VLB®. Bases del establecimiento

Agente químico	Indicador biológico	Valor Límite Biológico
Plaguicidas organofosforados	Colinesterasa eritrocitaria	Reducción de la actividad al 70% del valor basal individual
Inductores de la metahemoglobina	Metahemoglobina en sangre	1,5% de metahemoglobina en hemoglobina total
Monóxido de carbono	Carboxihemoglobina en sangre	3,5% de carboxihemoglobina en hemoglobina total

Tabla 11.1.- Indicadores y valores límite biológicos de efecto.

La mayoría de los IB, y por tanto de los VLB[®], son de dosis. Por ese motivo, para que los datos de un control biológico tengan alguna utilidad debe ser realizado, en la mayoría de los casos, como complemento del control ambiental. Una excepción es, por ejemplo, la determinación de plomo en sangre, que es un indicador de dosis, pero con una vida media lo suficientemente larga como para ser un parámetro representativo de la exposición a plomo a largo plazo.

11.3.2. Significado de los VLB[®]

Cuando el compuesto se acumula en el organismo, porque su vida media es muy larga, superior a unas 200 horas, el momento de la toma de muestra no es importante. Pero, en muchas ocasiones, cuando el nivel del indicador varía rápidamente al terminar el periodo de exposición o cuando hay acumulación parcial, el momento en el que se realiza la toma de muestra es crítico y debe respetarse cuidadosamente. El tiempo en el que hay que realizar el muestreo se establece de acuerdo con las diferencias entre las velocidades de absorción y eliminación de los compuestos químicos y sus metabolitos o de acuerdo con la persistencia de los cambios bioquímicos inducidos.

De acuerdo con el indicador, el espécimen elegido y el momento adecuado para la toma de muestra, la evaluación indica alguna de las situaciones siguientes:

- la intensidad de una exposición reciente
- la exposición media diaria
- una exposición crónica acumulativa.

En la legislación, tanto comunitaria como española, sólo existe un contaminante, el plomo, para el que se especifica un VLB[®] de obligado cumplimiento [11.13].

Los VLB[®] no indican una barrera definida entre las exposiciones de riesgo o no riesgo. Debido a la variabilidad biológica es posible que las medidas individuales para un determinado sujeto excedan los VLB[®] sin que haya un incremento de riesgo para su salud. Sin

embargo, se debe investigar la causa de los valores excesivos y tomar las medidas oportunas para reducir la exposición, si los valores obtenidos en los especímenes de un trabajador en diferentes ocasiones exceden persistentemente los VLB® o si la mayoría de las medidas obtenidas de los especímenes de un grupo de trabajadores en el mismo puesto de trabajo exceden los VLB® [11.3, 11.14].

Aunque en muchas ocasiones puedan existir horarios de trabajo que se alejen, tanto por la duración total como por la distribución de las horas, del horario considerado como normal de 8 horas diarias durante cinco días a la semana, la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) [11.14] no recomienda que se aplique ningún tipo de ajuste ni de corrección a los VLB®. El motivo es que:

- si el indicador es de efecto, no hay ningún motivo para corregirlo porque está directamente relacionado con el daño de la salud;
- si el indicador es de dosis, independientemente de la ruta de entrada en el organismo, la acumulación de tóxico proporciona una indicación más precisa que la concentración ambiental acerca de la exposición global. Este valor de la acumulación deriva del valor límite ambiental.

Si existe una concentración máxima ambiental a la cual puede estar sometido un trabajador sin experimentar efectos adversos, existirá también una máxima acumulación del tóxico en el organismo que tampoco los produzca.

Cuando el horario es distinto de 8 horas diarias durante cinco días a la semana [11.15], hay que conseguir que la acumulación en el organismo no sobrepase la que origina el horario normal. No hay, por tanto, ningún motivo para corregir el VLB®.

Lo adecuado sería modificar los VLA para otros horarios de trabajo de manera que no se exceda esa máxima acumulación del tóxico. Esto no significa que los límites recomendados en este caso no supongan ningún riesgo, sino que establecen la misma protección para cualquier tipo de jornada [11.16].

Los VLB® **no están pensados** [11.14] para:

- distinguir entre exposiciones peligrosas y no peligrosas
- determinar niveles no peligrosos de exposición no profesional a contaminantes en aire, agua o alimentos
- medir efectos nocivos
- diagnosticar una patología profesional

11.3.3. Interpretación de los resultados

Para realizar un programa de control biológico es necesario conocer el determinante que se va a analizar, el espécimen biológico en el que se va a determinar, cómo y cuándo se va a recoger la muestra, cómo se va a cuantificar y respecto a qué valor de referencia se va a comparar [11.1].

Cuando la medida, en un trabajador, de un determinado IB supere el VLB® correspondiente, no debe deducirse, sin mayor análisis, que ese trabajador esté sometido a una exposición excesiva o que existe penetración por otra vía distinta de la inhalatoria, ya que las diferencias individuales, biológicas o de conducta, tanto fuera como dentro del ámbito laboral, constituyen fuentes de inconsistencia entre los resultados del control ambiental y los del control biológico.

De todos modos, incluso en el caso de una superación de carácter puntual, debe ponerse en marcha una investigación con el objetivo de encontrar una explicación plausible para esa circunstancia y actuar en consecuencia o, en su defecto, descartar la existencia de factores causales vinculados al desempeño del puesto de trabajo [11.3].

Al margen de esta consideración individual de los resultados, el análisis de los datos correspondientes a los trabajadores de un grupo homogéneo, con respecto a la exposición, permitirá obtener información sobre el grado de eficacia de las medidas de protección y prevención adoptadas.

Cuando se interpretan los resultados del control biológico hay que considerar las diferencias intraindividuales e interindividuales que tienen lugar en las concentraciones de los indicadores, aun en las mismas condiciones de exposición. Estas diferencias surgen como consecuencia de:

- Variación en la ventilación pulmonar hemodinámica, que puede oscilar de unos 7 l/min, cuando se realiza un trabajo sedentario, hasta unos 25 l/min cuando se realiza un trabajo que requiere un esfuerzo físico grande. Esto supone que la cantidad de contaminante que entra en el organismo por vía respiratoria no sólo depende de la concentración de contaminante en el ambiente y del tiempo de exposición, sino también de la carga de trabajo del individuo expuesto [11.17].
- Estado fisiológico y de salud del trabajador: constitución de su organismo, composición de los fluidos corporales, edad, sexo, embarazo, medicación, situación de enfermedad.
- Eficacia de los órganos excretores.
- Actividad de los sistemas enzimáticos que controlan el metabolismo de la sustancia química y presencia en el organismo

de otros compuestos, de origen laboral o no, que pueden competir por los mismos sistemas enzimáticos.

- Estilo particular de vida: higiene personal, hábitos en el trabajo, dieta (consumo de agua y grasas), consumo de tabaco, alcohol, drogas, exposición a los productos del hogar o a productos químicos procedentes de exposiciones en otros puestos de trabajo o en actividades distintas a las laborales (hobbies).

La importancia de estos efectos debe valorarse individualmente en cada situación. Los fármacos, los contaminantes o la coexposición a otros productos químicos pueden alterar la relación entre la intensidad de la exposición laboral y el nivel del indicador en el espécimen, bien sea por adición de éste al ya existente o por alteración del metabolismo o eliminación del agente químico en estudio.

Para reducir los efectos de todos los factores que pueden variar es necesario un muestreo múltiple. No se debe tomar ninguna acción de un resultado inesperado procedente de una única medida aislada, sino de las realizadas procedentes de un muestreo múltiple.

El control biológico puede confirmar los resultados del control ambiental, pero, cuando haya una discrepancia entre ambos, debe revisarse cuidadosamente la situación global de la exposición y buscar una explicación.

No obstante, los resultados del control biológico deben examinarse cuidadosamente por un higienista ya que puede suceder que:

- El IB sea un compuesto endógeno o procedente de rutas metabólicas distintas de la laboral, como medicamentos, alimentación, etc., en cuyo caso habría que estudiar las características individuales del trabajador y buscar un indicador específico.
- Exista una exposición extralaboral.
- Existan diferencias metabólicas individuales debidas a factores genéticos como la raza o el sexo, condiciones previas de exposición o hábitos personales como consumo de alcohol, drogas o medicamentos.

El control biológico ofrece una serie de ventajas en comparación con las determinaciones ambientales [11.2]:

- Permite integrar las diferentes vías de penetración de los agentes que se hallan en el puesto de trabajo, permitiendo en ciertos casos estimar la posible contribución de cada una de ellas [11.1].
- Permite valorar el riesgo global generado por la exposición a un agente, independientemente de que su origen sea laboral o no. Muchos metales pueden implicar una exposición impor-

11.3.4. Ventajas y limitaciones del control biológico

tante para el hombre por encontrarse en cantidades elevadas en los alimentos o en la bebida.

- Permite el control individual de la exposición a que se encuentra sometido el trabajador.

La realización del control biológico es especialmente interesante en determinadas situaciones como las que se indican a continuación:

- Cuando el indicador es de efecto e indica por tanto una alteración funcional, como es el caso de la reducción de la actividad de colinesterasa eritrocitaria como consecuencia de la exposición profesional a plaguicidas organofosforados.
- Cuando existe exposición a compuestos poco volátiles que, por tanto, difícilmente van a encontrarse en concentraciones elevadas en el aire ni van a ser absorbidos por vía inhalatoria, pero que se pueden absorber fácilmente por la piel [11.2].
- Cuando se manipulan disolventes muy volátiles fácilmente absorbibles por vía inhalatoria y que, además, pueden penetrar a través de la piel del trabajador que los manipula [11.2].
- Cuando se requiera comprobar la eficacia de una protección personal frente a la presencia de un agente en el aire del lugar de trabajo.
- Cuando el compuesto tiene una vida media grande, ya que entonces el nivel del indicador proporciona información sobre la acumulación del agente en el organismo. Es el caso de metales como el cadmio o el plomo. En estos indicadores no es crítico el momento de la toma de muestra.

Existen una serie de dificultades de orden práctico en la implantación del control biológico [11.2]:

- El control biológico utiliza a los propios individuos como unidades de muestreo. Esta circunstancia puede representar un cierto inconveniente para ellos, originando algún malestar o inquietud. Las personas que han de ser objeto de un control biológico, por una exposición laboral, previamente deben ser cuidadosamente instruidas acerca de “en qué consiste”, “cómo se va a efectuar”, “con qué fin” y “qué cabe esperar del resultado final obtenido” de dicho control.
- Escasa disponibilidad de parámetros que cumplan con los requerimientos científicos (de orden teórico) y técnicos (de orden práctico) necesarios para poder ser empleados como indicadores ya que existen muy pocos compuestos con VLB® comparados con los que tienen VLA.
- Los resultados deben interpretarse a la luz de una serie de elementos y variables que afectan al sujeto o sujetos expuestos y

que en modo alguno pueden no ser tenidos en cuenta, como son: la edad, el sexo, la alimentación, el consumo de alcohol, el tabaquismo, la medicación, la higiene personal y profesional y la actividad física fuera del puesto de trabajo o la cantidad de grasa corporal.

- El control biológico no ha sido ideado para evaluar los riesgos relacionados con la exposición aguda a agentes químicos. En modo alguno se pueden prevenir, mediante control biológico, los riesgos de la exposición aguda a agentes tales como el CN^- , CO , N_xO_y , narcóticos potentes, etc.
- En algunos casos, el indicador puede tener otro origen, como sucede con el ácido hipúrico, metabolito del tolueno (ver figura 11.2), que también puede aparecer en el organismo como consecuencia de la ingestión de productos que contengan ácido benzoico (frutas, vegetales) o precursores de ácido benzoico (ciruela, calabaza), lo que añade una dificultad a la hora de interpretar los resultados.

Como ya se apuntó en la introducción de este capítulo, **no debe confundirse la vigilancia de la salud con el control biológico**. En determinados casos, cuando el VLB® es de efecto, es posible que una de las pruebas útiles para la vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a una sustancia sea el control biológico. Pero cuando el VLB® es de dosis, como sucede en la mayoría de las ocasiones, el control biológico no tiene absolutamente nada que ver con la vigilancia de la salud. Es decir, el control biológico puede detectar una exposición excesiva antes de que tenga lugar un cambio biológico significativo (indicador de dosis) o descubrir una alteración biológica aún reversible y que no haya causado daño en la salud (indicador de efecto) [11.11].

El control biológico es de obligada aplicación en el caso de exposición a plomo. En el resto de los casos se debe realizar cuando ofrezca ventaja sobre el uso aislado del ambiental. Hay que tener en cuenta, además, que no existe ninguna obligatoriedad por parte del trabajador para dar muestras de sangre. Debe considerarse como un complemento del control ambiental para:

- confirmarlo
- comprobar la eficacia de los equipos de protección individual (EPI), tales como guantes o mascarillas
- determinar la absorción por otras vías, dérmica o digestiva
- detectar una posible exposición de origen distinto al laboral

11.3.5. Aplicaciones del control biológico

El control biológico puede resultar muy útil para comprobar la eficacia de los EPI, siempre y cuando se trate de un compuesto no acumulativo, es decir, un compuesto con una vida media biológica corta.

En ese caso, cuando se recomienda un EPI que antes no se utilizaba, es necesario realizar un control biológico de los trabajadores antes de utilizarlo y después de hacerlo, para asegurarse de que, efectivamente, son capaces de impedir o, al menos, disminuir el paso del contaminante del ambiente al organismo del trabajador. Cuanto menor sea la vida media del compuesto, más rápida será la comprobación.

- Si el compuesto tiene una vida media inferior a 3 horas, no existe acumulación del contaminante en el organismo de un día de exposición para el siguiente y la eficacia del EPI se puede comprobar después de un solo día de utilización.
- Si el compuesto tiene una vida media superior a 3 horas pero inferior a 10 horas, se acumulará en parte en el organismo y habrá que esperar más tiempo para poder comprobar la eficacia del EPI. Como se puede asumir que un compuesto se elimina del organismo en un periodo aproximadamente de siete veces la vida media del compuesto, si ésta es de 10 horas, habrá que esperar unos tres días utilizando el EPI para comprobar su eficacia.
- En el caso de compuestos con un tiempo de vida media largo, superior a 100-200 horas, muy acumulativos, sería imposible determinar si el nivel del IB procede de una exposición anterior o de las condiciones de trabajo actuales, ya que el valor del IB no cambiaría inmediatamente después de utilizar el EPI.

BIBLIOGRAFÍA

11.1.- Periago F. "Control biológico de la exposición a contaminantes químicos en higiene industrial". *Prevención, Trabajo y Salud* nº 18, 4-15, 2002.

11.2.- Obiols Quinto J. *Control biológico de los trabajadores expuestos a contaminantes químicos*. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 1998. ISBN 84-7425-495-7.

11.3.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. (Publicación anual).

11.4.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Métodos de Toma de Muestras y Análisis. MTA/MB-017/A94.

11.5.- Periago F. y otros. "Design and evaluation of an exhaled breath sampler for biological monitoring of organic solvents". *J. Appl. Toxicol.* 12(2), 91-96, 1992.

11.6.- Ariëns EJ., Simonis AM. y Offermeier J. *Introduction to general Toxicology*. New York: Academic Press, 1976.

11.7.- Wagner JG. *Fundamentals of Clinical Pharmacokinetics*. 2nd Edition. Hamilton, Illinois, Drug Intelligence Publications, Inc. 1979. ISBN 0914768204.

11.8.- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs[®]) and Biological Exposure Indices (BEIs[®]). Sixth Edition.

11.9.- Lauwerys R. *Human biological monitoring of industrial toxic chemicals series: Toluene*. Industrial Health and Safety. Alessio L, Berlín A, Roi R, Boni M. (eds) Ispira, 1983.

11.10.- Truchon G., Tardif R. & Brodeur J. "Gas chromatographic determination of urinary o-cresol for the monitoring of toluene exposure". *J. Analyt. Toxicol.* 20(5), 309-312, 1996.

11.11.- González E., Ugarte MC. y Tejedor JN. *Toxicocinética aplicada a la Higiene industrial*, Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1988.

11.12.- Repetto Jiménez M. y Repetto Kuhn G. *Toxicología fundamental*. 4^a edición. Ediciones Díaz de Santos, 2009. ISBN 978-84-7978-898-8.

11.13.- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

11.14.- GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D'ECONOMIA, HISENDA i OCUPACIÓ. TLVs[®]. Valores Límite para Sustancias Químicas y Agentes Físicos en el Ambiente de Trabajo. BEIs[®]. Índices Biológicos de Exposición.

11.15.- Roach SA. "Threshold limit values for extraordinary work schedules". *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 39 (4), 345-348, 1978.

11.16.- Hickey JLS., Reist PC. "Application of occupational exposure limits to unusual work schedules". *Am Ind. Hyg. Assoc. J.* 38, 613-621, 1977.

11.17.- Droz PO., Fernández JG. "Effect of physical workload on retention and metabolism of inhaled organic solvents. A comparative theoretical approach and its applications with regards to exposure monitoring". *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 38 (4), 231-246, 1977.

En este anexo se dan unas nociones generales de introducción al control de los contaminantes químicos mediante la ventilación, estableciendo los criterios necesarios para la selección del tipo a adoptar según los diferentes casos que se puedan presentar.

Asimismo, se indica la forma de proceder para llevar a cabo la comprobación periódica y la revisión de los parámetros que rigen la eficacia y suficiencia de los sistemas de ventilación ya funcionando.

En cualquier evaluación del riesgo químico, además de identificar los peligros y los distintos factores de riesgo asociados, hay que evaluar la eficacia y la suficiencia de las medidas de control adoptadas. En el caso que nos ocupa, la ventilación es la medida preventiva por excelencia, de ahí que merezca la pena analizarla con cierto detalle ya que, cuanto mejor se conozca el comportamiento de los contaminantes químicos en el aire y las características de la ventilación y de sus tipos, más eficaz será para el control de los mismos.

La primera parte de este anexo, apartados A.1 y A.2, sigue la Guía Europea para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos en el trabajo [A.1]. Lo relativo a la verificación de los sistemas de ventilación del apartado A.2 y, además, la última parte, apartado A.3, se ha extraído de un capítulo del Manual Técnico de OSHA [A.2].

A.1. VENTILACIÓN GENERAL POR DILUCIÓN

Consiste en renovar el aire de un local suministrando una cantidad apropiada de aire exterior limpio y extrayendo una cantidad similar de aire contaminado.

A.1.1. Descripción

El aire puede entrar de forma natural, a través de puertas, ventanas, etc. (figura A.1), o forzada, mediante ventiladores (figura A.2).

La ventilación general es, en cualquier caso, una medida preventiva [A.3, artículo 5]. Por ello, en los locales de trabajo debe garantizarse siempre una ventilación general que cumpla con los requisitos establecidos en el Real Decreto 486/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo [A.4].

**A.1.2.
Ámbito de
aplicación**

- Como medida específica para controlar el riesgo por exposición, si se trata de sustancias de toxicidad baja o media por vía inhalatoria (VLA-ED[®] > 100 ppm si es gas o vapor) [A.5].
- Como control del riesgo de incendio y explosión en recipientes y equipos, reduciendo la concentración del contaminante por debajo del límite inferior de inflamabilidad (LII) y del límite inferior de explosividad (LIE), para vapores y polvos explosivos, respectivamente.
- Como control de olores y sustancias molestas reduciendo los niveles por debajo de los límites recomendables con criterio de confort.

**A.1.3.
Recomendaciones
técnicas**

- Prever sistemas de reposición del aire extraído.
- Dimensionar el sistema de calefacción o enfriamiento del local teniendo en cuenta el caudal de aire de ventilación necesario en el local.
- Calcular el caudal necesario de ventilación en función de la velocidad de generación del contaminante y de la concentración ambiental que se quiera mantener.
- Si existen sistemas de extracción localizada, calcular el caudal de ventilación del local considerando los requerimientos de dichos sistemas.
- Evitar el reingreso en el local del aire extraído separando los puntos de descarga de las posibles entradas de aire.
- Disponer las entradas y salidas de aire de forma que la circulación del aire recorra todo el recinto evitando zonas muertas con poca ventilación (figuras A.3, A.4 y A.5).
- Considerar como aire de ventilación solamente el caudal efectivamente introducido en el recinto desde el exterior y no los caudales de recirculación.

Es necesario disponer de un programa de mantenimiento que garantice el buen funcionamiento del sistema de ventilación, para lo cual se seguirán las instrucciones del fabricante y/o instalador (ventilación forzada). Además, se deberá:

- Recabar del fabricante y/o instalador la máxima información acerca de la instalación.
- No cerrar u obstruir las entradas de aire exterior durante la época fría.
- Inspeccionar visualmente posibles daños en el sistema: roturas, paletas ventilador, etc.
- Medir la concentración ambiental de los contaminantes después de la implementación del sistema.

A.1.4. Mantenimiento y comprobaciones

Se recomienda una ventilación por dilución cuando se trate de:

- Oficinas y locales.
- Instalaciones de uso industrial. Por ejemplo: ventilación en talleres de transformación de metales, de madera, etc. o ventilación de estufas, hornos de secado, salas de bombas o compresores, etc.

A.1.5. Recomendaciones de uso

No obstante, su uso está limitado cuando su aplicación sea como medida de control del riesgo de incendio y explosión en locales y será siempre una medida complementaria de otras acciones.

Su uso se desaconseja cuando concurra alguna de las circunstancias siguientes:

- la cantidad de contaminante generada es alta
- los trabajadores están cerca de los focos
- la dispersión del contaminante no es uniforme

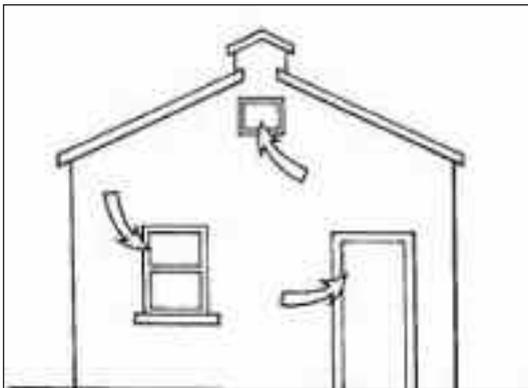


Figura A.1.- Ventilación natural.

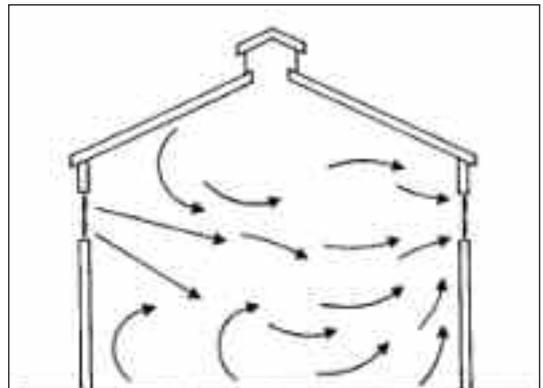
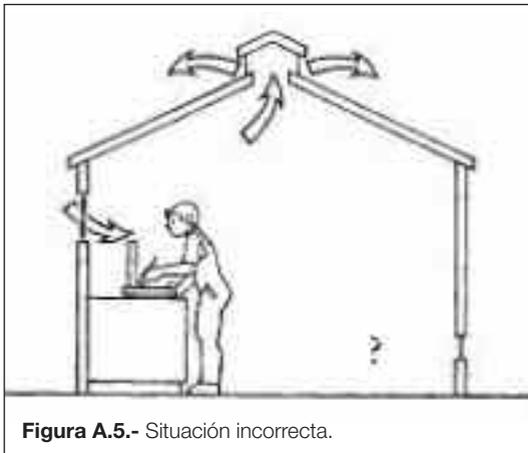
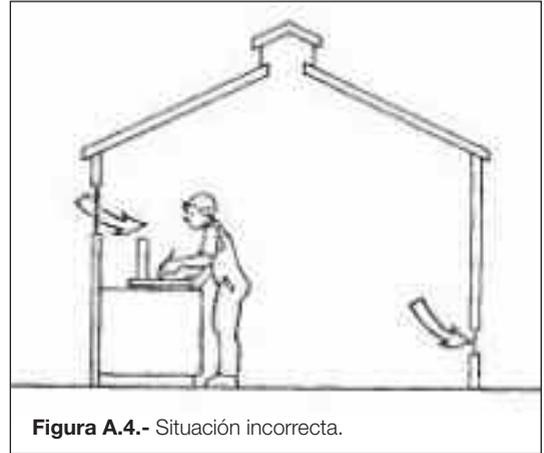


Figura A.2.- Ventilación forzada.



Las figuras citadas anteriormente y que se muestran a continuación (figuras A.1, A.2, A.3, A.4 y A.5) representan el movimiento y circulación del aire en distintas situaciones.

En la figura A.3, la distribución del aire en el local es homogénea. La salida se sitúa cerca del foco de emisión y el movimiento del aire aleja el contaminante de la zona respiratoria del trabajador.

Por el contrario, en las figuras A.4 y A.5, el aire limpio arrastra el contaminante hacia la zona respiratoria del trabajador.

Además, en el ejemplo representado en la figura A.5, pueden existir zonas muertas con mala o nula ventilación.

A.2. EXTRACCIÓN LOCALIZADA

A.2.1. Descripción La extracción localizada crea, mediante aspiración, una corriente de aire para captar los contaminantes ambientales en la proximidad inmediata del foco que los genera.

La aspiración se realiza lo más cerca posible del foco de emisión e impide que el contaminante se disperse en el ambiente y, por lo tanto, evita concentraciones peligrosas por exposición inhalatoria o por aproximarse al límite inferior de inflamabilidad (LII) o al límite inferior de explosividad (LIE) de la sustancia, para vapores y polvos explosivos, respectivamente.

La extracción localizada se compone de (figura A.6):

- elementos de captación (campanas)
- conductos
- depuradores
- ventiladores

Siempre que sea posible, es recomendable que la extracción localizada la suministre el propio fabricante del equipo, tal como es habitual en ciertos tipos de máquinas, como las de la industria de la madera, por ejemplo. Lo mismo puede decirse de ciertas herramientas portátiles que pueden producir polvo, como las amoladoras, las sierras de mano, etc.

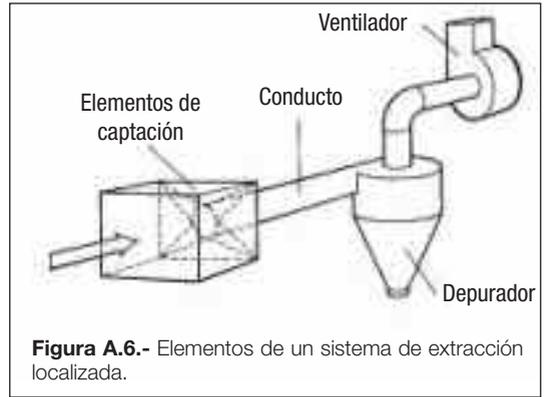


Figura A.6.- Elementos de un sistema de extracción localizada.

- Para cualquier rango de toxicidad de las sustancias.
- Cuando existen pocos focos de emisión y se conoce su ubicación.
- Cuando la cantidad de contaminante generada es alta.
- Cuando los trabajadores están cerca de los focos.
- Cuando la dispersión del contaminante no es uniforme.

A.2.2.
Ámbito de aplicación

En las figuras A.7, A.8, A.9, A.10 y A.11 se muestran varios ejemplos en los que es adecuada la ventilación por extracción localizada, según distintas aplicaciones y diseños.

A.2.3.
Ejemplos de aplicación

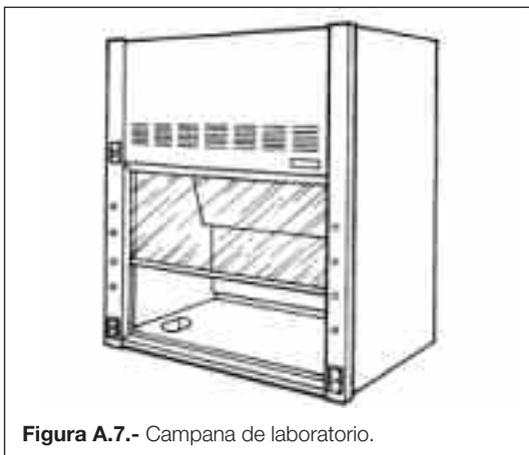


Figura A.7.- Campana de laboratorio.

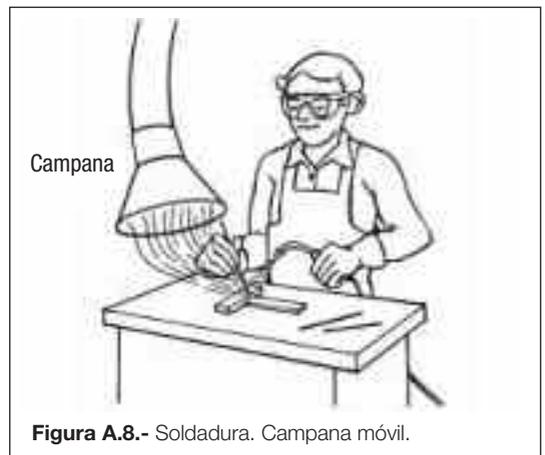
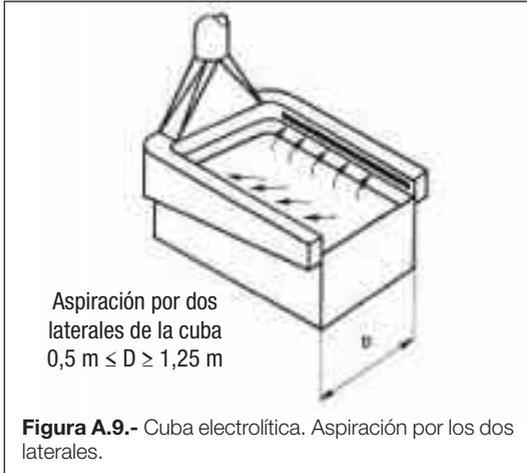


Figura A.8.- Soldadura. Campana móvil.

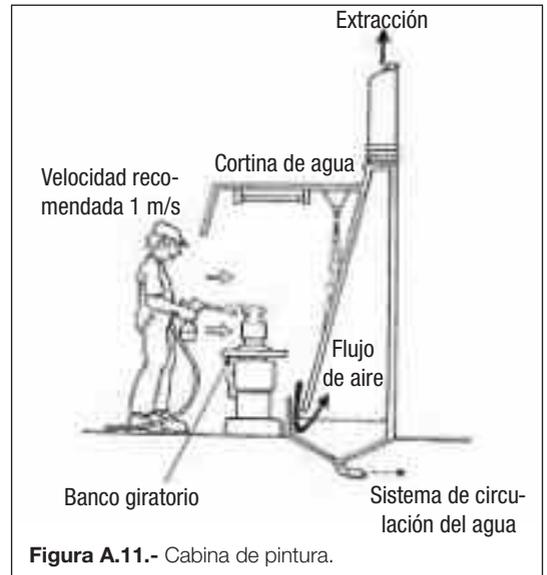


A.2.4.
Recomendaciones técnicas y principios prácticos de diseño

Un sistema de extracción localizada debe ser diseñado e instalado por un especialista.

Algunos requisitos generales del diseño son los siguientes:

- Se utilizarán campanas que encierren el foco al máximo y se situarán tan cercanas al foco como sea posible, sin que obstaculicen el trabajo;



- la velocidad del aire en las inmediaciones del foco se elegirá teniendo en cuenta las características del contaminante y el movimiento del aire en la zona;
- la corriente de aspiración del aire contaminado no deberá estar dirigida hacia la zona de respiración del trabajador;
- la velocidad en conducto deberá ser la adecuada para evitar la acumulación de las partículas o polvo extraídos y, por lo tanto, al menos igual a la velocidad de transporte recomendada, según tablas, en los libros de ventilación [A.5];

- el ventilador se elegirá según el caudal que deba circular y la pérdida de carga del sistema;
- el local deberá tener un suministro de aire forzado o unas entradas de aire exterior que puedan proporcionar un caudal de aire exterior igual o superior al que se extrae con el sistema de extracción localizada.

Principios prácticos a tener en cuenta:

- Colocar la campana lo más cerca posible del foco de emisión de contaminante (figura A.14) ya que:
 - A una distancia igual al diámetro, la velocidad de captura (v_c) se reduce aproximadamente al 10% de la velocidad del conducto (v_D).
 - A una distancia igual al doble del diámetro, la v_c se reduce aproximadamente al 1% de la v_D .
- Para lograr $v_c \geq 0,25$ m/s, velocidad mínima de control de un proceso, la distancia del foco de emisión de contaminante a la campana debe ser inferior a 1,5 veces el diámetro del conducto (figura A.15).
- La anchura del “baffle” de la campana debe ser del orden de la diferencia entre la distancia del foco a la campana y la mitad del diámetro del conducto (figura A.16).
- En las uniones antes y después del ventilador, hay que evitar los codos muy próximos a la entrada y salida del ventilador. Como regla general, hay que mantener un tramo recto de conducto entre un codo y la entrada de aproximadamente seis veces el diámetro del conducto y de tres veces el diámetro del conducto entre un codo y la salida del ventilador (figura A.17).
- La altura del tubo de descarga debe ser tal que, ya sea la parte más alta del tejado o la entrada de aire (en su punto medio), se encuentre por lo menos a 3 metros por debajo (figura A.18).

En las figuras siguientes, algunas ya citadas (figuras A.12, A.13, A.14, A.15, A.16, A.17 y A.18), se indican algunos de los principios a tener en cuenta tanto en el diseño de los sistemas como al hacer las comprobaciones oportunas de funcionamiento y diagnóstico de averías.

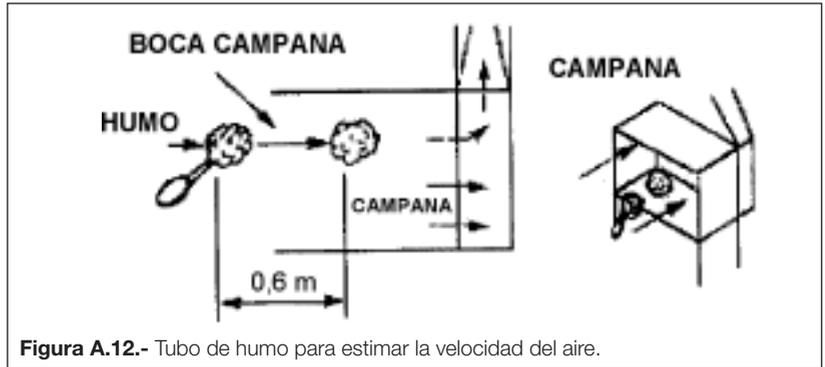


Figura A.12.- Tubo de humo para estimar la velocidad del aire.

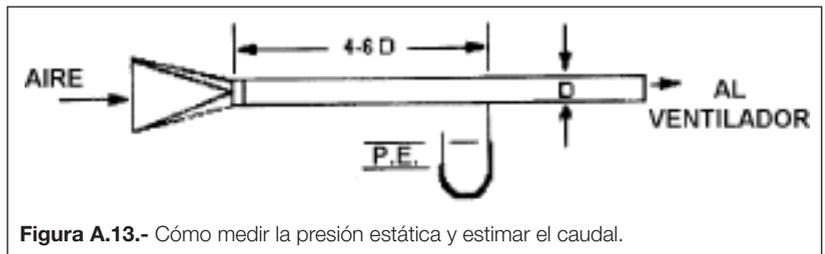


Figura A.13.- Cómo medir la presión estática y estimar el caudal.

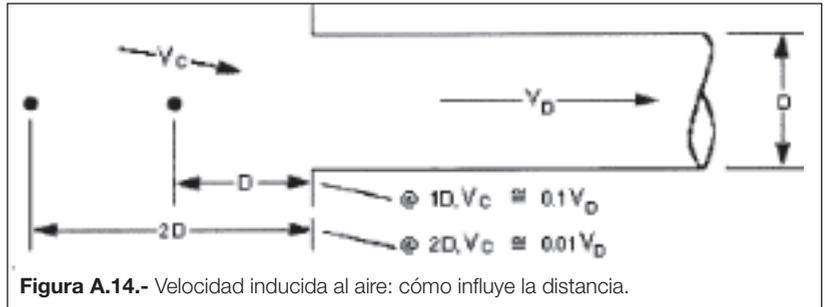


Figura A.14.- Velocidad inducida al aire: cómo influye la distancia.

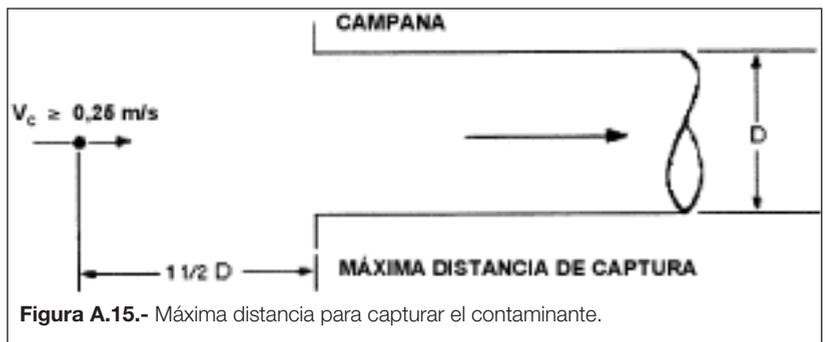


Figura A.15.- Máxima distancia para capturar el contaminante.

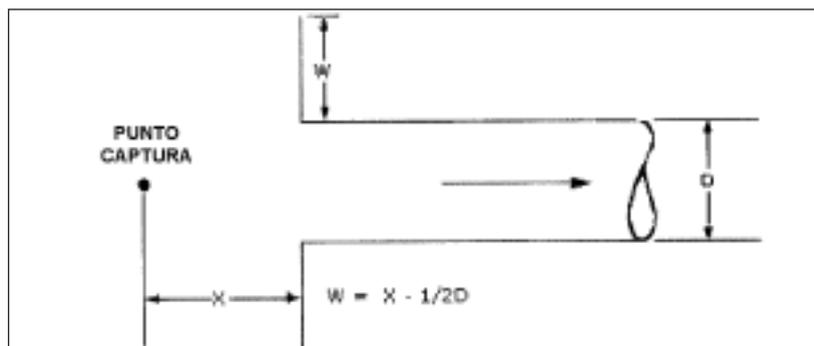


Figura A.16.- Anchura efectiva del baffle de la campana.

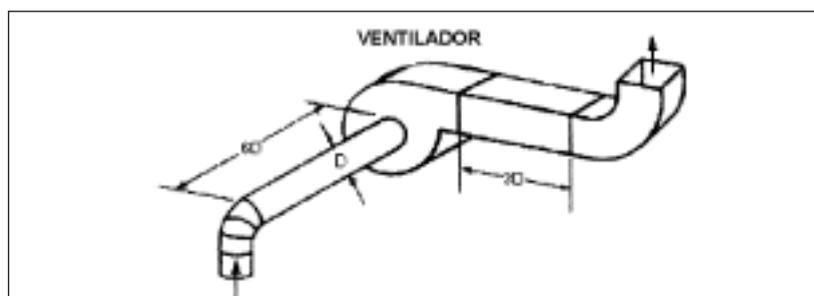


Figura A.17.- Regla del 6/3 para codos antes y después del ventilador.

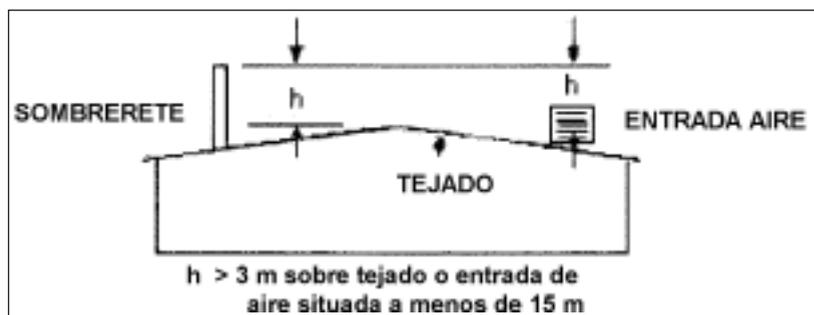


Figura A.18.- Altura mínima del sombrerete respecto del tejado o de la entrada de aire.

- Comprobar las velocidades de captación en los puntos de generación de contaminantes. Esta comprobación puede ser cuantitativa (anemómetros o velómetros) o cualitativa (tubos de humo o similares).
- Comprobar el caudal aspirado por cada campana (normalmente mediante medida de la presión estática en boca de campana o de la velocidad en conducto después de la campana). En el caso de que el caudal en la campana sea bajo, habrá que comprobar (ver también apartado A.2.6):

A.2.5. Mantenimiento y comprobación de la eficacia

- si la rotación del ventilador es la correcta
- las revoluciones del ventilador (rpm)
- el deslizamiento de las correas del ventilador
- el taponamiento o corrosión de la carcasa interior del ventilador
- los atascos en el conducto (alta presión estática y bajo caudal indican paso restringido en los conductos; abrir las compuertas y verificar su interior)
- si la salida en la descarga está demasiado cerrada
- el diseño de los conductos: codos o uniones mal trazados o conductos demasiado estrechos para el caudal necesario
- la entrada de aire (si es insuficiente se crean presiones muy negativas que afectan a la impulsión de salida del ventilador y se pueden dar altas velocidades de aire en las ventanas y puertas del local).

Si, por el contrario, el caudal es el adecuado pero el control del contaminante es insuficiente, habrá que comprobar (ver también apartado A.2.6):

- las corrientes de aire transversales debidas al proceso, los ventiladores para refrescar la zona de trabajo o los sistemas de entrada de aire o ventanas o puertas abiertas
- si la velocidad de captura (v_c) es insuficiente
- si la tarea se realiza muy alejada de la abertura de la campana
- el encerramiento de la campana (ranuras, baffles,..)
- el tipo de campana (por ejemplo, las campanas de bóveda son inapropiadas para contaminantes tóxicos).
- Verificar la integridad física de las campanas y los conductos. No deben existir grietas, roturas, tubos desconectados, bridas sueltas, acumulación de suciedad en conductos o en filtros, etc.
- Comprobar las presiones en puntos significativos del circuito (unión de las campanas con los conductos, la entrada y salida del depurador, si lo hay, y la entrada al ventilador).
- Verificar el ventilador y sus elementos mecánicos (carcasa, rodete, motor, rodamientos, correas de transmisión, etc.).

El usuario **NO DEBE** modificar el sistema sin la previa aprobación del diseñador del sistema. En particular, no se pueden añadir nuevas ramas por la instalación de maquinaria adicional sin hacer, previamente, un estudio de viabilidad.

Se debe proceder a investigar las posibles causas y estudiar las posibles soluciones que corrijan el problema cuando se detecte alguna de las anomalías siguientes:

- niveles excesivos de exposición a contaminantes químicos en aire
- posible riesgo de explosión
- deficiencia en la calidad del aire.

Antes de proceder a la verificación del sistema de extracción para un posible diagnóstico de averías, hay que comprobar lo siguiente:

- ¿Los filtros están limpios o sucios?
- ¿Hay registros para regular el caudal? ¿Con qué frecuencia se revisan?
- ¿Se han retirado (clausurado) unidades de operación respecto del proyecto original?
- ¿Se dispone de una copia de los planos de la instalación y de los detalles?

Para hacer las comprobaciones necesarias del sistema, es útil contar con un equipo básico que, a ser posible, estará compuesto de:

- Tubos de humo.
- Velómetros, anemómetros:
 - anemómetros de vena (velómetros)
 - termoanemómetro o de hilo caliente.
- Medidores de presión:
 - manómetros en U o electrónicos
 - tubos de Pitot
 - térmicos (miden la presión estática indirectamente y son térmicos o de vena)
 - aneroides tipo Magnehelic (los hay electrónicos).
- Equipo de medición de ruido.
- Medidor de gases combustibles, oxígeno...
- Tubos colorimétricos para evaluar CO, CO₂, formaldehído...
- Cinta métrica.

Además, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos respecto al procedimiento de medida, resumidos en el cuadro A.1.

A.2.6. Diagnóstico de averías y verificación del funcionamiento del sistema de extracción localizada

PROCEDIMIENTO DE MEDIDA
<ul style="list-style-type: none"> • DIÁMETRO DE LOS CONDUCTOS: si la sección de los conductos es superior a los 750 - 1200 mm, hay que tener en cuenta su sección.
<ul style="list-style-type: none"> • DIMENSIÓN DE LA CAMPANA Y DE LOS CONDUCTOS: se mide o se obtiene a través de planos de diseño.
<ul style="list-style-type: none"> • VELOCIDAD EN LA CARA ABIERTA DE LA CAMPANA: <ul style="list-style-type: none"> - El anemómetro colocado siempre en posición recta mide a partir de 0,25 m/s. - El anemómetro no se puede usar en aire sucio o de mucha humedad y requiere una calibración periódica anual. Los de hilo caliente no deben usarse en ambientes que contengan aerosoles. - Para medir la velocidad en la campana se procede así: dividirla imaginariamente en áreas, medir la velocidad en el centro de cada área y obtener una media de los resultados obtenidos. - Con los tubos de humo se puede estimar la velocidad, en el rango de bajas velocidades del aire, estimando el tiempo que tarda en desplazarse la columna de humo hacia la campana una distancia de, por ejemplo, 60 cm. Si el tiempo es de 2 segundos, la velocidad será de 0,3 m/s.
<ul style="list-style-type: none"> • PRESIÓN ESTÁTICA EN LA CAMPANA: medida a una distancia de la campana de, al menos, entre 4 y 6 veces el diámetro del conducto. Como medidor de presión más sencillo se puede usar un manómetro en U (de ramas rectas o de rama inclinada para aumentar su sensibilidad). Para velocidades inferiores a 4 m/s se usan aneroides fáciles de leer y de transportar pero que requieren una calibración periódica y mantenimiento.
<ul style="list-style-type: none"> • VELOCIDADES EN CONDUCTO: directa con velómetros o anemómetros o indirectamente con tubo de Pitot a partir de la presión dinámica. Hay que hacer correcciones de densidad según las instrucciones del fabricante y empleando las fórmulas pertinentes.
<ul style="list-style-type: none"> • CONDICIONES DEL VENTILADOR Y DEL DEPURADOR: las medidas se pueden hacer con manómetros o tubos de Pitot.

Cuadro A.1.- Procedimiento de medida.

De esta forma, disponiendo del equipo básico y actuando según el procedimiento de medida descrito anteriormente, se podrá caracterizar el problema existente en el sistema de extracción localizada.

Así pues, con la información obtenida en los pasos anteriores, se hace un diagnóstico de la situación y se procede a investigar las posibles causas que hayan podido dar origen a la misma. A continuación, se recogen en la tabla A.1 las causas más frecuentes responsables de los fallos o situaciones anómalas en los sistemas de extracción localizada.

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN / FALLO	POSIBLES CAUSAS
Quejas de operarios, uso inadecuado del sistema, no usar el sistema, alteración del sistema por los operarios.	<ul style="list-style-type: none"> • La campana interfiere el trabajo. • La campana proporciona un control bajo de los contaminantes.
Exposiciones altas de los operarios aunque los caudales y las velocidades sean las diseñadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el procedimiento de trabajo. • El sistema interfiere con el trabajo o con la producción del operario y se hace un by-pass al sistema. • Formación y entrenamiento inadecuados. • Mal diseño del sistema.
Atascos frecuentes de los conductos.	<ul style="list-style-type: none"> • La velocidad de transporte es baja o hay condensación de vapor o partículas húmedas que causan acumulación en los conductos.
Velocidades de captura bajas o fuga excesiva de contaminante.	<ul style="list-style-type: none"> • Provoca caudales bajos, a menos que el proceso en sí haya cambiado. • Los caudales bajos ocurren por: <ul style="list-style-type: none"> - Atascos o aplastamiento del conducto. - Las correas del ventilador resbalan. - Puertas de acceso abiertas. - Conductos, codos agujereados. - Registro cerrado en un ramal que se está utilizando o abiertos en otros que no están en uso o bien están corroídos o estropeados. - El ventilador rota en sentido contrario y funciona al 50% de su capacidad. - Aletas del ventilador estropeadas. - Se han añadido nuevas tomas o ramales al sistema. - Depurador colmatado.

Tabla A.1.- Descripción de la situación/fallo y de las causas más frecuentes.

A.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UNA VENTILACIÓN POR DILUCIÓN O EXTRACCIÓN LOCALIZADA

Antes de aplicar los criterios de selección del tipo de ventilación, es necesario hacer un análisis de la situación que se pretende controlar con esta medida, que se basará principalmente en considerar los factores relativos a la fuente de emisión, el comportamiento del aire y la contribución del operario (Cuadro A.2).

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN
FUENTE DE EMISIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Están todas las fuentes de emisión localizadas? • ¿Cuáles son las que contribuyen a la exposición? • ¿Cuál es la contribución relativa de cada una de ellas? • Caracterización individualizada: <ul style="list-style-type: none"> - Composición de los contaminantes. - Temperatura. - Tasa de emisión. - Forma de emisión (continua o intermitente). - Velocidad inicial de la emisión. - Forma de la emisión. - Cantidad de materia emitida.
COMPORTAMIENTO DEL AIRE
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del aire. • Movimiento del aire (dirección, velocidad). • Capacidad de mezcla. • Aire de impulsión y de retorno, relación de presión respecto de los lugares colindantes. • Fuentes de aire de reposición sin atemperar o atemperadas. • Renovaciones/hora. • Influencia de la ventilación por dilución. • Efectos de la velocidad y dirección del viento. • Efectos del clima o estación del año.
OPERARIO
<ul style="list-style-type: none"> • Interacción del operario con la fuente de emisión. • Niveles de exposición. • Localización del operario. • Formación, entrenamiento y participación del operario.

Cuadro A.2.- Análisis de la situación.

A la hora de seleccionar una técnica de ventilación, se deben tener en cuenta algunos criterios que permitan adoptar el tipo de ventilación más eficaz y apropiada para cada situación concreta, considerando prioritaria la protección de los operarios en todo momento.

Estos criterios son:

- Se retirará del aire extraído el máximo posible de contaminante.
- El sistema no se diseñará exclusivamente para no superar los VLA.
- El sistema no deberá permitir la recirculación como para que se incremente de forma significativa la exposición.
- No se usará la recirculación si hay sustancias cancerígenas presentes.
- El sistema dispondrá de formas seguras de fallo (sistemas de aviso en partes críticas, resguardos...).
- Se dispondrá de sistemas de filtrado y limpieza que aseguren una recogida eficiente del contaminante.
- El sistema dispondrá de un by-pass o ventilación auxiliar en caso de que el sistema presente una avería circunstancial.
- El sistema dispondrá de elementos que permitan hacer un seguimiento preventivo y de diagnóstico (agujeros para medida de la presión estática, contador de partículas para evaluar la eficiencia del depurador, monitores de amperaje...).
- El sistema se diseñará de forma que no recircule aire mientras dure una avería del equipo.
- El empresario deberá formar al personal en el uso y operación del sistema.

Así pues, una vez descritos los aspectos fundamentales de cada una de las técnicas de ventilación y conociendo los criterios a tener en cuenta para su selección, se elegirá el sistema más apropiado para reducir y controlar el riesgo de exposición a los agentes químicos presentes en el medio laboral, ya sea aplicándolo al proceso o instalación (extracción localizada) o en el local de trabajo (ventilación por dilución).

BIBLIOGRAFÍA

A.1.- COMUNIDADES EUROPEAS. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Guía Práctica de la Directiva sobre Agentes Químicos 98/24/CE.

A.2.- OSHA TECHNICAL MANUAL. Disponible en web: http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_toc.html

A.3.- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

A.4.- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

A.5.- ACGIH. Generalitat Valenciana. Conselleria de Treball i Afers Socials. Direcció General de Treball *Ventilación industrial: Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales*. 1992. ISBN 84-7890-818-8.

Jerarquización de riesgos para la salud. Ejemplos de aplicación

Anexo

B

Este anexo es continuación del capítulo 4 “Jerarquización de riesgos”, en el que se dan nociones de carácter general para realizar dicha etapa, aplicada a los riesgos para la salud. La metodología simplificada que se propone sigue las líneas del método del INRS francés [B.1]. En primer lugar, se explica el procedimiento a seguir y, a continuación, se exponen varios ejemplos de diferentes aplicaciones de la jerarquización.

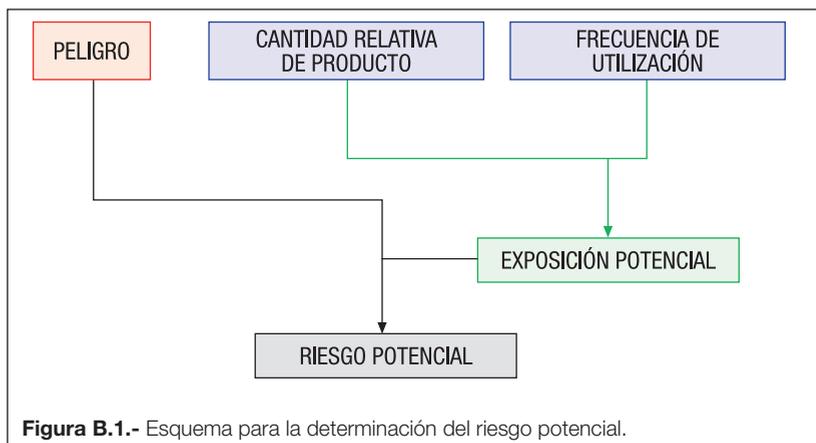
A partir de los resultados obtenidos, se procederá a continuar la evaluación, en caso de que sea necesario, teniendo en cuenta las distintas vías de exposición y el contacto con piel/ojos.

También puede darse el caso en el que la evaluación concluya en esta etapa de jerarquización (ver capítulo 4), cuando para todos los riesgos identificados se obtenga un nivel de riesgo o prioridad bajo. Para que esto sea así, tienen que darse las condiciones que se citarán a lo largo de este anexo.

B.1. JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS POTENCIALES

La jerarquización pretende clasificar, mediante el cálculo del riesgo potencial, los agentes químicos, los lugares de trabajo (almacén, zonas de producción, lugares de almacenamiento temporal de residuos, etc.) o las fases que comprenden una tarea o procedimiento. Una vez determinado el riesgo potencial, se pueden ordenar los riesgos para determinar sobre cuáles deben realizarse acciones prioritarias.

Se trata de un método semicuantitativo en el que el riesgo potencial se calcula a partir de la categorización de unas variables. Las variables consideradas son el peligro, asociado a los agentes químicos, y la exposición potencial, calculada a partir de la canti-



dad y la frecuencia de utilización. En la figura B.1 se muestra el esquema a seguir para determinar el riesgo potencial.

B.1.1 Determinación de la clase de peligro

La determinación de la clase de peligro se realiza a partir de las frases R o H, que se pueden obtener de la ficha de datos de seguridad (FDS) o de la etiqueta. En el caso de que las frases de un producto químico den lugar a distintas clases de peligro, se elegirá la clase de peligro más elevada.

Cuando un producto, sustancia o mezcla, no tiene asignadas frases R o H, la atribución a una clase de peligro u otra se puede hacer a partir de los valores límite ambientales (VLA) expresados en mg/m^3 , dando preferencia a los valores límite de larga duración frente a los de corta duración.

En el caso de que tampoco tenga asignado ningún tipo de VLA:

- Si se trata de una sustancia, se le asigna la clase de peligro 1.
- Si se trata de una mezcla o preparado comercial, se le asigna la clase de peligro 1.
- En el caso de mezclas no comerciales que vayan a ser empleadas en la misma empresa en otros procesos, se utilizarán las frases R o H de los componentes. Para no sobreestimar el riesgo en este caso, conviene tener en cuenta las concentraciones de los componentes¹, tal y como se hace para las mezclas comerciales.

Para los materiales o productos comercializados no sujetos a la normativa de etiquetado, como son la madera, aleaciones, electrodos, etc., la clase de peligro se establece en función del agente químico emitido por el proceso.

¹ En la asignación de frases R a una mezcla o preparado comercial, a partir de las de los componentes, se tienen en cuenta los límites de concentración establecidos en la legislación vigente de clasificación, envasado y etiquetado [B.2 y B.3].

Clase de peligro	Frases R	Frases H	VLA mg/m ³ (1)	Materiales y procesos
1	Tiene frases R, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	Tiene frases H, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	> 100	
2	R36, R37, R38 R36/37, R36/38, R36/37/38 R37/38 R66, R67	H315, H319 H335 H336 EUH066	> 10 ≤ 100	Hierro / Cereal y derivados / Grafito / Material de construcción / Talco / Cemento / Composites / Madera de combustión tratada / Soldadura Metales-Plásticos / Material vegetal-animal
3	R20, R21, R22 R20/21, R20/22, R20/21/22 R21/22 R33, R34 R48/20, R48/21, R48/22, R48/20/21, R48/20/22, R48/21/22, R48/20/21/22 R62, R63, R64, R65 R68/20, R68/21, R68/22, R68/20/21, R68/20/22, R68/21/22, R68/20/21/22	H302, H304 H312 H314 (Corr. Cut. 1B y 1C) H332 H361, H361d, H361f, H361fd H362 H371 H373 EUH071	> 1 ≤ 10	Soldadura inoxidable Fibras cerámicas-vegetales Pinturas de plomo Muelas Arenas Aceites de corte y refrigerantes
4	R15/29 R23, R24, R25 R23/24, R23/25, R23/24/25, R24/25 R29, R31, R35 R39/23, R39/24, R39/25, R39/23/24, R39/23/25, R39/24/25, R39/23/24/25 R40, R41, R42, R43 R42/43 R48/23, R48/24, R48/25, R48/23/24, R48/23/25, R48/24/25, R48/23/24/25 R60, R61, R68	H301, H311 H314 (Corr. Cut. 1A) H317, H318 H331, H334 H341, H351 H360, H360F, H360FD, H360D, H360Df, H360Fd H370, H372 EUH031	> 0,1 ≤ 1	Maderas blandas y derivados Plomo metálico Fundición y afinaje de plomo
5	R26, R27, R28 R26/27, R26/28, R26/27/28, R27/28 R32, R39 R39/26, R39/27, R39/28, R39/26/27, R39/26/28, R39/26/27/28 R45, R46, R49	H300, H310 H330 H340 H350, H350i EUH032 EUH070	≤ 0,1	Amianto (2) y materiales que lo contienen Betunes y breas Gasolina (3) (combustible) Vulcanización Maderas duras y derivados (4)

(1) Cuando se trate de materia particulada, este valor se divide entre 10.

(2) Posee legislación específica obligatoria [B.4] y requiere de evaluación cuantitativa obligatoria por ser cancerígeno.

(3) Se refiere únicamente al trabajo en contacto directo con este agente.

(4) Se refiere a polvo de maderas considerado como cancerígeno [B.5].

Tabla B.1.- Clases de peligro en función de las frases R o H, los valores límite ambientales y los materiales y procesos.

En la tabla B.1 se muestran las cinco clases de peligro y los criterios para clasificar los agentes químicos dentro de las mismas. La peligrosidad se incrementa a medida que aumenta la clase de peligro; así, la clase 1 corresponde a los productos menos peligrosos, mientras que en la clase 5 están los productos más perjudiciales para la salud.

La tabla B.1 está modificada con respecto a la tabla original del INRS. En particular, se han efectuado los siguientes cambios:

- Se ha eliminado la frase R48 de la categoría 4, ya que siempre aparece combinada y, además, no tiene equivalencia con ninguna frase H de acuerdo con el Reglamento (CE) n° 1272/2008 [B.2].
- Se ha aumentado la clase de peligro para los cancerígenos, mutágenos y sensibilizantes. Es el caso de las frases R40, R42, R43, R42/43 y R68 que pasan de categoría 3 a 4 y las frases R45, R46 y R49 que pasan de 4 a 5.
- Se ha modificado la columna de materiales y procesos conforme a los cambios de categoría de las frases R.
- Se ha disminuido la clase de peligro de la frase R67, de la 3 a la 2, ya que, si una sustancia lleva la frase R67, es porque no cumple con los requisitos de clasificación como nociva por inhalación (R20).
- Se ha incluido una columna para asignar la clase de peligro en función de las frases H, basándose en la equivalencia entre frases R y frases H del Reglamento (CE) n° 1272/2008 [B.2] y decidiendo, en caso de duda, según nuestro criterio técnico.

B.1.2. Determinación de la clase de cantidad

Como se ha dicho anteriormente y a la vista del esquema de la figura B.1, para determinar el riesgo potencial, aparte de la clase de peligro, hay que conocer la exposición potencial. Para su cálculo, se utilizan dos variables: la cantidad relativa de producto y la frecuencia de utilización.

Clase de cantidad	$Q_i/Q_{\text{máx.}}$
1	<1%
2	≥1 - <5%
3	≥5 - <12%
4	≥12 - <33%
5	≥33 - 100%

Tabla B.2.- Clases de cantidad en función de la cantidad relativa utilizada.

La clase asignada en función de la cantidad utilizada, se calcula con el índice $Q_i/Q_{\text{máx}}$ (en porcentaje) que resulta de dividir la cantidad consumida de agente químico i (Q_i) entre la cantidad correspondiente al agente químico que tiene un mayor consumo ($Q_{\text{máx}}$). Siempre que sea posible, el periodo de referencia debe ser anual, a no ser que haya algún motivo para tomar otro periodo, por ejemplo: que los procesos varíen según campañas.

El criterio para asignar a un producto químico una de las cinco clases de cantidad es el que se recoge en la tabla B.2.

La clase de frecuencia de utilización se determina según los parámetros de la tabla B.3. Existen cuatro clases de frecuencia de utilización en función de que el uso del producto químico sea ocasional, intermitente, frecuente o permanente.

Utilización	Ocasional	Intermitente	Frecuente	Permanente
Día	≤ 30 min	>30 - ≤120 min	>2 - ≤6 h	>6 h
Semana	≤ 2 h	>2-8 h	1-3 días	> 3 días
Mes	1 día	2-6 días	7-15 días	> 15 días
Año	≤ 15 días	> 15 días - ≤ 2 meses	>2 - ≤ 5 meses	> 5 meses
Clase	1	2	3	4
	0: El agente químico no se usa hace al menos un año. El agente químico no se usa más			

Tabla B.3.- Clases de frecuencia de utilización.

La exposición potencial se determina combinando las clases obtenidas según la cantidad y la frecuencia de utilización. Tal y como se aprecia en la tabla B.4, estas combinaciones dan lugar a cinco clases de exposición potencial.

Clase de cantidad						
5	0	4	5	5	5	
4	0	3	4	4	5	
3	0	3	3	3	4	
2	0	2	2	2	2	
1	0	1	1	1	1	
	0	1	2	3	4	Clase de frecuencia

Tabla B.4.- Determinación de las clases de exposición potencial.

Con los datos obtenidos hasta ahora ya es posible calcular el riesgo potencial, que resultará de la combinación de las clases de peligro y de exposición potencial, tal y como se muestra en la tabla B.5. A partir del riesgo potencial, se establecen las prioridades siguiendo los criterios de la tabla B.6, concluyendo así la jerarquización.

B.1.3. Determinación de la clase de frecuencia

B.1.4. Determinación de la clase de exposición potencial

B.1.5. Determinación de la puntuación de riesgo potencial

Clase de exposición potencial						
5	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000	
4	30	300	3.000	30.000	300.000	
3	10	100	1.000	10.000	100.000	
2	3	30	300	3.000	30.000	
1	1	10	100	1.000	10.000	
	1	2	3	4	5	Clase de peligro

Tabla B.5.- Puntuación del riesgo potencial.

Puntuación / producto	Prioridad
>10.000	Elevada
>100 - ≤10.000	Media
≤100	Baja

Tabla B.6.- Establecimiento de prioridades en función de la puntuación del riesgo potencial por producto.

Cuando la puntuación del riesgo potencial es la misma para dos agentes químicos, la prioridad se establecerá en función del que tiene la clase de peligro más alta.

De esta forma, la jerarquización permite clasificar los agentes químicos peligrosos, los lugares de trabajo o las fases que comprenden una tarea o procedimiento que necesitan una actuación prioritaria.

Las puntuaciones obtenidas para los distintos agentes químicos se pueden sumar, por ejemplo por lugares de trabajo, obteniendo así una puntuación global que permite identificar cuál es el lugar de trabajo con un nivel de riesgo potencial de exposición más alto y centrar, a su vez, la atención en los agentes químicos que tienen mayor puntuación.

Si las puntuaciones de los agentes químicos se ordenan en orden decreciente y se calcula el índice parcial acumulado, expresado en porcentaje del total, este índice permite dar menos importancia a los agentes químicos que no aporten un porcentaje significativo al índice global. Así, de una forma práctica, a nuestro criterio, se podría prescindir, en la mayoría de casos, de los que en su conjunto signifiquen apenas un 20%, salvo los que estén regulados por una legislación específica.

En la misma línea, a nuestro juicio, se podría dar por finalizada la evaluación en esta etapa cuando el nivel de prioridad obtenido para todos los riesgos identificados sea bajo. Para que esto sea así, tienen que darse simultáneamente las condiciones siguientes:

- que la clase de peligro sea siempre inferior a 3 y

- que la puntuación del riesgo potencial sea menor o igual a 100 para todos ellos.

La jerarquización también se podría aplicar en la sustitución de un agente químico por otro, para seleccionar el sustituto adecuado que suponga el menor riesgo posible (ver capítulo 1 “Identificación de peligros” y ejemplo 2 de este anexo).

De una forma u otra, como se puede apreciar, la jerarquización se hace en base a parámetros que se pueden obtener fácilmente y constituye una buena ayuda para abordar la evaluación de forma planificada y centrada en los riesgos más importantes.

B.2. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

El ejemplo desarrollado a continuación está basado en el del INRS [B.1] modificado con fines didácticos.

Se desea jerarquizar los riesgos potenciales existentes en la preparación de una serie de productos: de limpieza, adhesivos, recubrimientos, sprays, etc.

El proceso se realiza en dos locales: el local de fabricación, en el que se emplean materias primas, y el local de acondicionamiento de los productos finales. En el local de fabricación hay mezcladores de diferentes tamaños y la producción se efectúa por lotes. Cada mezclador se encuentra unido por una tubería a un contenedor de reserva que alimenta a las cadenas de acondicionamiento y es allí donde se prepara el producto final en toneles, bidones o cartuchos de aerosol. Los diferentes gases propelentes se sirven a demanda del local de acondicionamiento.

El inventario de los productos empleados en ambos locales se encuentra en la tabla B.7, junto con sus frases R, la cantidad consumida por año y la frecuencia de utilización [B.1].

Para realizar la jerarquización de riesgos, el estudio se efectuará para los dos locales de forma conjunta (tabla B.8) y por separado (tablas B.9 y B.10), de este modo se establecerán dos grupos de riesgo homogéneo.

Para facilitar el estudio, las tablas B.8, B.9 y B.10 se ordenan por orden decreciente de puntuación de riesgo potencial. En estas tablas la columna riesgo potencial es la contribución porcentual de cada producto al riesgo total, que se obtiene sumando la columna de puntuación de riesgo potencial, mientras que la de riesgo potencial acumulado representa el porcentaje de riesgo de ese producto y los anteriores.

B.2.1. Ejemplo 1: Jerarquización de riesgos potenciales

En la tabla B.8 se dan los valores de las variables obtenidos para todas las materias primas y productos finales. En el caso del GDP400, que no tiene ni frases R ni VLA, se le ha asignado la clase de peligro 1.

Proceso	Materia prima	N° CAS	Frases R	Cantidad (Tn/año)	Frecuencia de uso
Fabricación	1-metoxi-2-propanol	107-98-2	10-67	1600	A diario
	Cloruro de metileno	75-09-2	40	320	Días a la semana
	White spirit	64742-82-1	65	300	Horas a la semana
	Xilenos	1330-20-7	10-20/21-38	260	Días a la semana
	Éter diglicídilico	2238-07-5	19-21/22-23-34	150	Días a la semana
	Metanol	67-56-1	11-23/24/25-39/23/24/25	80	Días a la semana
	Etanol	64-17-5	11	2	A diario
Proceso	Productos finales	Componentes	Frases R	Cantidad (Tn/año)	Frecuencia de uso
Acondicionamiento	DRG01L	Cloruro de metileno, metanol	20/21/22-68/20/21/22-40	300	Días a la semana
	OP9022	1-metoxi-2-propanol, White spirit	10-65-66	250	Días a la semana
	DCT	xileno y otro	10-20/21-38	250	Días a la semana
	GDP400	tetrafluoroetano difluoroetano	-	100	Horas a la semana

Tabla B.7.- Inventario de productos químicos empleados en los dos locales.

El análisis de los resultados del estudio conjunto de los dos lugares de trabajo (tabla B.8), da lugar a las conclusiones siguientes:

- Hay dos productos a considerar de forma prioritaria (uno de fabricación y otro de acondicionamiento) y que comportan un índice de riesgo potencial acumulado del 63,8%.
- Hay siete productos a examinar con prioridad media (cinco de fabricación y dos de acondicionamiento).
- Hay dos con prioridad baja (uno de fabricación y uno de acondicionamiento)

Los cuatro primeros productos de la tabla B.8 representan el 86% del riesgo potencial y es en éstos en los que se debe centrar el estudio posterior.

De este estudio se puede obtener más información fijándonos en la frase R responsable de la clase de peligro asignada. Así, en este caso, para el cloruro de metileno (R40), el éter diglicidílico (R23) y el DRG01L (R40) el estudio debería continuar por la evaluación por inhalación, mientras que, en el metanol (23/24/25, 39/23/24/25), el estudio debería incluir, además de la evaluación por inhalación, la de contacto con la piel.

En las tablas B.9 y B.10 se encuentra por separado el estudio de los locales, fabricación y acondicionamiento, respectivamente. En estas tablas la determinación de la clase de cantidad se ha hecho por comparación con el producto más utilizado en cada local.

Proceso	Materia prima / Producto final	Clase de peligro	Clase de cantidad	Clase de frecuencia	Clase de exposición potencial	Puntuación riesgo potencial	Orden de prioridad	Riesgo potencial	Riesgo potencial acumulado
Fabricación	Cloruro de metileno	4	4	3	4	30.000	Elevada	32,3%	32,3%
Acondicionamiento	DRG01L	4	4	3	4	30.000	Elevada	32,3%	64,5%
Fabricación	Éter diglicidílico	4	3	3	3	10.000	Media	10,8%	75,3%
Fabricación	Metanol	4	3	3	3	10.000	Media	10,8%	86,0%
Fabricación	White spirit	3	4	2	4	3.000	Media	3,2%	89,2%
Fabricación	Xilenos	3	4	3	4	3.000	Media	3,2%	92,5%
Acondicionamiento	OP9022	3	4	3	4	3.000	Media	3,2%	95,7%
Acondicionamiento	DCT	3	4	3	4	3.000	Media	3,2%	98,9%
Fabricación	1-metoxi-2-propanol	2	5	4	5	1.000	Media	1,1%	100,0%
Acondicionamiento	GDP400	1	3	2	3	10	Baja	0,0%	100,0%
Fabricación	Etanol	1	1	4	1	1	Baja	0,0%	100,0%

Tabla B.8.- Resumen de la jerarquización para los dos locales conjuntamente.

En el local de fabricación los tres primeros productos representan el 87,7% del riesgo potencial, mientras que en el de acondicionamiento, el primer producto supone el 83,3%. Por lo tanto, se llegaría a las mismas conclusiones que en el estudio conjunto de los locales.

Por último, si el estudio se hubiese hecho determinando el riesgo potencial total en ambos locales (tabla B.11), la evaluación debería continuar por el local de acondicionamiento.

Materia prima	Clase de peligro	Clase de cantidad	Clase de frecuencia	Clase de exposición potencial	Puntuación riesgo potencial	Orden de prioridad	Riesgo potencial	Riesgo potencial acumulado
Cloruro de metileno	4	4	3	4	30.000	Elevada	52,6%	52,6%
Éter diglicídilico	4	3	3	3	10.000	Media	17,5%	70,2%
Metanol	4	3	3	3	10.000	Media	17,5%	87,7%
White spirit	3	4	2	4	3.000	Media	5,3%	93,0%
Xilenos	3	4	3	4	3.000	Media	5,3%	98,2%
1-metoxi-2-propanol	2	5	4	5	1.000	Media	1,8%	100,0%
Etanol	1	1	4	1	1	Baja	0,0%	100,0%

Tabla B.9.- Resumen de la jerarquización para el local de fabricación.

Productos finales	Clase de peligro	Clase de cantidad	Clase de frecuencia	Clase de exposición potencial	Puntuación riesgo potencial	Orden de prioridad	Riesgo potencial	Riesgo potencial acumulado
DRG01L	4	5	3	5	100.000	Elevada	83,3%	83,3%
OP9022	3	5	3	5	10.000	Media	8,3%	91,6%
DCT	3	5	3	5	10.000	Media	8,3%	100,0%
GDP400	1	4	2	4	30	Baja	0,0%	100,0%

Tabla B.10.- Resumen de la jerarquización para el local de acondicionamiento.

Proceso	Número total de productos	Puntuación de riesgo potencial	Riesgo potencial del proceso
Fabricación	7	57.001	32%
Acondicionamiento	4	120.030	68%

Tabla B.11.- Puntuación final de riesgo por locales.

Se desea estudiar la propuesta de sustitución de Cídex, producto químico utilizado en la desinfección de instrumentos clínicos, por Aperlán para lo cual se pretende utilizar el método de jerarquización, siempre teniendo en cuenta las limitaciones de éste señaladas en el capítulo 1, con respecto a la sustitución de AQ, ya que sólo considera los efectos para la salud.

Para evaluar la operación se ha recogido información sobre la peligrosidad, las propiedades químicas y las condiciones de uso de estos productos (ver tabla B.12).

B.2.2. Ejemplo 2: La jerarquización como método de sustitución

Producto químico	Componentes (Nº CAS)	Frases R del preparado	Cantidad	Frecuencia
Cídex	Glutaraldehído (2,5%) (111-30-8)	20/22 37/38 42/43	100 litros	20 minutos 5 veces/día
Aperlán	5-20% Peróxido de hidrógeno (7732-18-5) 1-5% Ácido peracético (79-21-0)	36/37/38	100 litros	20 minutos 5 veces/día

Tabla B.12.- Información para evaluar el riesgo potencial.

En la tabla B.13 se plasma el resultado de la evaluación simplificada del riesgo por inhalación.

Producto	Clase de peligro (tabla B.1)	Clase de cantidad (tabla B.2)	Clase de frecuencia (tabla B.3)	Clase de exposición potencial (tabla B.4)	Puntuación del riesgo potencial (tabla B.5)
Cídex	4	3(*)	2 (Intermitente)	3	10.000
Aperlán	2	3(*)	2 (Intermitente)	3	100

(*) Clase 3 arbitraria para los dos ya que, al ser productos de desinfección, no son mayoritarios.

Tabla B.13.- Nivel de riesgo potencial para el proceso de esterilización con Cídex y Aperlán.

De acuerdo con la tabla B.13, se obtiene una puntuación del riesgo potencial de 10.000 para el Cídex y de 100 para el Aperlán. La interpretación de estos valores se extrae de la tabla B.6 de forma que, para el Cídex, la prioridad en función del riesgo potencial es media y, para el Aperlán, baja.

La diferencia de puntuación entre ambos productos se debe a que el Cídex tiene la frase R42/43, posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel, mientras que el segundo no la tiene. Es decir, la sustitución de Cídex por Aperlán sería adecuada desde el punto de vista preventivo.

BIBLIOGRAFÍA

B.1.- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS). Metodología simplificada del INRS. ND 2233-200-05 Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique. Disponible en web: <http://www.inrs.fr/>

B.2.- Reglamento (CE) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, 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° 1907/2006.

B.3.- Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, y modificaciones posteriores, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.

B.4.- Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

B.5.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición durante el trabajo a agentes cancerígenos o mutágenos. Madrid, 2005.

Evaluación simplificada del riesgo por inhalación (I): método basado en el “COSHH Essentials” del HSE

Anexo

C

C.1. INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS SIMPLIFICADOS DE EVALUACIÓN

Los métodos simplificados sirven para efectuar un primer diagnóstico de la situación a evaluar; por lo tanto, se pueden utilizar para realizar la estimación inicial, es decir, la primera etapa del proceso descrito en la norma UNE-EN 689 [C.1] (ver capítulo 5). Si, a partir de este estudio, no se pueden obtener conclusiones claras en cuanto a que la exposición está muy por debajo del valor límite o por encima del mismo, habría que continuar con el estudio básico o el estudio detallado descritos en los capítulos 6 y 7, respectivamente.

La aplicación de estos métodos puede servir para concluir la evaluación cuando el riesgo es bajo y se trata de casos sencillos como, por ejemplo, peluquerías o actividades tales como mantenimiento, limpieza de oficinas, situaciones de emergencia (fugas), carga y descarga de productos químicos, recogida de productos derramados, que no forman parte del proceso productivo, ya que las tareas que se realizan no requieren, generalmente, una evaluación con medición ambiental.

En otras ocasiones, su aplicación ayudará a establecer o mejorar las medidas preventivas, después de lo cual habría que volver a evaluar.

Los métodos simplificados también se utilizan para filtrar tareas, puestos o agentes químicos que requieren un estudio pormenorizado y un seguimiento posterior; es decir, para realizar una jerarquización y establecer prioridades de acción (ver capítulo 4 y anexo B).

Sin embargo, su aplicación no es suficiente cuando se trata de situaciones complejas en cuyo caso habrá que continuar con una evaluación detallada. Es necesaria la evaluación cuantitativa de la exposición cuando los agentes químicos implicados son cancerígenos, mutágenos, tóxicos para la reproducción o sensibilizantes, tal y como indica la Guía Técnica de Agentes Químicos [C.2].

Los métodos simplificados presentan las siguientes ventajas:

- Sencilla comprensión y aplicación, ya que utilizan una información fácilmente obtenible y fiable.
- Aplicables a sustancias que no tienen establecido valor límite ambiental.
- Útiles para las PYME.
- Permiten seleccionar un pequeño grupo de todos los agentes químicos inventariados con riesgo potencial significativo y abordar su estudio posterior de una forma más detallada.
- Pueden facilitar la elección del método a seguir cuando sea necesaria la determinación cuantitativa. Así, en el caso de haber seguido el método y de que sea necesario muestrear un agente pero del análisis de las condiciones se sospeche fundadamente que no está presente y, si lo está, en cantidades no significativas, se puede emplear un método de lectura directa sin efectuar un muestreo personal o realizar mediciones en el caso más desfavorable [C.1].

Entre las limitaciones se pueden destacar:

- No son aplicables al caso de medicamentos, ni a productos de descomposición térmica (ver capítulo 5).
- Pueden subestimar el riesgo cuando el agente químico tiene un valor límite ambiental muy bajo, inferior a $0,1 \text{ mg/m}^3$, ya que es fácil que se llegue a alcanzar en el ambiente una concentración próxima al valor de referencia, aunque su tendencia a pasar al ambiente sea baja.
- Pueden subestimar el riesgo cuando el agente químico puede presentarse al mismo tiempo en forma de vapor y en forma de polvo.
- No son adecuados para valorar exposiciones pico.
- No sirven para evaluar la aditividad de efectos de agentes químicos
- No consideran de un modo cuantitativo los tiempos de exposición.
- No indican cómo evaluar la vía dérmica.
- En caso de existir medidas de protección individual y colectiva, o no las consideran o no se evalúa, caso por caso, la eficacia y suficiencia de las mismas.

C.2. MÉTODO BASADO EN EL MÉTODO DEL HSE

A continuación, se expone una metodología que está basada en el “COSHH Essentials” del *Health and Safety Executive* (HSE). La me-

metodología original [C.3] establece unos niveles de control y ofrece fichas para reducir el riesgo teniendo en cuenta no sólo el nivel de control obtenido, sino también, en ciertas ocasiones, la tarea, la operación o el proceso evaluado. Esta metodología también está desarrollada en la Guía Europea [C.4] y en la NTP 750 [C.5]. Existe una versión modificada que se puede consultar en el texto de J. J. Moreno Hurtado [C.6].

Esta metodología no se diseñó para la evaluación de riesgos, como tal, sino para determinar el nivel de control necesario de un proceso. En nuestra opinión, el método queda muy incompleto si no se utiliza con las fichas que lo complementan, que adaptan el nivel de control al riesgo concreto, y es nuestra recomendación que se utilice tal y como fue diseñado originalmente. No obstante, dada la gran cantidad de metodologías basadas en el método [C.4, C.5, C.6], se ha incluido en este anexo.

La utilización de este método permite conocer el nivel de control necesario a aplicar en función de los riesgos potenciales y proponer, en consecuencia, las medidas adicionales en los casos en que las adoptadas de partida sean insuficientes.

Este método no se diseñó originalmente para la evaluación en los siguientes casos:

- de productos generados durante el proceso como, por ejemplo, humos de soldadura
- de productos de origen natural, como polvo de cereales
- de plomo y amianto, porque existe una legislación específica en el Reino Unido
- de gases
- de plaguicidas o medicamentos
- del riesgo de incendio o explosión, ni de reacciones químicas peligrosas

El nivel de riesgo potencial se determina a partir de las variables de la figura C.1:

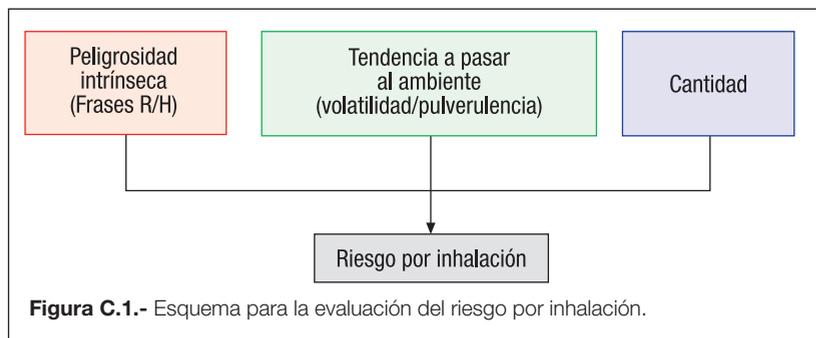


Figura C.1.- Esquema para la evaluación del riesgo por inhalación.

C.2.1. Peligrosidad intrínseca de la sustancia

La peligrosidad intrínseca de la sustancia se clasifica en cinco categorías: A, B, C, D y E, en función de las frases R o H, tal y como se indica en la tabla C.1. El nivel de peligrosidad aumenta de A hasta E. Cuando las frases R o H de una sustancia dan lugar a distinto nivel de peligrosidad, se elegirá el mayor de ellos.

La tabla C.1 está basada en la tabla del HSE [C.7], aunque incluye algunas modificaciones que se indican a continuación de la misma.

Nivel de peligrosidad	Frases R	Frases H
A	Todas las sustancias que no tengan asignadas frases R que correspondan a los grupos B a E	H305, H333, H336 Todas las sustancias que no tengan asignadas frases H que correspondan a los grupos B a E
B	R20 R20/21, R20/22, R20/21/22 R68/20, R68/20/21, R68/20/22, R68/20/21/22	H332 H371
C	R23 R23/24, R23/25, R23/24/25 R37 R36/37, R36/37/38, R37/38 R39/23, R39/23/24, R39/23/25, R39/23/24/25 R48/20, R48/20/21, R48/20/22, R48/20/21/22	H331 H335 H370 H373
D	R26 R26/27, R26/28, R26/27/28 R39/26, R39/26/27, R39/26/28, R39/26/27/28 R40 R48/23, R48/23/24, R48/23/25, R48/23/24/25 R60 R61 R62 R63 R64	H330 H351 H360 H361 H362 H372
E	R42 R42/43 R45 R46 R49 R68	H334 H340 H341 H350

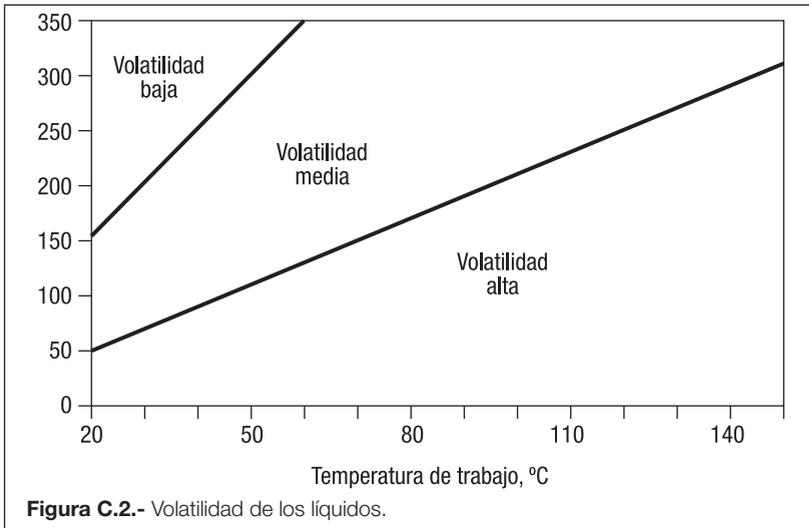
Tabla C.1.- Categorías para establecer la peligrosidad intrínseca de las sustancias.

Las modificaciones incluidas en la tabla C.1, con respecto a la tabla original del HSE, son las siguientes:

- Se han eliminado las frases R y H no aplicables en el caso de inhalación, es decir, las relacionadas con las vías dérmica, ocular y digestiva.
- Se ha eliminado de la categoría C la frase R68/23/24/25 porque no está contemplada en la legislación española.

La tendencia a pasar al ambiente se clasifica en alta, media y baja. Para los líquidos se determina en función del punto de ebullición y la temperatura de trabajo (figura C.2), mientras que, para los sólidos, se valora su tendencia a formar polvo (tabla C.2).

C.2.2. Tendencia a pasar al ambiente



Descripción del material sólido	Tendencia a formar polvo
Polvos finos y de baja densidad. Al usarlos se observan nubes de polvo que permanecen en suspensión varios minutos. Ejemplos: cemento, negro de humo, yeso, etc.	Alta
Sólidos granulares o cristalinos. Se produce polvo durante su manipulación, que se deposita rápidamente, pudiéndose observar sobre las superficies adyacentes. Ejemplo: polvo de detergente.	Media
Sustancias en forma de granza (pellets) que no tienen tendencia a romperse. No se aprecia polvo durante su manipulación. Ejemplos: granza de PVC, escamas, pepitas, etc.	Baja

Tabla C.2.- Pulverulencia de los sólidos.

C.2.3. Cantidad utilizada por operación La cantidad utilizada de sustancia por operación se clasifica en pequeña, mediana y grande siguiendo el criterio de la tabla C.3.

Clase de cantidad	Cantidad utilizada
Pequeña	Gramos o mililitros
Mediana	Kilogramos o litros
Grande	Toneladas o metros cúbicos

Tabla C.3.- Cantidad de sustancia utilizada por operación.

C.2.4. Nivel de riesgo potencial A partir de las variables anteriores se calcula el nivel de riesgo potencial siguiendo lo indicado en la tabla C.4.

Grado de peligrosidad	Cantidad usada	Baja volatilidad o pulverulencia	Media volatilidad	Media pulverulencia	Alta volatilidad o pulverulencia
A	Pequeña	1	1	1	1
	Mediana	1	1	1	2
	Grande	1	1	2	2
B	Pequeña	1	1	1	1
	Mediana	1	2	2	2
	Grande	1	2	3	3
C	Pequeña	1	2	1	2
	Mediana	2	3	3	3
	Grande	2	4	4	4
D	Pequeña	2	3	2	3
	Mediana	3	4	4	4
	Grande	3	4	4	4
E	En todas las situaciones con sustancias de este grado de peligrosidad, se considerará que el nivel de riesgo es 4.				

Tabla C.4.- Determinación del nivel de riesgo potencial.

En función del nivel de riesgo obtenido se deciden las acciones a tomar para controlar la exposición (tabla C.5).

Nivel de riesgo	Acciones a tomar
1	Ventilación general.
2	Medidas específicas de prevención y protección, por ejemplo, extracción localizada.
3	Confinamiento o sistemas cerrados. Mantener, siempre que sea posible, el proceso a una presión inferior a la atmosférica para dificultar el escape de las sustancias.
4	Cumplir con la legislación, cuando se trate de sustancias cancerígenas y/o mutágenas de categorías 1 y 2. Adoptar medidas específicas. Realizar una evaluación detallada de la exposición. Verificar con mayor frecuencia la eficacia de las instalaciones de control.
Tabla C.5.- Acciones a tomar según el nivel de riesgo.	

En nuestra opinión, si el nivel de riesgo estimado es 1 y ya están adoptadas las medidas requeridas, se podrá concluir la evaluación.

Si el nivel obtenido es 2 o 3, una vez implantadas las medidas de control adecuadas, o corregidas las existentes, en el caso de que haya sido necesario, se procederá:

- a continuar con la evaluación (estudio básico, ver capítulo 6, o estudio detallado, ver capítulo 7) cuando exista sospecha de estar ante una exposición significativa, para decidir si son necesarias medidas adicionales y/o mediciones periódicas o,
- en caso contrario, por ejemplo, cuando las medidas de control recomendadas por la tabla C.5, sean inferiores a las ya implantadas, se podría dar por concluida la evaluación.

De cualquier forma, habrá que comprobar periódicamente el buen funcionamiento de las medidas de control y su suficiencia para mantener la exposición en condiciones aceptables.

En el nivel 4 se encuentran sustancias altamente tóxicas o sustancias de toxicidad moderada en grandes cantidades que se pueden liberar fácilmente a la atmósfera, por lo que, en estos casos, está indicado realizar una evaluación detallada de la exposición, con mediciones ambientales, siempre que sean posibles.

C.3. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Se desea evaluar el riesgo potencial en la desinfección de instrumentos clínicos con dos productos químicos, Cídex y Aperlán. Para evaluar la operación se ha recogido información sobre la peligro-

sidad, las propiedades químicas y las condiciones de uso (ver tabla C.6). En la tabla C.7 se encuentra el resultado de la evaluación simplificada del riesgo por inhalación.

Producto químico	Componentes (N° CAS)	Frases R del preparado	Cantidad	Volatilidad
Cídex	Glutaraldehído (2,5%) (111-30-8)	20/22 37/38 42/43	2 litros	Temperatura de trabajo: 25°C Punto de ebullición: 100°C
Aperlán	5-20% Peróxido de hidrógeno (7722-84-1) 1-5% Ácido peracético (79-21-0)	36/37/38	2 litros	Temperatura de trabajo: 25°C Punto de ebullición: 100°C

Tabla C.6.- Información para evaluar el riesgo potencial.

Producto	Categoría de peligro (tabla C.1)	Clase de cantidad (tabla C.4)	Tendencia a pasar al ambiente (figura C.2)	Nivel de riesgo potencial (tabla C.5)
Cídex	E	Mediana	Media	4
Aperlán	C	Mediana	Media	3

Tabla C.7.- Nivel de riesgo potencial para el proceso de desinfección con Cídex y Aperlán.

Al glutaraldehído (Cídex) se le asigna la categoría de peligro superior (E) por tener la frase R42/43 que indica que es un agente sensibilizante. Por lo tanto, la operación de desinfección con Cídex tiene un nivel de riesgo potencial 4. Se trata de un caso en el que hay que adoptar medidas específicas y realizar una evaluación cuantitativa de la exposición.

La desinfección con Aperlán tiene un nivel de riesgo potencial 3, por lo tanto, la acción a tomar sería el confinamiento del agente químico. Después de la adopción de medidas, si no estaban ya adoptadas, habría que realizar una nueva evaluación.

Teniendo en cuenta el nivel de riesgo obtenido y la peligrosidad de los productos, el método original [C.3] sugiere la sustitución de dichos productos por otros menos perjudiciales. Además, para este caso en concreto, ofrece fichas de control para el nivel de riesgo, vigilancia de la salud (asma), el riesgo de contacto con piel y ojos y la selección de equipos de protección individual.

BIBLIOGRAFÍA

C.1.- Norma UNE-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición. AENOR 1996.

C.2.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.

C.3.- HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (HSE). Control of substances hazardous to Health - COSHH Essentials. 2003. Disponible en web: <http://www.coshh-essentials.org.uk>

C.4.- COMUNIDADES EUROPEAS. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Guía Práctica de la Directiva sobre Agentes Químicos 98/24/CE.

C.5.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP nº 750. Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. Metodología simplificada.

C.6.- José Joaquín Moreno Hurtado. *El proceso de gestión de los riesgos higiénicos por exposición a agentes químicos*. Junta de Andalucía, 2008. ISBN 978-84-691-4736-8.

C.7.- HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (HSE). The technical basis for COSHH Essentials: Easy steps to control chemicals. 2009. Disponible en web: <http://www.coshh-essentials.org.uk/assets/live/CETB.pdf>

Evaluación simplificada del riesgo por inhalación (II): método basado en el método del INRS

Anexo

D

En el anexo C, que también está dedicado a los métodos simplificados de evaluación, se dan directrices sobre la aplicación de este tipo de métodos y se contemplan sus ventajas e inconvenientes. Conviene, por tanto, considerar estos aspectos antes de aplicar el método que se explica a continuación.

D.1. MÉTODO SIMPLIFICADO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR INHALACIÓN

El método que se expone a lo largo de este anexo está basado en el propuesto por el *Institut National de Recherche et de Sécurité* (INRS) [D.1]. Este método es más completo que el descrito en el anexo C puesto que la evaluación se realiza considerando más parámetros, entre ellos, el tipo de procedimiento y la ventilación.

Como etapa previa a la aplicación de este método, se recomienda realizar la jerarquización de riesgos, tal y como se indica en el capítulo 4 y en el anexo B.

Este método constituye una forma muy adecuada de efectuar la estimación inicial (ver capítulo 5), aunque no es la única posible.

Este procedimiento no es aplicable a:

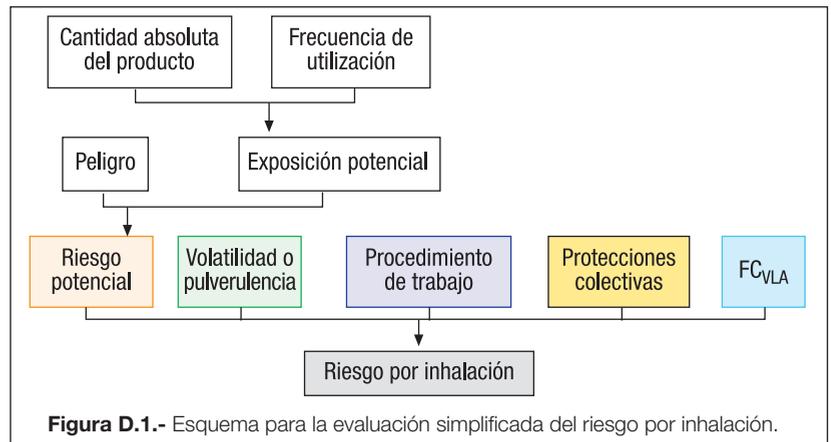
- medicamentos,
- productos de descomposición térmica, lo que puede ocurrir, por ejemplo, en el tratamiento térmico de plásticos (este hecho está indicado, para algunos casos, con las notas “l” y “m” en el Documento Límites de exposición profesional para agentes químicos en España [D.2]); cuando se puedan formar nitrosaminas, porque existan productos precursores (indicados con la nota “f” [D.2]) y agentes nitrosantes; cuando se pue-

dan formar hidrocarburos policíclicos aromáticos; cuando se pueda formar fosgeno a partir de hidrocarburos clorados, etc.

La evaluación simplificada del riesgo por inhalación de agentes químicos se realiza a partir de las siguientes variables:

- Riesgo potencial.
- Propiedades físico-químicas (la volatilidad o la pulverulencia, según el estado físico).
- Procedimiento de trabajo.
- Medios de protección colectiva (ventilación).
- Un factor de corrección (FC_{VLA}), cuando el valor límite ambiental (VLA) del agente químico (AQ) sea muy pequeño, inferior a $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Para cada variable se establecen unas clases y una puntuación asociada a cada clase. La puntuación del riesgo se hace a partir de la puntuación obtenida para estas cuatro variables y el factor de corrección que sea aplicable. El esquema a seguir se encuentra en la figura D.1.



El método original del INRS [D.1] considera el peligro del agente químico en lugar del riesgo potencial, porque la cantidad y la frecuencia ya se tienen en cuenta en la etapa de jerarquización. Sin embargo, dado que en este texto las etapas de jerarquización y evaluación del riesgo por inhalación se consideran de forma independiente, se ha convenido emplear, para determinar el riesgo por inhalación, la variable riesgo potencial que engloba el peligro, la cantidad absoluta y la frecuencia de utilización.

Además, se ha introducido un factor de corrección en función del VLA (FC_{VLA}), que no se utilizaba en el procedimiento del INRS [D.1], por los motivos que se indican más adelante.

El cálculo del riesgo potencial se hace a partir del peligro, la cantidad absoluta de agente químico y la frecuencia de utilización, tal y como se indica en el esquema de la figura D.1. Esta parte del esquema es similar al utilizado en el anexo B “Jerarquización de riesgos para la salud. Ejemplos de aplicación” (figura B.1), con la diferencia de que aquí las cantidades que se utilizan son absolutas. El motivo de que se utilice aquí la cantidad absoluta, en lugar de la relativa, es porque en este caso no se pretende jerarquizar el riesgo potencial, sino obtener una estimación semicuantitativa.

D.1.1. Determinación del riesgo potencial

D.1.1.1. Determinación de la clase de peligro

Las clases de peligro se establecen siguiendo los criterios de la tabla D.1. Para asignar una clase de peligro a un agente químico es necesario conocer sus frases R o H.

Cuando un producto, sustancia o mezcla, no tiene asignadas frases R o H, la atribución a una clase de peligro u otra se puede hacer a partir de los VLA expresados en mg/m^3 , dando preferencia a los valores límite de larga duración frente a los de corta duración.

En el caso de que tampoco tenga asignado ningún tipo de VLA:

- Si se trata de una sustancia, se le asigna la clase de peligro 1.
- Si se trata de una mezcla o preparado comercial, se le asigna la clase de peligro 1.
- En el caso de mezclas no comerciales que vayan a ser empleadas en la misma empresa en otros procesos, se utilizarán las frases R o H de los componentes. Para no sobreestimar el riesgo en este caso, conviene tener en cuenta las concentraciones de los componentes¹, tal y como se hace para las mezclas comerciales.

Para los materiales o productos comercializados no sujetos a la normativa de etiquetado, como son madera, aleaciones, electrodos, etc., la clase de peligro se establece en función del agente químico emitido por el proceso.

¹ En la asignación de frases R a una mezcla o preparado comercial, a partir de las de los componentes, se tienen en cuenta los límites de concentración establecidos en la legislación vigente de clasificación, envasado y etiquetado [D.3 y D.4].

Clase de peligro	Frases R	Frases H	VLA mg/m ³ (1)	Materiales y procesos
1	Tiene frases R, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	Tiene frases H, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	> 100	
2	R37 R36/37, R37/38, R36/37/38 R67	H335 H336	> 10 ≤ 100	Hierro / Cereal y derivados / Grafito / Material de construcción / Talco / Cemento / Composites / Madera de combustión tratada / Soldadura metales-plásticos / Material vegetal-animal
3	R20 R20/21, R20/22, R20/21/22 R33 R48/20, R48/20/21, R48/20/22, R48/20/21/22 R62, R63, R64, R65 R68/20, R68/20/21, R68/20/22, R68/20/21/22	H304 H332 H361 H361d H361f H361fd H362 H371 (2) H373 (2) EUH071	> 1 ≤ 10	Soldadura inoxidable Fibras cerámicas-vegetales Pinturas de plomo Muelas Arenas Aceites de corte y refrigerantes
4	R15/29 R23 R23/24, R23/25, R23/24/25 R29, R31 R39/23, R39/23/24, R39/23/25, R39/23/24/25 R40 R42 R42/43 R48/23, R48/23/24, R48/23/25, R48/23/24/25 R60, R61, R68	H331 H334 H341 H351 H360 H360F H360FD H360D H360Df H360Fd H370 (2) H372 (2) EUH029 EUH031	> 0,1 ≤ 1	Maderas blandas y derivados Plomo metálico Fundición y afinaje de plomo
5	R26 R26/27, R26/28, R26/27/28, R32, R39 R39/26 R39/26/27, R39/26/28, R39/26/27/28 R45, R46, R49	H330 H340 H350 H350i EUH032 EUH070	≤ 0,1	Amianto (3) y materiales que lo contienen Betunes y breas Gasolina (4) (carburante) Vulcanización Maderas duras y derivados (5)

(1) Cuando se trate de materia particulada, este valor se divide entre 10.

(2) Únicamente si la frase especifica vía inhalatoria. Si no especifica ninguna vía, se recomienda consultar las frases R para comprobar a qué vía o vías se refiere.

(3) Posee legislación específica obligatoria [D.5] que requiere evaluación cuantitativa.

(4) Se refiere únicamente al trabajo en contacto directo con este agente.

(5) Se refiere a polvo de maderas considerado como cancerígeno [D.6].

Tabla D.1.- Clases de peligro en función de las frases R, las frases H, los valores límite ambientales y los materiales y procesos.

La tabla D.1 está modificada con respecto a la tabla original del INRS. En particular, se han efectuado los siguientes cambios:

- Se han eliminado las frases R no aplicables en el caso de inhalación.
- Se ha eliminado la frase R48 de la categoría 4, ya que siempre aparece combinada y, además, no tiene equivalencia con ninguna frase H de acuerdo con el Reglamento (CE) n° 1272/2008 [D.3].
- Se ha aumentado la clase de peligro para los cancerígenos, mutágenos y sensibilizantes por inhalación. Es el caso de las frases R40, R42, R42/43 y R68 que pasan de categoría 3 a 4 y las frases R45, R46 y R49 que pasan de 4 a 5.
- Se ha modificado la columna de materiales y procesos conforme a los cambios de categoría de las frases R.
- Se ha disminuido la clase de peligro de la frase R67, de la 3 a la 2, ya que, si una sustancia lleva la frase R67, es porque no cumple con los requisitos de clasificación como nociva por inhalación (R20).
- Se ha incluido una columna para asignar la clase de peligro en función de las frases H, basándose en la equivalencia entre frases R y frases H del Reglamento (CE) n° 1272/2008 [D.3] y decidiendo, en caso de duda, según nuestro criterio técnico.

D.1.1.2. Determinación de la clase de cantidad

La clase de cantidad se calcula según el criterio de la tabla D.2, teniendo en cuenta las cantidades por día. En el caso de tratarse de un gas, se tomará el volumen en condiciones normales de presión y temperatura.

Clase de cantidad	Cantidad/día
1	< 100 g o ml
2	≥100 g o ml y < 10 kg o l
3	≥ 10 y < 100 kg o l
4	≥ 100 y < 1000 kg o l
5	≥1000 kg o l

Tabla D.2.- Clases de cantidad en función de las cantidades por día.

D.1.1.3. Determinación de la clase de frecuencia

Para asignar la clase de frecuencia se emplea la tabla D.3.

Utilización	Ocasional	Intermitente	Frecuente	Permanente
Día	≤ 30 min	>30 - ≤120min	>2 - ≤6h	>6h
Semana	≤ 2h	>2-8h	1-3 días	> 3 días
Mes	1 día	2-6 días	7-15 días	> 15 días
Año	≤ 15 días	> 15 días - ≤ 2 meses	>2 - ≤ 5 meses	> 5 meses
Clase	1	2	3	4
	0: El agente químico no se usa hace al menos un año. El agente químico no se usa más			

Tabla D.3.- Clases de frecuencia de utilización.

D.1.1.4. Determinación de la clase de exposición potencial

Con las clases de cantidad y frecuencia se determina la exposición potencial, tal y como se indica en la tabla D.4.

Clase de cantidad						Clase de frecuencia
	0	1	2	3	4	
5	0	4	5	5	5	
4	0	3	4	4	5	
3	0	3	3	3	4	
2	0	2	2	2	2	
1	0	1	1	1	1	
	0	1	2	3	4	

Tabla D.4.- Determinación de las clases de exposición potencial.

D.1.1.5. Determinación y puntuación de la clase de riesgo potencial

A partir de las clases de peligro y de exposición potencial se determina la clase de riesgo potencial siguiendo el criterio de la tabla D.5.

Clase de exposición potencial						
5	2	3	4	5	5	
4	1	2	3	4	5	
3	1	2	3	4	5	
2	1	1	2	3	4	
1	1	1	2	3	4	
	1	2	3	4	5	Clase de peligro

Tabla D.5.- Clases de riesgo potencial.

Una vez establecida la clase de riesgo potencial, ésta se puntúa de acuerdo con la tabla D.6.

Clase de Riesgo Potencial	Puntuación de Riesgo Potencial
5	10.000
4	1.000
3	100
2	10
1	1

Tabla D.6.- Puntuación para cada clase de riesgo potencial.

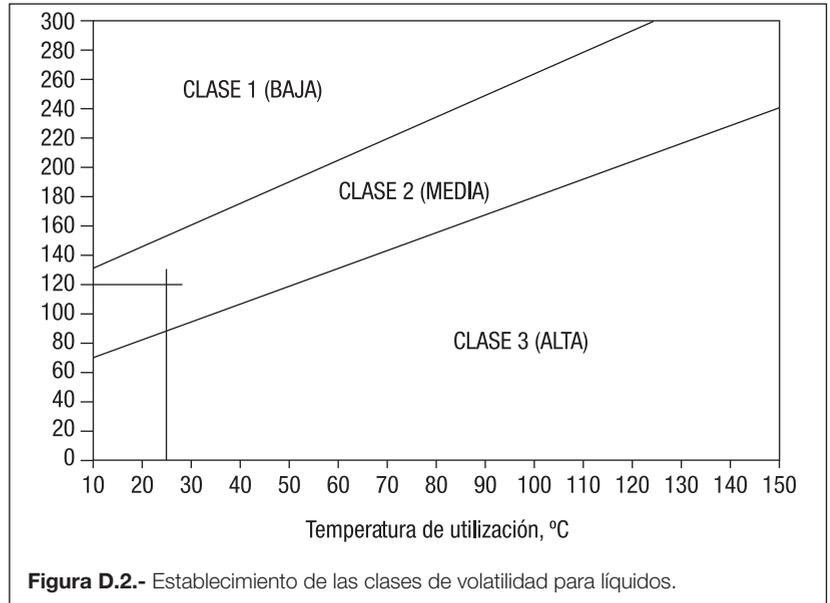
La tendencia del agente químico a pasar al ambiente se establece en función del estado físico. Para los sólidos se establecen tres clases de pulverulencia, según los criterios recogidos en la tabla D.7.

D.1.2. Determinación de la volatilidad o pulverulencia

Descripción del material sólido	Clase de pulverulencia
Material en forma de polvo fino. Formación de polvo que queda en suspensión en la manipulación (por ejemplo: azúcar en polvo, harina, cemento, yeso...).	3
Material en forma de polvo en grano (1-2 mm). El polvo sedimenta rápido en la manipulación (por ejemplo: azúcar consistente cristalizada).	2
Material en pastillas, granulado, escamas (varios mm o 1-2 cm) sin apenas emisión de polvo en la manipulación.	1

Tabla D.7.- Determinación de la clase de pulverulencia para los materiales sólidos.

Para los líquidos existen tres clases de volatilidad, en función de la temperatura de ebullición y la temperatura de utilización del agente químico siguiendo lo indicado en la figura D.2.



En caso de duda se debe optar por la categoría superior, para tomar la opción más desfavorable.

Si el proceso se desarrolla a distintas temperaturas, para calcular la volatilidad debe usarse la temperatura más alta.

Existen algunos agentes químicos que tienen una presión de vapor lo suficientemente grande como para poder estar presentes en el ambiente en forma de materia particulada y en forma de vapor simultáneamente, contribuyendo con cada una de ellas de forma significativa a la exposición. Estos compuestos están señalados con la nota "FIV" en el Documento Límites de exposición profesional para agentes químicos en España [D.2]. En estos casos, la aplicación de éste o cualquier otro método simplificado puede subestimar el riesgo. Esto es frecuente en la aplicación de plaguicidas y en general en operaciones de pulverización (*spraying*) o en las que intervienen cambios de temperatura que puedan afectar al estado físico del agente en cuestión.

En estos casos, se calcula la volatilidad del compuesto como un sólido, es decir, teniendo en cuenta la pulverulencia, y como un líquido, utilizando en este caso la presión de vapor a la temperatura de trabajo, en lugar de la temperatura de ebullición y la temperatura de trabajo, y se considera la más alta de las dos. En la tabla D.8

se muestra como asignar la clase de volatilidad en función de la presión de vapor, Pv.

Cuando el producto a evaluar es una mezcla susceptible de formar un azeótropo, se tomará esta temperatura como punto de ebullición. En caso contrario, se utilizarán los de los componentes de forma individual. Si se trata de una mezcla comercial, se toma como punto de ebullición el que se indique en la ficha de datos de seguridad (FDS). Si la FDS da un intervalo de destilación, se tomará la temperatura más baja.

En el caso de disoluciones, se toma como punto de ebullición el que se indique en la FDS. Si no se indicase, se tomará como punto de ebullición la temperatura del disolvente.

En la tabla D.9 se dan las volatilidades para los tratamientos químicos de superficie y baños electrolíticos más usuales [D.7]. En esta referencia bibliográfica se pueden encontrar otros ejemplos.

Presión de vapor a la temperatura de trabajo	Clase de volatilidad
$P_v \geq 25 \text{ KPa}$	3
$0,5 \text{ KPa} \leq P_v < 25 \text{ KPa}$	2
$P_v < 0,5 \text{ KPa}$	1

Tabla D.8.- Clase de volatilidad en función de la presión de vapor.

Proceso	Tipo	Componentes	Temperatura de trabajo	Volatilidad
Electrolisis cianurada	Cinc	Cloruro de cinc	20-50 ° C	1
Desengrase	Alcalino	Sales alcalinas de sodio	60-75 ° C 75-95 ° C	1 2
Decapado	Cobre	Ácido sulfúrico	50-70 ° C 70-85 ° C	1 2
Electropulido	Acero inoxidable	Ácido sulfúrico y fosfórico	20-60 ° C 60-80 ° C	1 2
Electrolisis cianurada	Cadmio y cobre	Sales de cianuro e hidróxido sódico	45-70 ° C	1
Electrolisis ácida	Cinc	Cloruro de cinc	20-50 ° C	1
Desengrase	Disolventes clorados	Tricloroetileno y percloroetileno	85-120 ° C	2
Decapado	Aluminio	Crómico y sulfúrico Hidróxido sódico	60 ° C 60 ° C	2
Electrolisis ácida	Níquel	Sulfato de níquel	20-35 ° C	2
Decapado	Aluminio	Ácido nítrico	20-30 ° C	3
Decapado	Hierro y acero	Ácido clorhídrico	20 ° C	3
Electrolisis ácida	Cromo	Ácido crómico	30-60 ° C	3
Tratamiento superficie	Anodizado de aluminio	Ácido crómico y sulfúrico	35 ° C	3

Tabla D.9.- Asignación de la clase de volatilidad para algunos ejemplos de tratamientos químicos de superficie y baños electrolíticos.

A los gases, a los humos y a los líquidos o sólidos en suspensión líquida que se utilicen en operaciones de pulverización (*spraying*) se les atribuye siempre clase 3.

La clase de volatilidad o pulverulencia asignada a cada agente químico se puntúa siguiendo el criterio de la tabla D.10.

Clase de volatilidad o pulverulencia	Puntuación de volatilidad o pulverulencia
3	100
2	10
1	1

Tabla D.10.- Puntuación atribuida a cada clase de volatilidad o pulverulencia.

D.1.3. Determinación del procedimiento

Otro de los parámetros que hay que considerar en la evaluación es el procedimiento de utilización del agente químico. Se establecen cuatro clases de procedimiento: dispersivo, abierto, cerrado con aperturas regulares y cerrado permanentemente. En la figura D.3 se dan algunos ejemplos de estos sistemas, el criterio para asignar la clase de procedimiento y su correspondiente puntuación.

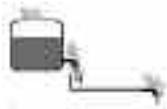
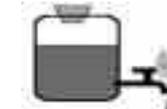
Dispersivo	Abierto	Cerrado/abierto regularmente	Cerrado permanente
			
Ejemplos: Pintura a pistola, taladro, muela, vaciado de sacos a mano, de cubos... Soldadura al arco... Limpieza con trapos. Máquinas portátiles (sierras, cepillos...)	Ejemplos: Conductos del reactor, mezcladores abiertos, pintura a brocha, a pincel, puesto de acondicionamiento (toneles, bidones...) Manejo y vigilancia de máquinas de impresión	Ejemplos: Reactor cerrado con cargas regulares de agentes químicos, toma de muestras, máquina de desengrasar en fase líquida o de vapor...	Ejemplos: Reactor químico
Clase 4	Clase 3	Clase 2	Clase 1
puntuación de procedimiento			
1	0,5	0,05	0,001

Figura D.3.- Determinación de la clase de procedimiento y puntuación para cada clase.

En función de la protección colectiva utilizada se establecen cinco clases que se puntúan de acuerdo con lo indicado en la figura D.4.

D.1.4. Determinación de la protección colectiva

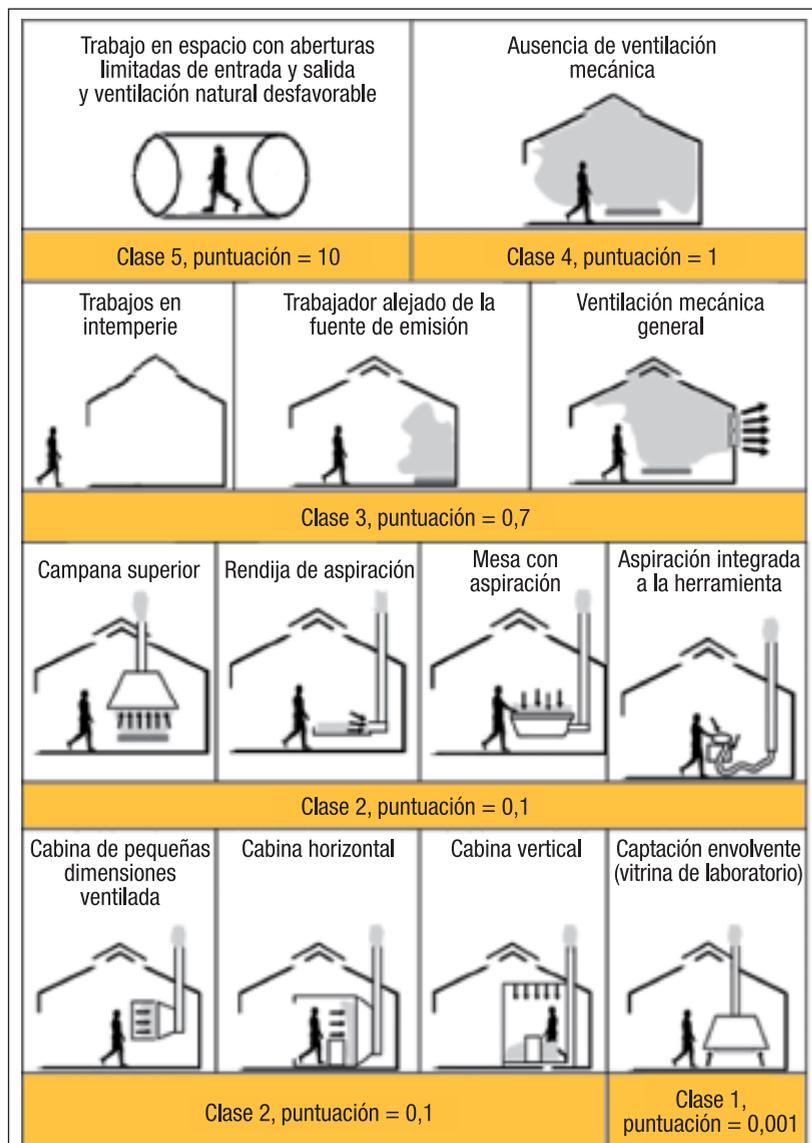


Figura D.4.- Determinación de las clases de protección colectiva y puntuación para cada clase.

Comparando esta figura D.4 con la original del INRS [D.1], se han introducido dos nuevos supuestos:

- Cuando el trabajo se realiza en un espacio con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable, en el que pueden acumularse contaminantes tóxicos o

inflamables, y que no está concebido para una ocupación continuada por parte del trabajador, se utilizará una puntuación de 10. Es el caso de los trabajos realizados dentro de un depósito, como, por ejemplo, cuando se está recubriendo interiormente con una resina de estireno / fibra de vidrio y el trabajador tiene que meterse dentro del mismo para aplicarla.

- Si el trabajo se realiza a la intemperie, se utilizará una puntuación de 0,7.

D.1.5. Corrección en función del VLA

Como se ha indicado en el capítulo 5, el procedimiento aplicado como se ha descrito hasta aquí, puede subestimar el riesgo cuando se aplica a sustancias que tienen un valor límite muy bajo, ya que es

VLA	FC _{VLA}
VLA > 0,1	1
0,01 < VLA ≤ 0,1	10
0,001 < VLA ≤ 0,01	30
VLA ≤ 0,001	100

Tabla D.11.- Factores de corrección en función del VLA.

fácil que se llegue a alcanzar en el ambiente una concentración próxima al valor de referencia, aunque su tendencia a pasar al ambiente sea baja. Por este motivo se hace necesario aplicar un factor de corrección, FC, en función de la magnitud del VLA, en mg/m³. En la tabla D.11, se dan los valores de estos FC_{VLA}, en el caso de que el compuesto tenga VLA [D.2]. Si el compuesto no tiene VLA, se considerará que el FC_{VLA} es 1.

D.1.6. Cálculo de la puntuación del riesgo por inhalación

Una vez que se han determinado las clases de riesgo potencial, de volatilidad, de procedimiento y de protección colectiva y que se han puntuado de acuerdo con los criterios anteriormente indicados, se calcula la puntuación del riesgo por inhalación (P_{inh}) aplicando la siguiente fórmula:

$$P_{inh} = P_{\text{riesgo potencial}} \times P_{\text{volatilidad}} \times P_{\text{procedimiento}} \times P_{\text{protección colectiva}} \times FC_{VLA} \quad (D.1.)$$

Con esa puntuación se caracteriza el riesgo utilizando la tabla D.12.

Puntuación del riesgo por inhalación	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo
> 1.000	1	Riesgo probablemente muy elevado (medidas correctoras inmediatas)
> 100 y ≤ 1.000	2	Riesgo moderado. Necesita probablemente medidas correctoras y/o una evaluación más detallada (mediciones)
≤ 100	3	Riesgo a priori bajo (sin necesidad de modificaciones)

Tabla D.12.- Caracterización del riesgo por inhalación.

En el caso de riesgo moderado, se puede optar por:

- implantar las medidas de control adecuadas, o corregir las existentes, y volver a aplicar este procedimiento para ver si se ha logrado reducir el riesgo o
- continuar la evaluación de acuerdo con el capítulo 6, “Estudio Básico”, para decidir si son necesarias medidas adicionales y mediciones periódicas.

De cualquier forma, habrá que comprobar periódicamente el buen funcionamiento de las medidas de control.

D.2. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

En una empresa dedicada a la restauración de muebles se utiliza un gel que contiene aguarrás para eliminar los restos de pintura. Este gel se aplica con un cepillo en una mesa que dispone de un sistema de extracción localizada tres veces por semana, en una operación que dura 3 horas. La cantidad de gel utilizada es de 2 kg diarios. Cuando se elimina la pintura, los restos de disolvente y de pintura se quitan con agua. Se desea evaluar el riesgo de exposición por inhalación de los trabajadores a aguarrás.

Para realizar una evaluación simplificada del riesgo por inhalación conforme a este método necesitamos conocer el riesgo potencial (frases R, cantidad absoluta y frecuencia), la volatilidad (temperatura de uso y punto de ebullición), el tipo de procedimiento y la ventilación (ver tablas D.13 y D.14).

D.2.1. Ejemplo 1: Exposición a disolventes en restauración de muebles

	Peligro	Cantidad	Frecuencia	Exposición potencial	Riesgo potencial
Datos	Frases R: 10, 20/21/22, 36/38, 43, 65	2 kg / día	3 días / semana	Clase de cantidad 2 y clase de frecuencia 3	Clase de peligro 3 y clase de exposición potencial 2
Clase	3	2	3	2	2

Tabla D.13.- Determinación del riesgo potencial.

	Riesgo potencial	Volatilidad	Procedimiento	Protección colectiva
Datos	Ver tabla D.13	Temperatura de trabajo: 25 °C Punto de ebullición: 145°C	Dispersivo	Extracción localizada
Clase	2	2	4	2
Puntuación	10	10	1	0,1

Tabla D.14.- Evaluación simplificada del riesgo de exposición por inhalación a aguarrás.

A pesar de que, de acuerdo con la figura D.4, el procedimiento se podría considerar abierto (por semejanza con la pintura a brocha), se ha preferido considerarlo dispersivo (por similitud con la limpieza con trapos) poniéndonos de este modo en la situación más desfavorable, para no cometer el error de minimizar el riesgo.

Teniendo en cuenta las puntuaciones de la tabla D.14, y que el VLA-ED® del aguarrás es 567 mg/m³ y por tanto el FC_{VLA} es 1, la puntuación para el riesgo por inhalación es, sustituyendo en (D.1):

$$P_{inh} = 10 \times 10 \times 1 \times 0,1 \times 1 = 10 \quad (D.2)$$

El resultado de la evaluación indica que el riesgo por inhalación es a priori bajo, por lo que no es necesario tomar otro tipo de medidas. Habría que asegurarse de que la operación siempre se realiza con extracción localizada y que ésta se revisa periódicamente. Sin embargo, al tener el producto utilizado la frase R43, posibilidad de sensibilización en contacto con la piel, habría que evaluar este riesgo.

D.2.2. Ejemplo 2: Exposición a AQ

Evaluar el riesgo de exposición por inhalación a tres agentes químicos (metanol, bisfenol A e isopropanol).

De la identificación y análisis de las funciones y tareas de trabajo, se extraen dos grupos de riesgo homogéneo (GRH1 y GRH2) que se pasan a comentar a continuación.

Análisis del trabajo del grupo de riesgo homogéneo GRH1:

Se trabaja en un mezclador tipo cerrado / abierto regularmente, a temperaturas de 20-25° C, que dispone de una trampilla para introducir diferentes productos y sacar muestras. Se abre en el llenado y vaciado y ciertos productos se añaden directamente desde la base, mediante una red de conductos conectados a un tanque de almacenamiento. El local está dotado de ventilación general mecánica. La pesada de ciertos productos se hace en un cuarto adjunto sin ventilación mecánica. Las tareas a realizar son:

- **Mezcla:** llenado del mezclador con metanol por la red de conductos / pesada de bisfenol A en balanza, sin ventilación / introducción de bisfenol A en el mezclador por la trampa / mezcla de componentes con la trampa cerrada.
- **Control de la mezcla:** apertura de la trampa y toma de muestras.
- **Vaciado del mezclador:** vigilancia durante el vaciado con la trampa abierta.

Análisis de trabajo del grupo de riesgo homogéneo GRH2:

Se trabaja en un mezclador tipo abierto a temperaturas de 20-25° C con diferentes productos que se añaden directamente desde la base, por la red de conductos conectados a los tanques de almacenamiento. El local está dotado de ventilación general mecánica. Las tareas a realizar son:

- **Mezcla:** llenado del mezclador con metanol e isopropanol por la red de conductos / mezcla de componentes.
- **Control de mezcla:** toma de muestras.
- **Vaciado del mezclador:** vigilancia durante el vaciado.

La principal diferencia entre los dos GRH, además de los productos utilizados, bisfenol A en un caso e isopropanol en otro, estriba en el mezclador; que en un caso es abierto (GRH2) y en otro, tipo cerrado / abierto (GRH1).

En las tablas D.15 y D.16 se da información sobre los agentes químicos evaluados, las cantidades y la frecuencia de utilización para el GRH1 y el GRH2, respectivamente. En este caso, el FC_{VLA} para los tres AQ es 1, porque los VLA del metanol y el isopropanol son superiores a 0,1 mg/m³ y el bisfenol A no tiene.

Materia prima	Frases R	VLA-ED®	Cantidad / operación	Frecuencia de uso	Estado	T° ebul. (°C)
Metanol	11-23/24/25-39/23/24/25	266 mg/m ³	80 litros	Días a la semana	Líquido	65
Bisfenol A	37-41-43-62	-	8 kg	Días a la semana	Sólido (escamas)	

Tabla D.15.- Información sobre los agentes químicos empleados por el GRH1.

Materia prima	Frases R	VLA-ED®	Cantidad / operación	Frecuencia de uso	Estado	T° ebul. (°C)
Metanol	11-23/24/25-39/23/24/25	266 mg/m ³	80 litros	Días a la semana	Líquido	65
Isopropanol	11-36-67	998 mg/m ³	330 litros	Días a la semana	Líquido	83

Tabla D.16.- Información sobre los agentes químicos empleados por el GRH2.

En la tabla D.17 se dan los datos para la determinación del riesgo potencial de los tres compuestos utilizados, metanol, bisfenol A e isopropanol. Y en la tabla D.18 se muestran los datos utilizados para la determinación de la clase de volatilidad, en función del punto de ebullición y la temperatura de trabajo, para metanol e isopropanol, y de la clase de pulverulencia para el bisfenol A, en función de la forma de presentación.

Agente químico	Frases R	Clase de peligro	Cantidad	Clase de cantidad	Frecuencia de utilización	Clase de frecuencia	Clase de exposición potencial	Clase de riesgo potencial
Metanol	11-23/24/25-39/23/24/25	4	80 l	3	días a la semana	3	3	4
Bisfenol A	37-41-43-62	3	8 kg	2	días a la semana	3	2	2
Isopropanol	11-36-67	2	330 l	4	días a la semana	3	4	2

Tabla D.17.- Determinación de la clase de riesgo potencial.

Compuesto	Estado	T ebul. (°C)	T trab. (°C)	Presentación	Clase de volatilidad o pulverulencia
Metanol	Líquido	65	20-25		3
Bisfenol A	Sólido		20-25	escamas	1
Isopropanol	Líquido	83	20-25		3

Tabla D.18.- Determinación de la clase de volatilidad o pulverulencia.

Para el GRH1, el estudio del riesgo por inhalación viene dado en la tabla D.19, donde se muestran las clases de riesgo potencial (tabla D.17), volatilidad o pulverulencia (tabla D.18), y procedimiento utilizado y protección colectiva para cada una de las tareas. Como en el ejemplo anterior, por el mismo motivo de no minimizar el riesgo, se ha considerado que en la tarea de introducción de bisfenol A, el procedimiento es dispersivo (vaciado de sacos), aunque, dada la presentación del producto en escamas, no es probable que haya mucha dispersión en el ambiente.

Por último, en la tabla D.20, se asignan las puntuaciones a las clases establecidas en la tabla D.19, calculando así la puntuación de riesgo por inhalación para cada una de las tareas.

Tarea	Agente químico	Clase de riesgo potencial	Clase de volatilidad o pulverulencia	Procedimiento	Clase de procedimiento	Protección colectiva	Clase de protección colectiva
Llenado	Metanol	4	3	cerrado	1	ventilación general	3
Pesada	Bisfenol A	2	1	dispersivo	4	ninguna	4
Introducción	Bisfenol A	2	1	dispersivo	4	ventilación general	3
	Metanol	4	3	abierto	3	ventilación general	3
Mezcla	Bisfenol A	2	1	cerrado	1	ventilación general	3
	Metanol	4	3				
Control	Bisfenol A	2	1	cerrado/ abierto	2	ventilación general	3
	Metanol	4	3				
Vaciado	Bisfenol A	2	1	abierto	3	ventilación general	3
	Metanol	4	3				

Tabla D.19.- Establecimiento de las clases de riesgo potencial, volatilidad o pulverulencia, procedimiento y protección colectiva para el GRH1.

Tarea	Agente químico	Puntuación por riesgo potencial	Puntuación por volatilidad	Puntuación por procedimiento	Puntuación por protección colectiva	FC _{VLA}	Puntuación del riesgo por inhalación por AQ	Puntuación del riesgo por inhalación por tarea
Llenado	Metanol	1.000	100	0,001	0,7	1	70	70
Pesada	Bisfenol A	10	1	1	1	1	10	10
Introducción	Bisfenol A	10	1	1	0,7	1	7	35.007
	Metanol	1.000	100	0,5	0,7	1	35.000	
Mezcla	Bisfenol A	10	1	0,001	0,7	1	0,007	70,007
	Metanol	1.000	100			1	70	
Control	Bisfenol A	10	1	0,05	0,7	1	0,35	3.500,35
	Metanol	1.000	100			1	3.500	
Vaciado	Bisfenol A	10	1	0,5	0,7	1	3,5	35.003,5
	Metanol	1.000	100			1	35.000	

Tabla D.20.- Establecimiento de las puntuaciones para el GRH1.

De igual modo, las tablas D.21 y D.22 resumen el estudio del riesgo por inhalación para el GRH2.

De acuerdo con las tablas anteriores, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

GRH1: Las tareas con riesgo elevado son la introducción, el control de la mezcla y el vaciado, mientras que el riesgo es bajo para el resto de las tareas. El motivo es la presencia de metanol, debido a su elevada clase de peligro, 4, y a su elevada volatilidad, clase 3. A pesar de que el metanol está presente también en la tarea de llenado y en la de mezcla, el riesgo es bajo porque se emplea un procedimiento cerrado. La operación de pesada, aunque el bisfenol A tiene una clase de peligro 4 (tabla D.17) y se realiza en un cuarto sin ventilación, conlleva un riesgo bajo porque el producto se encuentra en forma de escamas y, por tanto, su pulverulencia es baja.

Teniendo en cuenta lo anterior, si, al continuar la evaluación, hubiese que efectuar alguna medición en el ambiente, el compuesto a medir sería metanol.

Otro aspecto a considerar es que el bisfenol A tiene la frase R43, posibilidad de sensibilización en contacto con la piel, por lo que, si sólo se evalúa el riesgo de exposición por inhalación, se estaría minimizando el riesgo que conlleva la utilización de este producto.

GRH2: En este caso, todas las tareas, excepto la de llenado de isopropanol, tienen un riesgo elevado, debido a que se emplea un mezclador abierto y el metanol.

Igual que en el caso del GRH1, si, al continuar la evaluación, hubiese que efectuar alguna medición en el ambiente, el compuesto a medir sería metanol.

En este grupo, hay que tener en cuenta que el isopropanol tiene la frase R36, irrita los ojos.

Entre las medidas correctoras serán prioritarias las soluciones de tipo sustitución de producto o modificación del procedimiento de trabajo que rebajen el riesgo, dado que son las variables que mayor contribución aportan a la puntuación final. Cuando se hayan adoptado las medidas correctoras, se realizará una nueva evaluación.

Tarea	Agente químico	Clase de riesgo potencial	Clase de volatilidad	Procedimiento	Clase de procedimiento	Protección colectiva	Clase de protección colectiva
Llenado	Isopropanol	2	3	abierto	3	ventilación general	3
Llenado	Metanol	4	3	abierto	3	ventilación general	3
Mezcla	Isopropanol	2	3	abierto	3	ventilación general	3
	Metanol	4	3				
Control	Isopropanol	2	3	abierto	3	ventilación general	3
	Metanol	4	3				
Vaciado	Isopropanol	2	3	abierto	3	ventilación general	3
	Metanol	4	3				

Tabla D.21.- Establecimiento de las clases de riesgo potencial, volatilidad o pulverulencia, procedimiento y protección colectiva para el GRH2.

Tarea	Agente químico	Puntuación por riesgo potencial	Puntuación por volatilidad	Puntuación por procedimiento	Puntuación por protección colectiva	FC _{VLA}	Puntuación del riesgo por inhalación por AQ	Puntuación del riesgo por inhalación por tarea
Llenado	Isopropanol	10	100	0,5	0,7	1	350	350
Llenado	Isopropanol	10	100	0,5	0,7	1	350	35.350
	Metanol	1.000	100			1	35.000	
Mezcla	Isopropanol	10	100	0,5	0,7	1	350	35.350
	Metanol	1.000	100			1	35.000	
Control	Isopropanol	10	100	0,5	0,7	1	350	35.350
	Metanol	1.000	100			1	35.000	
Vaciado	Isopropanol	10	100	0,5	0,7	1	350	35.350
	Metanol	1.000	100			1	35.000	

Tabla D.22.- Establecimiento de las puntuaciones para el GRH2.

BIBLIOGRAFÍA

D.1.- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE (INRS). Metodología simplificada del INRS. ND 2233-200-05 Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique. Disponible en web: <http://www.inrs.fr/>

D.2.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. (Publicación anual).

D.3.- Reglamento (CE) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, 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° 1907/2006.

D.4.- Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, y modificaciones posteriores, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.

D.5.- Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

D.6.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición durante el trabajo a agentes cancerígenos o mutágenos. Madrid, 2005.

D.7.- ACGIH. Generalitat Valenciana. Conselleria de Treball i Afers Socials. Direcció General de Treball *Ventilación industrial: Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales*. 1992. ISBN 84-7890-818-8.

Un procedimiento que ha encontrado aplicación práctica en la Higiene Industrial es el método que consiste en expresar las mediciones de exposición en percentiles, después de un análisis estadístico de los datos en forma de un gráfico de probabilidad logarítmico - normal o de frecuencias acumuladas (porcentaje).

Es un procedimiento muy útil, por ejemplo, para aplicar a:

- datos tomados a trabajadores de un mismo puesto de trabajo para comprobar si se trata de un grupo de exposición homogénea (GEH) y calcular su exposición (ver capítulo 7, apartado 7.2.2);
- datos que provienen de distintas jornadas para calcular la probabilidad de exceder el valor límite (ver capítulo 7, apartado 7.5);
- datos de exposición tomados en periodos de 15 minutos para comprobar si se cumple con el VLA-EC® (capítulo 8).

La información que se puede obtener con este tratamiento, en este caso, es:

- comprobar si los datos de exposición obtenidos se ajustan a una distribución logarítmico - normal o no, y calcular gráficamente, en caso de que se trate de una distribución logarítmico - normal :
 - la media geométrica (MG)
 - la desviación estándar geométrica (DSG);
- comparar los datos de exposición con un valor límite a un porcentaje de probabilidad elegido, por ejemplo el 95%;
- calcular la probabilidad de que se exceda un determinado valor límite, lo que nos ayudará a decidir la necesidad de realizar o no mediciones periódicas.

Como se ha explicado en el capítulo 7, en el punto 7.5 “Valoración a partir del índice de exposición obtenido”, para determinar la necesidad de realizar mediciones periódicas en el caso en que la exposición se considere aceptable, se puede calcular la probabilidad de exceder el valor límite [E.1, Anexo D]. De acuerdo con dicho anexo y el punto 7.5, en función de la probabilidad, P, de superar el valor límite, nos encontraríamos en una de estas tres situaciones:

– **SITUACIÓN VERDE: SI $P \leq 0,1 \%$.**

La exposición es aceptable y no son necesarias mediciones periódicas.

– **SITUACIÓN NARANJA: SI $0,1 \% < P \leq 5 \%$.**

La exposición es aceptable pero es necesario establecer un plan de mediciones periódicas.

– **SITUACIÓN ROJA: SI $P > 5 \%$.**

La exposición no puede considerarse aceptable.

Los pasos a seguir con los datos obtenidos son:

1. Se ordenan los datos de exposición en orden creciente.
2. Se cuenta el número de datos y, a partir de las tablas, se obtienen las posiciones adecuadas en el gráfico.
3. Se selecciona un papel para gráficos de probabilidad logarítmica que tenga un eje Y que cubra el intervalo de resultados de la exposición.
4. Se representan los pares de valores de exposición en el papel elegido.
5. Se ajusta una línea recta a los datos, despreciando los puntos fuera de los límites de probabilidad 1% y 99% (si los hubiera). Para los demás datos se da preferencia a aquéllos más cercanos a la posición del 50%, es decir, en la zona del 20% al 80%.
6. Si los datos no se ajustan a una línea recta es posible que la distribución real no sea logarítmico - normal o que incluya datos que pertenecen a otra población.
7. El valor de la MG es el valor correspondiente a la probabilidad del 50% y puede leerse directamente a partir de la intersección de la recta ajustada con la línea correspondiente a la probabilidad del 50%.
8. La desviación estándar geométrica, DSG, es la pendiente de la recta y una medida de la variabilidad o dispersión de los datos. Viene dada por:

$$DSG = \frac{\text{Valor del 84,1\%}}{\text{Valor del 50\%}}$$

Normalmente, para la aplicación de este procedimiento se requieren, al menos, siete datos [E.1]. Si se trata de determinar la ex-

posición de un grupo que se piensa, a priori, que tiene una exposición homogénea, uno de los criterios a aplicar es que, cuando uno de los datos es menor que la mitad de la media de los datos de exposición obtenidos o mayor del doble de la media, habría que sospechar que podría no tratarse de un GEH [E.2].

Para facilitar la comprensión de este tipo de tratamiento, se va a aplicar a un ejemplo concreto:

Las exposiciones medias individuales obtenidas en un grupo de trabajadores expuestos a tolueno (VLA-ED®: 50 ppm) son las siguientes: 40,1; 25,8; 20,0; 30,8; 14,5; 23,4; 53,0; 37,0; 28,2 y 20,8 ppm.

Comprobar si el grupo de trabajadores seleccionado se puede considerar un GEH y calcular las medias aritmética y geométrica, y la desviación estándar geométrica. Calcular si, con un 95% de probabilidad, la exposición se puede considerar aceptable, inaceptable o bien nos encontramos en una situación de no decisión. Calcular la probabilidad de que se supere el valor límite. Por último, calcular la probabilidad de que se superase el valor límite si fuese 100 ppm.

Conviene recordar que la selección de un GEH puede incluir a personas que, desempeñando el mismo puesto de trabajo, no trabajen al mismo tiempo, si no hay motivo para pensar que puedan existir diferencias en la exposición de los diferentes turnos de trabajo (ver capítulo 7, apartado 7.2.2 “Selección de los trabajadores a medir”).

Los primeros pasos serían ordenar los datos en orden creciente, contarlos (10) y obtener, en la tabla E.2, las posiciones (percentiles) correspondientes al tamaño de muestra ('sample size') $n=10$. Los datos de exposición ordenados de forma creciente, junto con las posiciones obtenidas se encuentran en la tabla E.1.

El siguiente paso es elegir el papel para gráficos de probabilidad adecuado, de acuerdo con el intervalo de los datos:

- Una escala logarítmica (figura E.1), cuando nuestros datos estén comprendidos entre 0,1 y 1, o entre 1 y 10, o entre 10 y 100, o entre 100 y 1000, etc. ppm o mg/m^3 , dependiendo de las unidades en las que se determine la concentración ambiental del contaminante.
- Dos escalas logarítmicas (figura E.2), cuando nuestros datos estén comprendidos entre 0,1 y 10, o entre 1 y 100, o entre 10 y 1000, etc. ppm o mg/m^3 .

Orden	Conc (ppm)	Probabilidad
1	14,5	6,2
2	20,0	15,8
3	20,8	25,6
4	23,4	35,3
5	25,8	45,1
6	28,2	54,9
7	30,8	64,7
8	37,0	74,4
9	40,1	84,2
10	53,0	93,8

Tabla E.1.- Concentraciones y percentiles correspondientes al tamaño de muestra $n=10$.

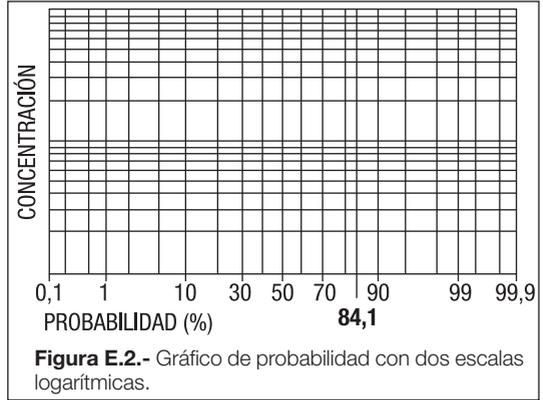
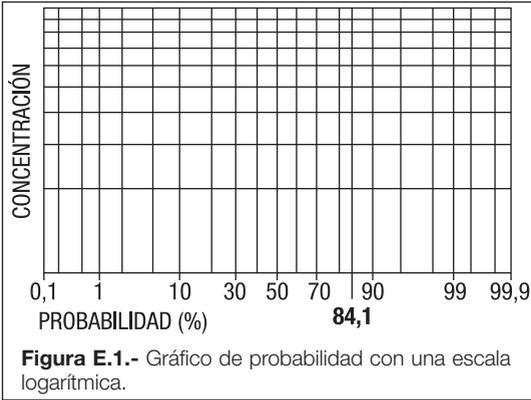
- Tres escalas logarítmicas, cuando nuestros datos estén comprendidos entre 0,1 y 100, o entre 1 y 1000, o entre 10 y 10000, etc. ppm o mg/m³.

En nuestro caso elegiríamos el de una escala logarítmica (figura E.1), ya que todos los datos experimentales están comprendidos entre 10 y 100 ppm. En el eje de abcisas los valores no indicados son los siguientes:

- entre 0,1 y 1 : 0,2 y 0,5
- entre 1 y 10 : 2 y 5
- entre 10 y 30 : 20
- entre 30 y 50 : 40
- entre 50 y 70 : 60
- entre 70 y 90 : 80
- entre 90 y 99 : 95 y 98
- entre 99 y 99,9 : 99,5 y 99,8

Tamaño de muestra																				
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	28,6	19,9	15,2	12,2	10,3	8,8	7,7	6,9	6,2	5,6	5,2	4,8	4,4	4,1	3,9	3,6	3,4	3,3	3,1	1
2	71,4	50,0	38,3	31,0	26,0	22,5	19,7	17,6	15,8	14,4	13,2	12,2	11,4	10,6	9,9	9,4	8,9	8,4	8,0	2
3		80,1	61,7	50,0	42,0	36,2	31,8	28,4	25,6	23,3	21,4	19,8	18,4	17,2	16,1	15,2	14,3	13,6	12,9	3
4			84,8	69,0	58,0	50,0	43,9	39,2	35,3	32,2	29,6	27,3	25,4	23,7	22,3	21,0	19,8	18,8	17,9	4
5				87,8	74,0	63,8	56,1	50,0	45,1	41,1	37,8	34,9	32,4	30,3	28,4	26,8	25,3	24,0	22,8	5
6					89,7	77,5	68,2	60,8	54,9	50,0	45,9	42,5	39,5	36,9	34,6	32,6	30,8	29,2	27,8	6
7						91,2	80,3	71,6	64,7	58,9	54,1	50,0	46,5	43,4	40,7	38,4	36,3	34,4	32,7	7
8							92,3	82,4	74,4	67,8	62,2	57,5	53,5	50,0	46,9	44,2	41,8	39,6	37,6	8
9								93,1	84,2	76,7	70,4	65,1	60,5	56,6	53,1	50,0	47,2	44,8	42,6	9
10									93,8	85,6	78,6	72,7	67,6	63,1	59,3	55,8	52,8	50,0	47,5	10
11										94,4	86,8	80,2	74,6	69,7	65,4	61,6	58,2	55,2	52,5	11
12											94,8	87,8	81,6	76,3	71,6	67,4	63,7	60,4	57,4	12
13												95,2	88,6	82,8	77,7	73,2	69,2	65,6	62,4	13
14													95,6	89,4	83,9	79,0	74,7	70,8	67,3	14
15														95,9	90,1	84,8	80,2	76,0	72,2	15
16															96,1	90,6	85,7	81,2	77,2	16
17																96,4	91,1	86,4	82,1	17
18																	96,6	91,6	87,1	18
19																		96,7	92,0	19
20																			96,9	20

Tabla E.2.- Posiciones en el gráfico para el papel de probabilidad normal, para tamaños de muestra hasta 20.



Y en ordenadas:

entre 10 y 20 : 12, 14, 16 y 18

entre 20 y 30 : 22, 24, 26, y 28

entre 30 y 40 : 32, 34, 36 y 38

y el resto : 45, 55, 65, 75, 85 y 95

La representación gráfica de los puntos se encuentra en la figura E.3, donde se ha trazado también la recta que mejor se ajusta a

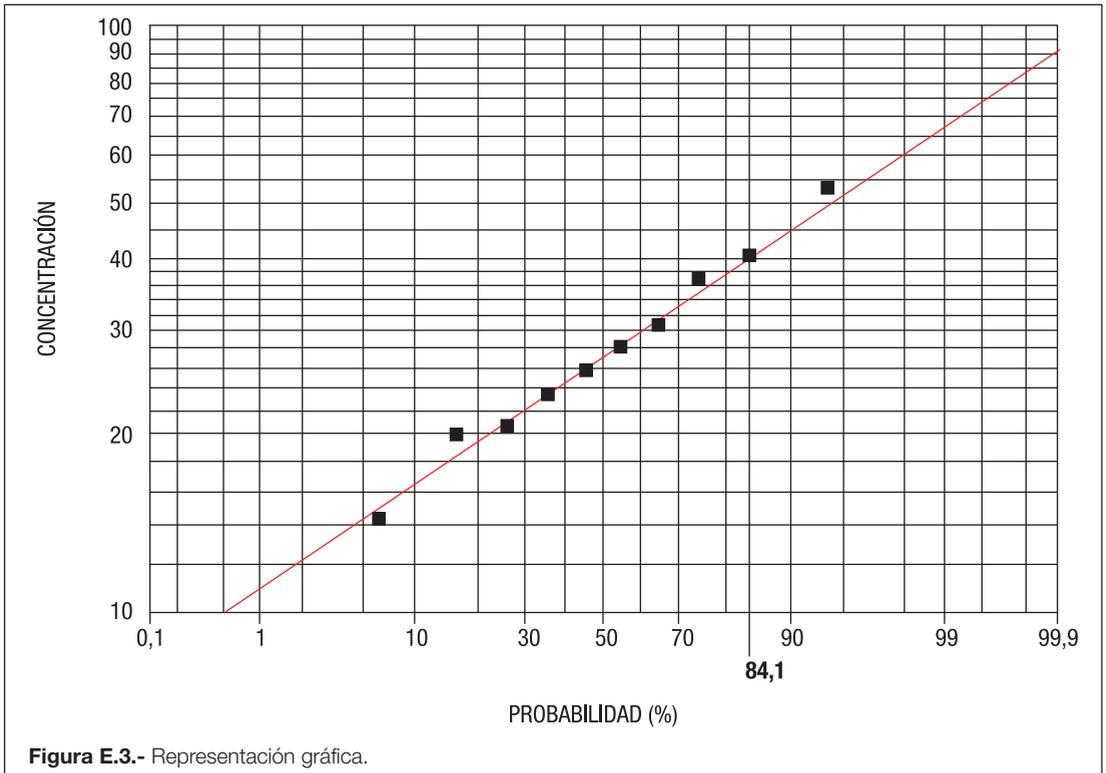


Figura E.3.- Representación gráfica.

ellos, prestando mayor atención a los que se encuentran entre el 20% y el 80% de probabilidad.

Los datos, de acuerdo con la representación gráfica, se ajustan bastante bien a una línea recta, por lo que se puede asegurar que pertenecen a una distribución logarítmico - normal.

La media aritmética sería la suma de todos los datos experimentales de exposición, dividida por el número de ellos. En nuestro caso:

$$\text{media aritmética} = \frac{\text{suma}}{\text{nº de datos}} = \frac{293,6}{10} = 29,4 \text{ ppm}$$

Se trataría, por tanto, de un GEH porque:

- los datos se ajustan a una distribución logarítmico-normal
- no existe ningún dato superior al doble de la media (58,8)
- aunque existe un dato inferior a la mitad (14,7), la diferencia es muy pequeña

La media geométrica es el valor correspondiente a la probabilidad del 50%, y puede leerse directamente de la figura E.3. En nuestro caso, y de acuerdo con dicha figura, sería 28 ppm (la ordenada que corresponde al 50%, leyendo sobre la recta).

El valor de la DSG sería, de acuerdo con la figura E.3:

$$\text{DSG} = \frac{\text{Valor del 84,1\%}}{\text{Valor del 50\%}} = \frac{42}{28} = 1,5$$

En cuanto al resultado de la evaluación (con una probabilidad del 95%), exposición aceptable, inaceptable o no decisión, para que fuese **aceptable**, la exposición debería estar, con un 95% de probabilidad, por debajo del valor límite.

En el ejemplo, para que la exposición se pudiese considerar **aceptable**, el valor correspondiente al 95% debería estar por debajo del valor límite, 50 ppm, y la situación no es así.

La probabilidad de estar por debajo del valor límite corresponde a la abcisa en la que la recta corta a la ordenada del valor límite. En nuestro caso, la probabilidad que corresponde a la ordenada del valor límite, 50 ppm, es aproximadamente 93%. Por tanto, con los datos experimentales obtenidos, podemos decir que la probabilidad de que **se exceda** el valor límite es del 7%, la exposición no puede considerarse aceptable, deben, por tanto, adoptarse medidas para reducir la exposición.

Si el valor límite hubiese sido de 100 ppm, nos hubiésemos encontrado en una situación de exposición aceptable, ya que el valor que corresponde al 95% de probabilidad está por debajo de 100 ppm. La probabilidad de superar el valor límite de 100 ppm, sería

inferior al 0,1%, por lo que tampoco serían necesarias posteriores mediciones periódicas.

En la NTP n° 554, editada por el INSHT [E.3], figura un ejemplo en el que la exposición laboral es debida a dos compuestos que presentan efectos aditivos.

Otra situación en la que es útil la utilización de los gráficos de probabilidad es cuando los datos provienen de distintas jornadas.

De acuerdo con la Norma UNE-EN 689 [E.1], si al medir la concentración de la exposición laboral y calcular el índice de exposición de la sustancia (I), dividiendo la concentración por el valor límite, resulta que $I > 0,1$, hay que evaluar la exposición laboral dos días más, que no sean consecutivos (ver capítulo 7, punto 5 “Valoración a partir del índice de exposición obtenido”).

Si con los tres valores de la exposición laboral de tres días distintos se llega a una situación de “no decisión”, se puede adoptar una de estas tres soluciones:

- aumentar el número de mediciones y aplicar lo que dice la Norma en su apéndice D,
- adoptar medidas para reducir la exposición y una vez implantadas hacer una nueva evaluación de la exposición laboral,
- establecer un plan de vigilancia periódica de la concentración ambiental.

Si se elige la primera posibilidad, aumentar el número de mediciones (ver figura 7.1), y se obtienen medidas de la exposición laboral para, al menos, cuatro días más, se puede utilizar un gráfico de probabilidad para el tratamiento de los datos, si se tienen al menos siete valores correspondientes a la exposición diaria.

Se parte de la suposición (habitualmente admitida) de que los valores de concentración ambiental se comportan de acuerdo con una distribución logarítmico-normal, es decir, que los logaritmos de esos valores se ajustan a una distribución normal. En este caso, los valores de concentración ambiental de tolueno del ejemplo anterior representarían los valores de la exposición diaria, y la probabilidad de estar por debajo del valor límite, que corresponde a la abscisa en la que la recta corta a la ordenada del valor límite, representa la probabilidad de que no se supere el valor límite, VLA-ED®, en cualquier jornada de trabajo no muestreada [E.4].

Otra posible aplicación de los gráficos de probabilidad sería cuando los datos representan la exposición en periodos de 15 minutos para comprobar si se cumple con el VLA-EC® [E.4].

BIBLIOGRAFÍA

E.1.- Norma UNE-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición. AENOR 1996.

E.2.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Documento Técnico 78:94. "Estrategia de muestreo para la evaluación de la exposición laboral a contaminantes químicos". José N. Tejedor y M^a Jesús García-Gutiérrez. ISBN 84-7425-404-3.

E.3.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP n° 554: Agentes químicos: estrategias de muestreo y valoración (II).

E.4.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos. Madrid, 2003.

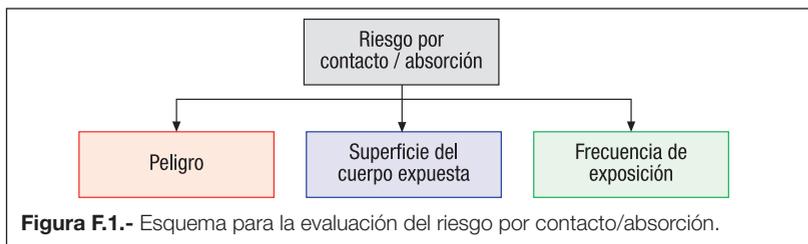
Evaluación simplificada del riesgo por contacto y/o absorción por la piel. Método del INRS

Anexo

F

En este anexo se expone el método simplificado del INRS que puede utilizarse para realizar la evaluación del riesgo por contacto y que, además, permite realizar una primera aproximación cuando haya absorción por vía dérmica. Presenta algunas modificaciones con respecto al método original [F.1], que se indicarán a lo largo del texto.

La evaluación del riesgo se hace a partir de estas tres variables: peligro, superficie del cuerpo expuesta y frecuencia de exposición (figura F.1).



Para cada variable se establecen unas clases y una puntuación asociada a cada clase, que permiten obtener una prioridad del riesgo a evaluar.

F.1. DETERMINACIÓN Y PUNTUACIÓN DE LA CLASE DE PELIGRO

En el método original [F.1], para determinar la clase de peligro, se utiliza la misma tabla para la jerarquización y la evaluación del riesgo por inhalación y contacto con piel. Para realizar la evaluación en el presente documento se ha adaptado la tabla original (ver tabla F.1).

Clase de peligro	Frases R	Frases H	VLA mg/m ³ (1) (2)
1	Tiene frases R, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	Tiene frases H, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	> 100
2	R38 R36/37, R36/38, R36/37/38, R37/38 R66	H315 EUH066	> 10 ≤ 100
3	R21 R20/21, R21/22, R20/21/22 R33 R34 R48/21, R48/20/21 R48/21/22, R48/20/21/22 R62, R63, R64, R68/21, R68/20/21/22	H312 H314 (Corr. Cut. 1B y 1C) H361 H361f, H361d, H361fd H362 H371 (3) H373 (3)	> 1 ≤ 10
4	R15/29 R24 R23/24, R24/25, R23/24/25 R29, R31 R35 R39/24, R39/23/24, R39/24/25, R39/23/24/25 R40 R43 R42/43 R48/24, R48/23/24, R48/24/25, R48/23/24/25 R60, R61 R68	H311 H314 (Corr. Cut. 1A) H317 H341 H351 H360, H360F, H360FD, H360D, H360Df, H360Fd H370 (3) H372 (3) EUH029 EUH031	> 0,1 ≤ 1
5	R27 R26/27, R27/28, R26/27/28 R32 R39 R39/27, R39/26/27, R39/26/27/28 R45 R46	H310 H340 H350 EUH032 EUH070	≤ 0,1
<p>(1) Cuando se trate de materia particulada, este valor se divide entre 10. (2) Cuando en el Documento Límites de Exposición Profesional para agentes químicos en España [F.2] figure la sustancia con notación "vía dérmica". (3) Únicamente si la frase especifica vía dérmica. Si no especifica ninguna vía, se recomienda consultar las frases R para comprobar a qué vía o vías se refiere.</p>			
Tabla F.1.- Clases de peligro para la evaluación del riesgo por contacto/absorción.			

La tabla F.1 se ha adaptado con respecto a la original del INRS, presentando los siguientes cambios:

- Se han eliminado las frases R específicas de inhalación, ingestión y daños oculares, no aplicables en este caso.

- Se ha eliminado la frase R48 de la categoría 4, ya que siempre aparece combinada y, además, no tiene equivalencia con ninguna frase H de acuerdo con el Reglamento (CE) n° 1272/2008 [F.3].
- Se ha aumentado la clase de peligro para los cancerígenos, mutágenos y sensibilizantes en contacto con la piel. Es el caso de las frases R40, R43, R42/43 y R68 que pasan de categoría 3 a 4 y las frases R45 y R46 que pasan de 4 a 5.
- Se ha eliminado la columna referente a los materiales y procesos.
- Se ha incluido una columna para asignar la clase de peligro en función de las frases H, basándose en la equivalencia entre frases R y frases H del Reglamento (CE) n° 1272/2008 [F.3] y decidiendo, en caso de duda, según nuestro criterio técnico.

Una vez establecida la clase de peligro, ésta se puntúa de acuerdo con la tabla F.2.

Clase de peligro	Puntuación de peligro
5	10.000
4	1.000
3	100
2	10
1	1

Tabla F.2.- Determinación de la puntuación por clase de peligro.

F.2. DETERMINACIÓN DE LA PUNTUACIÓN POR SUPERFICIE EXPUESTA

En función de la superficie corporal expuesta se asigna una puntuación según lo indicado en la tabla F.3.

Es importante considerar que la utilización de EPI, que evidentemente disminuye la superficie expuesta, no garantiza una protección absoluta y, en cualquier caso, hay que seccionar, utilizar y mantener el EPI adecuadamente.

Superficies expuestas	Puntuación de superficie
Una mano	1
Dos manos Una mano + antebrazo	2
Dos manos + antebrazo Brazo completo	3
Miembros superiores y torso y/o pelvis y/o las piernas	10

Tabla F.3.- Determinación de la puntuación por superficie expuesta.

F.3. DETERMINACIÓN DE LA PUNTUACIÓN POR FRECUENCIA DE EXPOSICIÓN

La clase de frecuencia de exposición se determina según los criterios expuestos en la tabla F.4. Existen cuatro clases de frecuencia de exposición en función de que el uso del producto químico sea

ocasional, intermitente, frecuente o permanente y cada una lleva asignada una puntuación.

Frecuencia de exposición	Puntuación de frecuencia
Ocasional: < 30 min/día	1
Intermitente: 30 min - 2 h/día	2
Frecuente: 2h - 6 h/día	5
Permanente: > 6 h/día	10

Tabla F.4.- Determinación de la puntuación por frecuencia de exposición.

F.4. CÁLCULO DE LA PUNTUACIÓN DEL RIESGO POR CONTACTO/ABSORCIÓN

Una vez que se han determinado la puntuación del peligro, de la superficie expuesta y de la frecuencia de exposición, se calcula la puntuación del riesgo por contacto con la piel y/o absorción (P_{piel}) aplicando la siguiente fórmula:

$$P_{piel} = \text{puntuación peligro} \times \text{puntuación superficie} \times \text{puntuación frecuencia} \quad (F.1)$$

Con esa puntuación, se caracteriza el riesgo utilizando la tabla F.5.

Puntuación del riesgo	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo
> 1.000	1	Riesgo probablemente muy elevado (medidas correctoras inmediatas)
> 100 y ≤ 1.000	2	Riesgo moderado. Necesita probablemente medidas correctoras y/o una evaluación más detallada
≤ 100	3	Riesgo a priori bajo (sin necesidad de modificaciones)

Tabla F.5.- Caracterización del riesgo por contacto y/o absorción.

Con la puntuación obtenida se clasifica el riesgo en tres categorías: riesgo probablemente muy elevado, riesgo moderado y riesgo a priori bajo, cada una de las cuales lleva asociada, correlativamente, una prioridad de acción.

Por tanto, si como resultado de la evaluación el riesgo se clasifica como “riesgo a priori bajo” se podrá:

- concluir la evaluación y elaborar el informe correspondiente,

- continuar con la evaluación del riesgo por absorción a través de la piel, en el caso de que exista notación “vía dérmica” (ver capítulo 10).

Si el riesgo es “moderado” se podrá:

- recurrir al método de evaluación descrito en el Anexo G para obtener una evaluación más detallada y determinar la necesidad de adoptar medidas correctoras,
- continuar con la evaluación del riesgo por absorción a través de la piel, en el caso de que exista notación “vía dérmica” (ver capítulo 10).

Si el riesgo se ha clasificado como “probablemente muy elevado”, habrá que adoptar medidas correctoras inmediatas y volver a evaluar.

BIBLIOGRAFÍA

F.1.- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS). Metodología simplificada del INRS. ND 2233-200-05 Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique. Disponible en web: <http://www.inrs.fr/>

F.2.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. (Publicación anual).

F.3.- Reglamento (CE) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, 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° 1907/2006.

Metodología del RISKOFDERM y la aplicación *Toolkit*

Anexo

G

Para evaluar el riesgo de contacto y absorción por la piel de una sustancia, como ya se indicó en los capítulos 9 y 10, puede aplicarse la metodología basada en el proyecto europeo RISKOFDERM, que proporciona una herramienta informática que permite realizar la evaluación tanto para sustancias con efectos locales (capítulo 9) como para aquéllas con efectos sistémicos (capítulo 10) y que se va a comentar en este anexo.

El proyecto europeo RISKOFDERM se estructuró en cuatro fases:

- 1) Inspección cualitativa. Consiste en una visión general de las tareas, procesos y factores que pueden influir en la exposición por vía dérmica.
- 2) Estudio cuantitativo. Se realizaron medidas y se obtuvieron otros datos cuantitativos acerca de la exposición y los factores determinantes.
- 3) Modelo de la exposición. Se desarrollaron modelos que permiten estimar la exposición mediante la utilización de los datos obtenidos en el estudio cuantitativo.
- 4) Desarrollo de una herramienta informática (*Toolkit*) que considera la información sobre el peligro, la exposición y las medidas de control en la evaluación de riesgos por exposición dérmica.

Es importante destacar que, en la evaluación del riesgo por exposición dérmica, hay que tener en cuenta los distintos tipos de exposición [G.1]:

- Exposición potencial, siendo aquella a la que puede estar expuesta el trabajador cuando realiza el trabajo.
- Exposición real, en función de la cantidad real de sustancia que llega a la capa exterior de la piel del trabajador.
- Exposición interna, en función de la dosis absorbida, es decir, la cantidad de contaminante que penetra en el organismo a través de la piel y se incorpora al torrente sanguíneo.

El modelo de exposición dérmica desarrollado dentro del proyecto RISKOFDERM estima la exposición dérmica potencial, considerando la cantidad total de sustancia que entra en contacto con la ropa de protección y la piel expuesta del trabajador [G.2]. Hay dos normas CEN que tratan de los principios y métodos para la medida de la exposición por vía cutánea [G.4] y de la estrategia para la evaluación de la exposición dérmica [G.5].

La citada herramienta informática permite:

- Realizar una evaluación del riesgo para la salud por exposición dérmica a agentes químicos para una tarea específica, por ejemplo, limpieza de motores en un taller de reparación de vehículos.
- Comparar las propiedades peligrosas de las sustancias químicas, por lo que puede aplicarse en la sustitución de agentes químicos como medida de prevención y en la investigación o comercialización de nuevos productos.

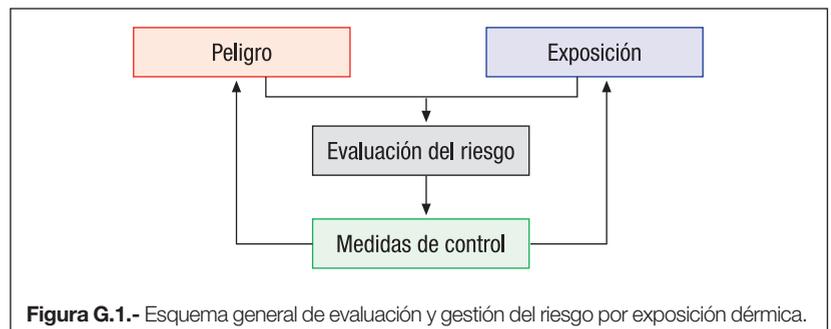
Además, aporta recomendaciones generales para el control del riesgo en diferentes aplicaciones.

La *Toolkit* puede aplicarse tanto a sustancias como a mezclas (productos, preparaciones, etc.). No obstante, sólo puede procesar una mezcla o sustancia y un escenario de exposición al mismo tiempo [G.3].

No es aplicable a una serie de sustancias que figuran en una lista por su elevada toxicidad para la piel [G.3] y tampoco a gases y vapores, lo que significa una limitación de uso que hay que tener en cuenta. Además, no tiene en cuenta las sustancias que afectan a los ojos con la R36.

Está diseñada para tener en cuenta el mayor número posible de variables de peligro y exposición dérmica, combinando los resultados en forma de árbol de decisiones, considerando, de forma independiente, los efectos locales y la sensibilización dérmica y, por otro lado, los efectos sistémicos derivados de la penetración por la piel.

Se valora el peligro y la exposición de forma independiente y una combinación de ambas permite valorar el riesgo (figura G.1).



La aplicación *Toolkit*, en formato Excel, utiliza un sistema de decisión que, a través de catorce pasos, ayuda a los usuarios de la misma a evaluar y mejorar la gestión de los riesgos de exposición por vía dérmica.

La evaluación que se puede realizar con esta herramienta no es muy precisa, ya que no utiliza parámetros exactos. Por tanto, este modelo permite hacer una estimación inicial del riesgo y, para ello, se realizan una serie de aproximaciones acerca del peligro y la exposición. Una vez evaluado el nivel de riesgo, en función del resultado obtenido, propone una serie de medidas de control.

Previamente, el usuario debe recopilar una serie de datos e introducirlos después en la aplicación. Cuanta más información se aporte y más precisa sea, más fiables serán los resultados obtenidos, por lo tanto, es importante leer detalladamente la ficha de datos de seguridad (FDS) o contactar con el proveedor o experto, en caso de que sea necesario.

De modo general, los catorce pasos se pueden agrupar en tres etapas:

- 1) Selección de la situación que se desea evaluar.
- 2) Determinación de los factores de peligro y de exposición y valoración de los mismos.
- 3) Elaboración del informe.

1) Selección de la situación que se desea evaluar

Mediante una serie de preguntas generales, se identifican los escenarios de exposición dérmica en diferentes sectores, tareas o procesos, llamados unidades DEO (Dermal Exposure Operation). Para cada tarea o proceso que se haya identificado, se realiza una evaluación independiente.

La aplicación *Toolkit* permite elegir la opción que mejor se aproxime a la actividad objeto de evaluación entre las siguientes unidades DEO [G.2]:

- Manipulación de objetos (por ejemplo: operaciones de llenado, mezcla y carga, como en el envasado de pinturas en botes, vertido de polvo a una tolva, añadir un producto de limpieza a un cubo de agua y agitar la mezcla con una espátula).
- Dispersión manual de productos/sustancias (por ejemplo: operaciones de limpieza como sumergir un paño y escurrir, etc.).
- Dispersión de productos/sustancias mediante el uso de herramientas manuales (por ejemplo: extender el producto con un rastrillo, aplicar con un rodillo, operación de cepillado, etc.).
- Dispersión de productos/sustancias por pulverización.

- Inmersión de objetos en productos/sustancias.
- Tratamiento mecánico de sólidos (por ejemplo: pulido de un metal, aserrado de la madera, taladro, molienda).

En esta primera etapa se identifican también los productos y/o sustancias utilizadas.

2) Determinación de los factores de peligro y de exposición y valoración de los mismos

Se seleccionan las variables que influyen en el peligro y la exposición, en función de la situación definida en el primer paso, y se estima su valor en el caso más desfavorable.

La *Toolkit* solicita información sobre el peligro y la exposición y, en base a cada una de ellas, asigna una puntuación o nivel [G.3].

PELIGRO:

Se estima la toxicidad intrínseca (TI) de la sustancia o mezcla que se desea evaluar y se asigna una puntuación, que se considerará en la evaluación de forma independiente para efectos locales y sensibilización dérmica (TI_L) y para efectos sistémicos (TI_S) derivados de la penetración a través de la piel.

- A partir de las frases R, se asigna una puntuación de peligro en función de la toxicidad intrínseca de sustancias con efectos locales (TI_L) y sistémicos derivados de la penetración a través de la piel (TI_S) (tabla G.1 y tabla G.2):

FRASES R	PUNTUACIÓN TOXICIDAD INTRÍNSECA TI _L
No tiene ninguna frase R	SIN TOXICIDAD INTRÍSECA
No tiene ninguna de las que figuran en las categorías siguientes	BAJA
R 66 R 38	MODERADA
R 34 pH ≤2 o pH ≥ 11,5 (*)	ALTA
R 35 R 43	MUY ALTA
R 45	EXTREMA

(*) Se aplica sólo a disoluciones acuosas o mezclas.

Tabla G.1.- Asignación del peligro en función de la toxicidad intrínseca de sustancias con efectos locales (TI_L).

FRASES R	PUNTUACIÓN TOXICIDAD INTRÍNSECA TI _S
No tiene ninguna frase R	SIN TOXICIDAD INTRÍSECA
No tiene ninguna de las que figuran en las categorías siguientes, R 67	BAJA
R20, R21, R22 R 40/20, R40/21, R40/22 R 48/20, R48/21, R48/22 R62, R63	MODERADA
R23, R24, R25, R29 R31, R33, R40, R41, R64 R39/23, R39/24, R39/25 R 48/23, R48/24, R48/25	ALTA
R26, R27, R28, R32 R39/26, R39/27, R39/28	MUY ALTA
R60, R61, R45, R46	EXTREMA

Tabla G.2.- Asignación del peligro en función de la toxicidad intrínseca de sustancias con efectos sistémicos derivados de la penetración a través de la piel (TI_S).

Cuando no se tiene información sobre las frases R, no se puede obtener ningún resultado. Se para el procedimiento y se recomienda aportar una información básica antes de continuar, puesto que sin esta información no se puede estimar el peligro de la sustancia ni, por tanto, asignar una puntuación.

- Cuando la sustancia se diluye con agua antes de su utilización, se recalcula la toxicidad intrínseca para los efectos locales (TI_L) y se asigna una nueva puntuación en base a la concentración.

Por ejemplo, en el caso de una sustancia que tenga la frase R38 (“Irrita la piel”), para la que se había asignado una puntuación de peligro moderada (en función de su TI_L , según la tabla G.1), cuando se utilice diluida con agua en una concentración menor del 20%, se recalcula la puntuación y pasará de ser moderada a baja.

- A continuación, se realizan una serie de preguntas, que se irán marcando según sea la similitud con la situación a evaluar, entre las que se incluyen si “contiene peróxidos o hidroperóxidos orgánicos”, etc. Toda esta información se puede obtener de las fichas de datos de seguridad (FDS).

De esta forma, se vuelve a recalcular la puntuación para la TI_L y TI_S que, en este caso, sólo podrá aumentar.

Se obtiene una puntuación de peligro para los efectos locales y otra para los efectos sistémicos.

En caso de que el objetivo sea únicamente la evaluación del peligro, se puede detener aquí y la aplicación recomienda tomar una serie de acciones. En caso contrario, se continuará con la etapa siguiente de evaluación de la exposición.

Si se desea comparar el peligro de dos sustancias, se comparan las puntuaciones obtenidas para cada una de ellas aplicándolas por separado para efectos locales y sistémicos.

EXPOSICIÓN (real):

Para estimar la exposición, la *Toolkit* asigna un valor por defecto para manos y otro para cuerpo en función de una situación típica similar predeterminada o unidad DEO y, a partir de ahí, se estimará el valor para la exposición a evaluar considerando unos factores de contribución según sea la exposición por contacto directo con la sustancia, por contacto indirecto (con una superficie contaminada) o por deposición (impacto de la sustancia con la piel) y aplicando, a continuación, unos factores de corrección.

Aquí se tiene en cuenta la superficie del cuerpo expuesta (se considera exposición potencial, por lo tanto hay que tener en cuenta toda la superficie que puede contaminarse, esté protegida o no) y

la duración de la tarea (expresada en horas/día). Del tratamiento de esta información se obtienen puntuaciones de la exposición real para sustancias con efectos locales y de la exposición interna para sustancias con efectos sistémicos.

Los valores que se asignan son valores que se han obtenido experimentalmente y está previsto que sean actualizados.

Si los valores dados por defecto no se consideran adecuados, se podrán aportar los obtenidos experimentalmente para el caso estudiado y sobre éstos se hacen las correcciones correspondientes ya mencionadas.

En las correcciones se tiene en cuenta la forma en que se produzca el contacto, la forma de manipular el producto en la tarea, el estado físico que mejor describa al producto cuando se aplica, las condiciones de trabajo (temperatura del proceso, si hay spray de líquidos o sólidos, proximidad del trabajador a la fuente, espacio para realizar el trabajo, orientación del trabajador respecto de la fuente, duración de la tarea), el procedimiento (grado de automatización, segregación, contención, ventilación), el tipo de ropa de trabajo, la superficie del área expuesta y la duración diaria del trabajo.

RIESGO:

La estimación del riesgo se obtiene mediante la combinación de las puntuaciones de peligro, obtenidas por separado para los efectos locales y sistémicos, y la obtenida para la exposición, llegando a una puntuación que puede variar entre 1 y 10.

En función de la puntuación obtenida en cada caso, se proponen las siguientes acciones (tabla G.3):

PUNTUACIÓN	ACCIÓN
1	Ninguna acción
2	Ninguna acción específica; básicamente, cuidado de la piel
3	Reducir la exposición adoptando medidas sencillas
4	Necesario tomar medidas: considerar reducir la exposición fundamentalmente
5	Deseable reducir el peligro
6	Necesario tomar medidas: análisis detallado prioritario
7	Urgente reducir la exposición
8	Tolerable excepcionalmente; se aconseja la sustitución
9	Reducir la exposición drásticamente en cualquier caso. Interrumpir el trabajo
10	Sustituir en cualquier caso. Interrumpir el trabajo

Tabla G.3.- Acciones según puntuación del riesgo.

CONTROL:

Cuando el peligro, exposición o riesgo evaluado es inaceptable, se recomiendan medidas de control encaminadas a reducir el peligro (como la sustitución de un agente químico por otro) o la exposición (como la adopción de medidas técnicas, organizativas o de protección individual).

Después de hacer una estimación del riesgo de exposición dérmica, la herramienta ofrece la posibilidad de investigar las diferentes formas para reducir el peligro, la exposición o el riesgo en la situación evaluada.

Entre las medidas de control propuestas, la primera de ellas es la sustitución de la sustancia peligrosa por otra de menor peligrosidad o bien la sustitución del procedimiento de trabajo por otro en el que la exposición sea menor. Para ello, la aplicación realiza una estimación del nuevo peligro y la nueva exposición y, por lo tanto, del nuevo riesgo.

Entre las demás medidas de control técnico que se proponen, figuran las siguientes:

- Contención de la fuente de contaminación.
- Uso de herramientas (importante principalmente para las exposiciones por contacto directo).
- Ventilación (importante principalmente en exposiciones a polvo y aerosoles, por deposición de las partículas desde el aire).

Medidas organizativas:

- Reducción de la cantidad de sustancia utilizada.
- Reducción de la duración de la exposición.
- Reducción de la superficie expuesta.
- Formación e instrucciones.
- Medidas de higiene y limpieza.

Medidas de protección personal:

- Utilización de ropa de protección frente a agentes químicos (trajes, guantes, gafas o pantallas de protección, etc.).
- Limpieza adecuada y descontaminación de la ropa.
- Limpieza de las manos con agua y jabón.
- Cuidado y protección de la piel con cremas antes de comenzar el trabajo (sobre todo para sustancias con efectos locales).

3) Elaboración del informe

Mediante las respuestas aportadas en las dos etapas anteriores, la aplicación extrae la información reflejada y elabora un informe, que contempla:

- Una predicción del peligro, considerando de forma independiente, por un lado, efectos locales y de sensibilización dérmica y, por otro, los efectos sistémicos.
- Una predicción de la exposición dérmica en el lugar de trabajo, si conlleva efectos locales o sistémicos.
- Una predicción del nivel de riesgo que existe de provocar efectos locales o sistémicos (entre 1 si no existe riesgo y 10 si es extremo) y las medidas de control propuestas en cada caso para evitar o disminuir el riesgo.

Además, en esta última parte, la herramienta ofrece la posibilidad de comprobar el impacto que tendría la adopción de las medidas de control propuestas sobre el peligro, la exposición y/o el riesgo.

Para estas medidas de control, citadas anteriormente, establece cuatro niveles de prioridad según la tabla G.4.

PRIORIDAD	MEDIDAS DE CONTROL
1	Sustitución del producto peligroso
2	Contención de la fuente de peligro Utilización de herramientas en lugar de las manos Ventilación
3	Reducción de la cantidad de producto utilizado Reducción del tiempo de exposición Reducción de la superficie expuesta Formación e instrucciones Medidas de higiene y limpieza
4	Ropa de protección Descontaminación de la ropa Protección de cabeza, cara y ojos Limpieza de las manos con agua y jabón adecuado Cremas de protección y cuidado de la piel (antes del inicio del trabajo)

Tabla G.4.- Niveles de prioridad y medidas de control.

En todo momento, la aplicación hace una llamada de responsabilidad al usuario de esta herramienta, manifestando que todo se basa en estimaciones y aproximaciones que no siempre van a ser garantía de estar en condiciones seguras.

BIBLIOGRAFÍA

G.1.- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 697 "Exposición a contaminantes por vía dérmica".

G.2.- The RISKOFDERM Dermal Exposure Model Version 2.0- Guidance Document. TNO, HSL, April 2006.

G.3.- RISKOFDERM. Final Paper Version of Toolkit. 4th. December 2003.

G.4.- Workplace exposure. Measurement of dermal exposure. Principles and methods. 2006.

G.5.- Workplace exposure. Strategy for the evaluation of dermal exposure. CEN/TR 15278. 2006.

Correspondencia entre el RD 363/1995 y el Reglamento (CE) n° 1272/2008

Anexo

H

Las sustancias químicas se fabrican y se comercializan en todo el mundo. Aunque una sustancia tiene los mismos peligros en cualquier parte, se utilizan distintos sistemas de clasificación y etiquetado. Así, se puede encontrar que una misma sustancia puede estar clasificada como tóxica en un país y en otro no. Estos diferentes criterios de clasificación, además de dificultar la exportación de productos, suponen un peligro para la salud de los trabajadores, ya que reciben diferentes informaciones de una misma sustancia dependiendo del lugar en el que trabajen.

A nivel mundial se decidió que, para mejorar la protección de la salud de los trabajadores y del medio ambiente, era necesario armonizar estos criterios mediante un sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias.

Como parte de esa armonización mundial, la Comisión Europea adoptó, a finales del año 2008, el Reglamento n° 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas peligrosas (denominado Reglamento CLP) [H.1] que sustituirá a medio plazo al sistema actual contemplado en el RD 363/1995 para las sustancias [H.2] y el RD 255/2003 para los preparados [H.3]. Este reglamento tiene como finalidad adaptar el sistema global armonizado (GHS) a la legislación europea en materia de sustancias químicas peligrosas.

El CLP ha considerado los criterios de clasificación y las normas de etiquetado del GHS, adaptándolos a la experiencia acumulada a lo largo de los cuarenta años de aplicación de la legislación comunitaria sobre sustancias químicas ya existente.

El nuevo Reglamento se aplicará a las sustancias de forma obligatoria a partir del 1/12/2010¹. En el caso de las mezclas, se comen-

¹ Para las sustancias comercializadas antes del 1/12/2010 se extiende esta fecha hasta el 1/12/2012 por lo que respecta al etiquetado y envasado.

zará a aplicar a partir del 1/06/2015² obligatoriamente. Tanto para las sustancias como para las mezclas, mientras no sea obligatoria la aplicación del nuevo reglamento, se podrán seguir ambos sistemas.

En el Reglamento CLP se definen 28 clases de peligros: 16 clases de peligro físico, 10 clases de peligro para la salud y 2 clases de peligro para el medio ambiente. Las clases basadas en las propiedades fisicoquímicas difieren de las actuales categorías de peligro. De hecho, se basan en las clases definidas en la legislación internacional sobre el transporte de mercancías peligrosas. En consecuencia, algunas clases resultan desconocidas para los usuarios europeos. Por otro lado, en cuanto a los peligros para la salud, se han introducido nuevas clases para definir de una forma más precisa los riesgos que para la misma pueden conllevar las sustancias peligrosas.

Los siete pictogramas que había en la legislación anterior se sustituyen por nueve (figura H.1). Además, las letras que acompañaban a los antiguos pictogramas (“E” para explosivos, “F” para inflamables, etc.) se sustituyen por “*Palabras de Advertencia*”, que son solamente dos y se utilizan para dar una idea del grado de importancia: “ATENCIÓN” y “PELIGRO”, siendo éste el orden creciente de gravedad. En las figuras H.2, H.3 y H.4 se muestra la correspondencia entre los pictogramas del RD 363/1995 y los del Reglamento CLP.



² Para las mezclas comercializadas antes del 1/06/2015, se extiende esta fecha hasta el 1/06/2017 por lo que respecta al etiquetado y envasado.

CLASES DE PELIGRO SEGÚN RD 363/1995	CLASES DE PELIGRO SEGÚN CLP	PICTOGRAMA RD 363/1995	PICTOGRAMA CLP
Explosivos	Explosivos	 E	
Inflamables	Inflamables	 F, F+	
Comburentes	Comburentes	 O	
Corrosivos	Corrosivos	 C	
	Gases a presión	Sin pictograma	

Figura H.2.- Correspondencia entre los pictogramas del RD 363/1995 y los del Reglamento CLP para peligros físicos.

CLASES DE PELIGRO SEGÚN RD 363/1995	CLASES DE PELIGRO SEGÚN CLP	PICTOGRAMA RD 363/1995	PICTOGRAMA CLP
Toxicidad aguda	Toxicidad aguda	 T, T+  Xn	 
Corrosivos	Corrosión o irritación cutánea	 Xi  C	 
	Lesión ocular grave o irritación ocular	 Xi	
Sensibilizantes	Sensibilizantes respiratorios o cutáneos	 Xn, Xi	 
Mutagénicos	Mutagenicidad en las células germinales	 	
Carcinogénicos	Carcinogénicos	 	
Tóxicos para la reproducción	Tóxicos para la reproducción y efectos sobre la lactancia o a través de ella	 	
	Toxicidad específica en determinados órganos tras una exposición única	 	 
	Toxicidad específica en determinados órganos tras exposiciones repetidas	 	
	Toxicidad por aspiración		

Figura H.3.- Correspondencia entre los pictogramas del RD 363/1995 y los del Reglamento CLP para peligros para la salud.

CLASES DE PELIGRO SEGÚN RD 363/1995	CLASES DE PELIGRO SEGÚN CLP	PICTOGRAMA RD 363/1995	PICTOGRAMA CLP
Peligroso para el medio ambiente	Peligroso para el medio ambiente		
Figura H.4.- Correspondencia entre los pictogramas del RD 363/1995 y los del Reglamento CLP para peligros para el medio ambiente.			

Las antiguas frases de riesgo (frases R) pasan a llamarse “Indicaciones de Peligro” o “Frases H” y tienen la particularidad de que las que se refieren a peligros físicos empiezan a partir de la H200; para peligros para la salud lo hacen a partir de la H300, mientras que para los peligros relacionados con el medio ambiente se reservan los lugares a partir de H400.

Las “Frases S” (desde S1 a S64) pasan a llamarse “Consejos de Prudencia” o “Frases P” con la particularidad de que comienzan en la P100 y serán de cinco tipos: unas generales (comienzo en P100), de prevención (comienzo en P200), de respuesta (comienzo en P300), de almacenamiento (comienzo en P400) y de eliminación (comienzo en P500).

Respecto a las fichas de datos de seguridad (FDS), se mantiene la estructura de los 16 apartados. Se introducen modificaciones, como la posibilidad de incluir anexos, se amplía la obligación de informar sobre nuevos usos del producto, de forma que los usuarios deberán informar a los agentes de la cadena de suministro sobre un nuevo uso que dé al producto y, finalmente, se hace obligatoria una nueva versión de la FDS cuando se disponga de datos sobre un nuevo peligro, cuando se conceda o deniegue una autorización y cuando se imponga una restricción en aplicación del REACH.

En el anexo VII del Reglamento n° 1272/2008 [H.1] hay una tabla con las correspondencias entre la clasificación de una sustancia o mezcla según la Directiva 67/548/CEE o la Directiva 1999/45/CE y su correspondiente clasificación según el Reglamento CLP.

H.1. CORRESPONDENCIA DE FRASES ENTRE EL RD 363/1995 Y EL REGLAMENTO (CE) N° 1272/2008 PARA PELIGROS FÍSICOS

CLASIFICACIÓN SEGÚN RD 363/1995	ESTADO FÍSICO DE LA SUSTANCIA	CLASIFICACIÓN SEGÚN CLP		NOTA
		CLASE Y CATEGORÍA DE PELIGRO	INDICACIÓN DE PELIGRO	
E; R2		No hay correspondencia directa posible		
E; R3		No hay correspondencia directa posible		
O; R7		Peróx. Org. CD	H242	
		Peróx. Org. EF	H242	
O; R8	Gas	Gas comb. 1	H270	
O; R8	Líquido, sólido	No hay correspondencia directa posible		
O; R9	Líquido	Líqu. Comb. 1	H271	
O; R9	Sólido	Sol. Comb. 1	H271	
R10	Líquido	<p>No hay correspondencia directa posible.</p> <p>La correspondencia correcta de R10, Líquido, es:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Líq. infl. 1, H224 si punto de inflamación < 23 °C y punto inicial de ebullición ≤ 35 °C – Líq. infl. 2, H225 si punto de inflamación < 23 °C y punto inicial de ebullición > 35 °C – Líq. infl. 3, H226 si punto de inflamación ≥ 23 °C 		
F; R11	Líquido	<p>No hay correspondencia directa posible.</p> <p>La correspondencia correcta de F; R11, Líquido, es:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Líq. infl. 1, H224 si punto inicial de ebullición ≤ 35 °C – Líq. infl. 2, H225 si punto inicial de ebullición > 35 °C 		
F; R11	Sólido	No hay correspondencia directa posible		
F+; R12	Gas	<p>No hay correspondencia directa posible.</p> <p>La correspondencia correcta de F+; R12, Gas, es Gas infl. 1, H220 o Gas infl. 2, H221.</p>		
F+; R12	Líquido	Líqu. Infl. 1	H224	
F+; R12	Líquido	Autorreact. CD	H242	
		Autorreact. EF	H242	
		Autorreact. G	Nada	
F; R15		No hay correspondencia posible		
F; R17	Líquido	Líqu. pir. 1	H250	
F; R17	Sólido	Sol. pir. 1	H250	

Tabla H.1.- Correspondencia entre el RD 363/1995 y el Reglamento (CE) n° 1272/2008 para peligros físicos.

H.2. CORRESPONDENCIA DE FRASES ENTRE EL RD 363/1995 Y EL REGLAMENTO (CE) N° 1272/2008 PARA PELIGROS PARA LA SALUD

CLASIFICACIÓN SEGÚN RD 363/1995	ESTADO FÍSICO DE LA SUSTANCIA	CLASIFICACIÓN SEGÚN CLP		NOTA
		CLASE Y CATEGORÍA DE PELIGRO	INDICACIÓN DE PELIGRO	
Xn; R20	Gas	Tox. ag. 4	H332	(1)
Xn; R20	Vapor	Tox. ag. 4	H332	(1)
Xn; R20	Polvo o niebla	Tox. ag. 4	H332	
Xn; R21		Tox. ag. 4	H312	(1)
Xn; R22		Tox. ag. 4	H302	(1)
T; R23	Gas	Tox. ag. 3	H331	(1)
T; R23	Vapor	Tox. ag. 2	H330	
T; R23	Polvo o niebla	Tox. ag. 3	H331	(1)
T; R24		Tox. ag. 3	H311	(1)
T; R25		Tox. ag. 3	H301	(1)
T+; R26	Gas	Tox. ag. 2	H330	(1)
T+; R26	Vapor	Tox. ag. 1	H330	
T+; R26	Polvo o niebla	Tox. ag. 2	H330	(1)
T+; R27		Tox. ag. 1	H310	
T+; R28		Tox. ag. 2	H300	(1)
R33		STOT repe. 2	H373	(3)
C; R34		Corr. cut. 1B	H314	(2)
C; R35		Corr. cut. 1A	H314	
Xi; R36		Irrit. oc.2	H319	
Xi; R37		STOT única 3	H335	
Xi; R38		Irrit. cut.2	H315	
T; R39/23		STOT única 1	H370	(3)
T; R39/24		STOT única 1	H370	(3)
T; R39/25		STOT única 1	H370	(3)
T+;R39/26		STOT única 1	H370	(3)
T+;R39/27		STOT única 1	H370	(3)
T+;R39/28		STOT única 1	H370	(3)
Xi; R41		Les. oc 1	H318	
R42		Sens. resp. 1	H334	
R43		Sens. cut. 1	H317	
Xn; R48/20		STOT repe. 2	H373	(3)
Xn; R48/21		STOT repe. 2	H373	(3)
Xn; R48/22		STOT repe. 2	H373	(3)
T; R48/23		STOT repe. 1	H372	(3)
T; R48/24		STOT repe. 1	H372	(3)
T; R48/25		STOT repe. 1	H372	(3)

Tabla H.2.- Correspondencia entre el RD 363/1995 y el Reglamento (CE) n° 1272/2008 para peligros para la salud.

CLASIFICACIÓN SEGÚN RD 363/1995	ESTADO FÍSICO DE LA SUSTANCIA	CLASIFICACIÓN SEGÚN CLP		NOTA
		CLASE Y CATEGORÍA DE PELIGRO	INDICACIÓN DE PELIGRO	
R64		Lact.	H362	
Xn; R65		Tox. asp. 1	H304	
R67		STOT única 3	H336	
Xn; R68/20		STOT única 2	H371	(3)
Xn; R68/21		STOT única 2	H371	(3)
Xn; R68/22		STOT única 2	H371	(3)
Carc. Cat. 1; R45		Carc. 1A	H350	
Carc. Cat. 2; R45		Carc. 1B	H350	
Carc. Cat. 1; R49		Carc. 1A	H350i	
Carc. Cat. 2; R49		Carc. 1B	H350i	
Carc. Cat. 3; R40		Carc. 2	H351	
Muta. Cat. 1; R46		Muta. 1A	H340	
Muta. Cat. 2; R46		Muta. 1B	H340	
Muta. Cat. 3; R68		Muta. 2	H341	
Repr. Cat. 1; R60		Repr. 1A	H360F	(4)
Repr. Cat. 2; R60		Repr. 1B	H360F	(4)
Repr. Cat. 1; R61		Repr. 1A	H360D	(4)
Repr. Cat. 2; R61		Repr. 1B	H360D	(4)
Repr. Cat. 3; R62		Repr. 2	H361f	(4)
Repr. Cat. 3; R63		Repr. 2	H361d	(4)
Repr. Cat. 1; R60-61		Repr. 1A	H360FD	
Repr. Cat. 1; R60 Repr. Cat. 2; R61		Repr. 1A	H360FD	
Repr. Cat. 2; R60 Repr. Cat. 1; R61		Repr. 1A	H360FD	
Repr. Cat. 2; R60-61		Repr. 1B	H360FD	
Repr. Cat. 3; R62-63		Repr. 2	H361fd	
Repr. Cat. 1; R60 Repr. Cat. 3; R63		Repr. 1A	H360Fd	
Repr. Cat. 2; R60 Repr. Cat. 3; R63		Repr. 1B	H360Fd	
Repr. Cat. 1; R61 Repr. Cat. 3; R62		Repr. 1A	H360Df	
Repr. Cat. 2; R61 Repr. Cat. 3; R62		Repr. 1B	H360Df	

Tabla H.2.- Correspondencia entre el RD 363/1995 y el Reglamento (CE) n° 1272/2008 para peligros para la salud (cont.).

Nota 1

Para estas clases se puede usar la clasificación mínima recomendada, descrita en la sección 1.2.1.1 del anexo VI. Pueden existir datos o información que indiquen que es más apropiada una reclasificación en una categoría más severa.

Nota 2

Se recomienda la clasificación en la categoría 1B, si bien en algunos casos podría aplicarse la 1C para ciertos gases. Volviendo a los datos originales, tal vez no sea posible distinguir entre las categorías 1B y 1C, pues el período de exposición habitual habrá sido de hasta 4 horas, según el Reglamento (CE) n° 440/2008. No obstante, en el futuro, cuando los datos se deriven de pruebas secuenciales, como se recomienda en el Reglamento (CE) n° 440/2008, deberá considerarse la categoría 1C.

Nota 3

Podría añadirse la vía de exposición a la indicación de peligro si se ha demostrado concluyentemente que el peligro no se produce por ninguna otra vía de exposición.

Nota 4

Las indicaciones de peligro H360 y H361 señalan una preocupación general por los dos tipos de peligro que se contemplan en la toxicidad para la reproducción, es decir, los efectos sobre la fertilidad y los efectos sobre el desarrollo: «Puede perjudicar/Se sospecha que puede perjudicar a la fertilidad» o «puede dañar/se sospecha que puede dañar al feto». Según los criterios de clasificación (anexo I, sección 3.7), la indicación general de peligro puede sustituirse por otra en la que aparezca sólo la propiedad preocupante, en el caso de que se demuestre que los efectos sobre la fertilidad o sobre el desarrollo no son pertinentes.

STOT: Toxicidad específica en determinados órganos.

H.3. CORRESPONDENCIA DE FRASES ENTRE EL RD 363/1995 Y EL REGLAMENTO (CE) N° 1272/2008 PARA PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE

CLASIFICACIÓN SEGÚN RD 363/1995	ESTADO FÍSICO DE LA SUSTANCIA	CLASIFICACIÓN SEGÚN CLP		NOTA
		CLASE Y CATEGORÍA DE PELIGRO	INDICACIÓN DE PELIGRO	
N; R50		Acuático agudo 1	H400	
N; R50-53		Acuático agudo 1 Acuático crónico 1	H400 H410	
N; R51-53		Acuático crónico 2	H411	
R52-53		Acuático crónico 3	H412	
R53		Acuático crónico 4	H413	
N; R59		Ozono	EUH059	

Tabla H.3.- Correspondencia entre el RD 363/1995 y el Reglamento (CE) n° 1272/2008 para peligros para el medio ambiente.

H.4. CORRESPONDENCIA ENTRE LAS FRASES DE RIESGO ATRIBUIDAS EN EL RD 363/1995 Y LOS REQUISITOS DE ETIQUETADO DEL REGLAMENTO CLP

RD 363/1995	REGLAMENTO CLP
R1	EUH001
R6	EUH006
R14	EUH014
R18	EUH018
R19	EUH019
R44	EUH044
R29	EUH029
R31	EUH031
R32	EUH032
R66	EUH066
R39-41	EUH070

Tabla H.4.- Correspondencia entre frases R del RD 363/1995 y requisitos de etiquetado del Reglamento (CE) n° 1272/2008.

H.5. LISTADO DE FRASES R

- R1** Explosivo en estado seco.
- R2** Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- R3** Alto riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- R4** Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles.
- R5** Peligro de explosión en caso de calentamiento.
- R6** Peligro de explosión en contacto o sin contacto con el aire.
- R7** Puede provocar incendios.
- R8** Peligro de fuego en contacto con materias combustibles.
- R9** Peligro de explosión al mezclar con materias combustibles.
- R10** Inflamable.
- R11** Fácilmente inflamable.
- R12** Extremadamente inflamable.
- R14** Reacciona violentamente con el agua.
- R15** Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables.
- R16** Puede explosionar en mezcla con sustancias comburentes.
- R17** Se inflama espontáneamente en contacto con el aire.
- R18** Al usarlo pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas/inflamables.
- R19** Puede formar peróxidos explosivos.
- R20** Nocivo por inhalación.
- R21** Nocivo en contacto con la piel.
- R22** Nocivo por ingestión.
- R23** Tóxico por inhalación.
- R24** Tóxico en contacto con la piel.
- R25** Tóxico por ingestión.
- R26** Muy tóxico por inhalación.
- R27** Muy tóxico en contacto con la piel.
- R28** Muy tóxico por ingestión.
- R29** En contacto con agua libera gases tóxicos.
- R30** Puede inflamarse fácilmente al usarlo.
- R31** En contacto con ácidos libera gases tóxicos.
- R32** En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos.

- R33** Peligro de efectos acumulativos.
- R34** Provoca quemaduras.
- R35** Provoca quemaduras graves.
- R36** Irrita los ojos.
- R37** Irrita las vías respiratorias.
- R38** Irrita la piel.
- R39** Peligro de efectos irreversibles muy graves.
- R40** Posibles efectos cancerígenos.
- R41** Riesgo de lesiones oculares graves.
- R42** Posibilidad de sensibilización por inhalación.
- R43** Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.
- R44** Riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado.
- R45** Puede causar cáncer.
- R46** Puede causar alteraciones genéticas hereditarias.
- R48** Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada.
- R49** Puede causar cáncer por inhalación.
- R50** Muy tóxico para los organismos acuáticos.
- R51** Tóxico para los organismos acuáticos.
- R52** Nocivo para los organismos acuáticos.
- R53** Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R54** Tóxico para la flora.
- R55** Tóxico para la fauna.
- R56** Tóxico para los organismos del suelo.
- R57** Tóxico para las abejas.
- R58** Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente.
- R59** Peligroso para la capa de ozono.
- R60** Puede perjudicar la fertilidad.
- R61** Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R62** Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.
- R63** Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R64** Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.
- R65** Nocivo: Si se ingiere puede causar daño pulmonar.
- R66** La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.

R67 La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo.

R68 Posibilidad de efectos irreversibles.

R14/15 Reacciona violentamente con el agua, liberando gases extremadamente inflamables.

R15/29 En contacto con el agua, libera gases tóxicos y extremadamente inflamables.

R20/21 Nocivo por inhalación y en contacto con la piel.

R20/22 Nocivo por inhalación y por ingestión.

R20/21/22 Nocivo por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.

R21/22 Nocivo en contacto con la piel y por ingestión.

R23/24 Tóxico por inhalación y en contacto con la piel.

R23/25 Tóxico por inhalación y por ingestión.

R23/24/25 Tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.

R24/25 Tóxico en contacto con la piel y por ingestión.

R26/27 Muy tóxico por inhalación y en contacto con la piel.

R26/28 Muy tóxico por inhalación y por ingestión.

R26/27/28 Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.

R27/28 Muy tóxico en contacto con la piel y por ingestión.

R36/37 Irrita los ojos y las vías respiratorias.

R36/38 Irrita los ojos y la piel.

R36/37/38 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.

R37/38 Irrita las vías respiratorias y la piel.

R39/23 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación.

R39/24 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.

R39/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.

R39/23/24 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.

R39/23/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.

R39/24/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.

R39/23/24/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.

R39/26 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación.

R39/27 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.

R39/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.

R39/26/27 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.

R39/26/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.

R39/27/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.

R39/26/27/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.

R42/43 Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.

R48/20 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.

R48/21 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.

R48/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.

R48/20/21 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.

R48/20/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.

R48/21/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.

R48/20/21/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.

R48/23 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.

R48/24 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.

R48/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.

R48/23/24 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.

R48/23/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.

R48/24/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.

R48/23/24/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.

R50/53 Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

R51/53 Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

R52/53 Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

R68/20 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación.

R68/21 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por contacto con la piel.

R68/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por ingestión.

R68/20/21 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación y contacto con la piel.

R68/20/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación e ingestión.

R68/21/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles en contacto con la piel e ingestión.

R68/20/21/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación, contacto con la piel e ingestión.

H.6. LISTADO DE FRASES H

H200 Explosivo inestable.

H201 Explosivo; peligro de explosión en masa.

H202 Explosivo; grave peligro de proyección.

H203 Explosivo; peligro de incendio, de onda expansiva o de proyección.

H204 Peligro de incendio o de proyección.

H205 Peligro de explosión en masa en caso de incendio.

H220 Gas extremadamente inflamable.

H221 Gas inflamable.

H222 Aerosol extremadamente inflamable.

H223 Aerosol inflamable.

H224 Líquido y vapores extremadamente inflamables.

- H225** Líquido y vapores muy inflamables.
- H226** Líquido y vapores inflamables.
- H228** Sólido inflamable.
- H240** Peligro de explosión en caso de calentamiento.
- H241** Peligro de incendio o explosión en caso de calentamiento.
- H242** Peligro de incendio en caso de calentamiento.
- H250** Se inflama espontáneamente en contacto con el aire.
- H251** Se calienta espontáneamente; puede inflamarse.
- H252** Se calienta espontáneamente en grandes cantidades; puede inflamarse.
- H260** En contacto con el agua desprende gases inflamables que pueden inflamarse espontáneamente.
- H261** En contacto con el agua desprende gases inflamables.
- H270** Puede provocar o agravar un incendio; comburente.
- H271** Puede provocar un incendio o una explosión; muy comburente.
- H272** Puede agravar un incendio; comburente.
- H280** Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
- H281** Contiene gas refrigerado, puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.
- H290** Puede ser corrosivo para los metales.
- H300** Mortal en caso de ingestión.
- H301** Tóxico en caso de ingestión.
- H302** Nocivo en caso de ingestión.
- H304** Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.
- H310** Mortal en contacto con la piel.
- H311** Tóxico en contacto con la piel.
- H312** Nocivo en contacto con la piel.
- H314** Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves
- H315** Provoca irritación cutánea.
- H317** Puede provocar una reacción alérgica en la piel.
- H318** Provoca lesiones oculares graves.
- H319** Provoca irritación ocular grave.
- H330** Mortal en caso de inhalación.
- H331** Tóxico en caso de inhalación.

- H332** Nocivo en caso de inhalación.
- H334** Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación.
- H335** Puede irritar las vías respiratorias.
- H336** Puede provocar somnolencia o vértigo.
- H340** Puede provocar defectos genéticos.
- H341** Se sospecha que provoca defectos genéticos.
- H350** Puede provocar cáncer.
- H351** Se sospecha que provoca cáncer.
- H350i** Puede provocar cáncer por inhalación.
- H360** Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto.
- H360F** Puede perjudicar a la fertilidad.
- H360D** Puede dañar al feto.
- H360Fd** Puede perjudicar a la fertilidad. Se sospecha que daña al feto.
- H360Df** Puede dañar al feto. Se sospecha que perjudica a la fertilidad.
- H360FD** Puede perjudicar a la fertilidad. Puede dañar al feto.
- H361** Se sospecha que puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto.
- H361f** Se sospecha que perjudica a la fertilidad.
- H361d** Se sospecha que daña al feto.
- H361fd** Se sospecha que perjudica a la fertilidad. Se sospecha que daña al feto.
- H362** Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.
- H370** Perjudica a determinados órganos.
- H371** Puede perjudicar a determinados órganos.
- H372** Perjudica a determinados órganos por exposición prolongada o repetida.
- H373** Puede perjudicar a determinados órganos por exposición prolongada o repetida.
- H400** Muy tóxico para los organismos acuáticos.
- H410** Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
- H411** Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
- H412** Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

- H413** Puede ser nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
- EUH001** Explosivo en estado seco.
- EUH006** Explosivo en contacto o sin contacto con el aire.
- EUH014** Reacciona violentamente con el agua.
- EUH018** Al usarlo pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas o inflamables.
- EUH019** Puede formar peróxidos explosivos.
- EUH029** En contacto con agua libera gases tóxicos.
- EUH031** En contacto con ácidos libera gases tóxicos.
- EUH032** En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos.
- EUH044** Riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado.
- EUH059** Peligroso para la capa de ozono.
- EUH066** La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.
- EUH070** Tóxico en contacto con los ojos.
- EUH071** Corrosivo para las vías respiratorias.
- EUH201** Contiene plomo. No utilizar en objetos que los niños puedan masticar o chupar.
- EUH201A** ¡Atención! Contiene plomo.
- EUH202** Cianoacrilato. Peligro. Se adhiere a la piel y a los ojos en pocos segundos. Mantener fuera del alcance de los niños.
- EUH203** Contiene cromo (VI). Puede provocar una reacción alérgica.
- EUH204** Contiene isocianatos. Puede provocar una reacción alérgica.
- EUH205** Contiene componentes epoxídicos. Puede provocar una reacción alérgica.
- EUH206** ¡Atención! No utilizar junto con otros productos. Puede desprender gases peligrosos (cloro).
- EUH207** ¡Atención! Contiene cadmio. Durante su utilización se desprenden vapores peligrosos. Ver la información facilitada por el fabricante. Seguir las instrucciones de seguridad.
- EUH208** Contiene (nombre de la sustancia sensibilizante). Puede provocar una reacción alérgica.
- EUH209** Puede inflamarse fácilmente al usarlo.
- EUH209A** Puede inflamarse al usarlo.
- EUH210** Puede solicitarse la ficha de datos de seguridad.
- EUH401** A fin de evitar riesgos para las personas y el medio ambiente, siga las instrucciones de uso.

BIBLIOGRAFÍA

H.1.- Reglamento (CE) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, y sus modificaciones, 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° 1907/2006.

H.2.- Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, y modificaciones posteriores, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.

H.3.- Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, y modificaciones posteriores, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.



ET116



9 788474 257861



MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO