

Higiene industrial



MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

edición
5ª

Higiene industrial

EDICIÓN ACTUALIZADA

Autores:

Félix BERNAL DOMINGUEZ

Emilio CASTEJÓN VILELLA

Nuria CAVALLÉ OLLER

Ana HERNANDEZ CALLEJA

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Con la colaboración de:

Juan GUASCH FARRÁS

José BARTUAL SÁNCHEZ

Enrique GADEA CARRERA

Xavier GUARDINO SOLÁ

Alicia HUICI MONTAGUT

Pablo LUNA MENDAZA

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Ilustraciones:

Enrique MITJANS TALÓN

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Diseño:

Guillem LATORRE ALCOVERRO

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Coordinación:

Félix BERNAL DOMÍNGUEZ

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

La ilustración que aparece en la cubierta de este libro pertenece a la obra *De Re Metallica* de editorial Casariego que, gentilmente, nos ha permitido su reproducción.

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
Torrelaguna, 73 - 28027 MADRID

Imprime:

Servicio de Ediciones y Publicaciones - INSHT. Madrid

Depósito Legal: M-38445-2008

I.S.B.N.: 978-84-7425-757-1

N.I.P.O: 792-08-007-2

Presentación



La actividad formativa ha sido, desde su fundación en 1973, una de las principales líneas de acción del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo lo que entre otras cosas ha dado lugar a una generación de publicaciones que, sin la pretensión de ser libros de texto en sentido estricto, tienen una orientación didáctica evidente.

Ese es el caso de esta publicación cuyos antecedentes son: el libro *Higiene Industrial Básica*, publicado en 1986, y el del mismo título, publicado en 1994, así como el libro *Higiene Industrial* publicado en 2002. El presente texto es una reedición de este último, necesaria puesto que desde 2002 han aparecido varias disposiciones legales cuyo contenido se considera incluido en el área de conocimiento de la higiene industrial. Es el caso del Real Decreto 286/2006, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, del Real Decreto 1311/2005, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas o del Real Decreto 349/2003 que modifica el Real Decreto 665/1997, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, y por el que se amplía su ámbito de aplicación a los agentes mutágenos. Todos ellos son fruto de la transposición de las correspondientes Directivas comunitarias.

Por otra parte, se han publicado desde la anterior edición las Guías Técnicas del INSHT referentes a agentes químicos, agentes cancerígenos, ruido y vibraciones y también han visto la luz las nuevas directivas comunitarias referentes a campos electromagnéticos y radiaciones ópticas.

Todo ello supone una serie de cambios importantes en la aplicación de la higiene industrial en nuestro país, y aunque los principios científico-técnicos de cualquier materia deberían ser independientes de los contenidos normativos vigentes, las metodologías específicas que a menudo imponen los textos legales generan en la práctica la caducidad o superación de algunos métodos de evaluación y la vigencia de otros. Los cambios que sustancialmente han aportado las nuevas reglamentaciones, en especial las del ruido y las vibraciones, necesariamente deben verse reflejados en esta nueva edición por lo que, aunque se trate de una reedición del anterior texto, en muchos aspectos éste es un nuevo libro de higiene industrial.

La presente publicación forma parte de la tradicional aportación del INSHT a la edición de documentos formativos de prevención de riesgos laborales y, en este caso el contenido satisface gran parte de los programas de formación en el área de higiene, incluso los correspondientes a la formación de técnicos de nivel superior. Por ello esta obra se incluye plenamente en las líneas de acción trazadas para alcanzar los objetivos que se plantea la Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo 2007-2012.

Concepción Pascual Lizana
Directora del INSHT

Índice



1. INTRODUCCIÓN

DEFINICIÓN	11
RESEÑA HISTÓRICA	12
LA ACTUACIÓN EN HIGIENE INDUSTRIAL ..	14
RELACIONES DE LA HIGIENE INDUSTRIAL CON OTRAS DISCIPLINAS	16
ASPECTOS LEGALES DE LA HIGIENE INDUSTRIAL	19
La Higiene Industrial en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y el Reglamento de los Servicios de Prevención	20
Otras disposiciones	22

2. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS

EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS	25
EFFECTOS EN LA SALUD CAUSADOS POR LOS AGENTES QUÍMICOS	28
Factores que determinan los efectos de las sustancias químicas	28
Metabolismo de los tóxicos	32
Efectos de los tóxicos sobre el organismo	36
CRITERIOS DE VALORACIÓN	41
Relación dosis-efecto	42
Relación dosis-respuesta	43
Establecimiento de los Valores Límite Ambientales	44
Valores Límite Ambientales internacionales ...	48
Valores Límite Ambientales en España	49
Valores límite biológicos (VLB)	51

MEDIDA DE LA CONCENTRACIÓN

AMBIENTAL	56
Mediciones puntuales y promediadas	57
Instrumentos de lectura directa	57
Sistemas activos de toma de muestras	60
Sistemas pasivos de toma de muestra	67
Transporte y conservación de las muestras ...	69
Control de calidad de los equipos de medida	69
El método analítico	71
Procedimientos de cálculo de la concentración ambiental	72
LA ENCUESTA HIGIÉNICA	79
Conocimiento del proceso productivo	80
Identificación de los riesgos en cada puesto de trabajo	88
Selección de criterios de valoración	89
Evaluación cuantitativa de riesgos	89
Informe de evaluación	97

3. CONTROL DE LAS EXPOSICIONES A AGENTES QUÍMICOS

VISIÓN GLOBAL DE LAS TÉCNICAS DE CONTROL	101
Prioridades en el control de riesgos	102
ACCIONES PARA EL CONTROL DE RIESGOS	105
Acciones sobre el agente químico	105
Acciones en el proceso o instalación	108
Acciones en el local de trabajo	111
Acciones sobre los métodos de trabajo	114
Consideración final	117

VENTILACIÓN GENERAL	118
Control de exposiciones con ventilación general	119
¿Caudal o renovaciones por hora?	122
EXTRACCIÓN LOCALIZADA	123
Campanas de extracción	124
Conductos	128
Ventilador	131
Evaluación de la eficacia	131
EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	132
EPI de vías respiratorias	133
EPI contra riesgos de contacto o penetración dérmica	137
Utilización de los EPI	141

4. AGENTES CARCINOGENOS Y MUTÁGENOS

CÁNCER LABORAL: ANTECEDENTES HISTÓRICOS	145
PATOGÉNESIS DEL CÁNCER	147
Estructura del material genético: ADN, genes y cromosomas	148
Etapas del proceso canceroso	149
CARCINOGENESIS QUÍMICA Y SUS MECANISMOS DE ACTUACIÓN	150
EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN DOSIS-RESPUESTA PARA AGENTES CARCINOGENOS	152
INVESTIGACIÓN SOBRE CARCINOGENICIDAD QUÍMICA	154
Ensayos a corto plazo con células <i>in vitro</i>	154
Ensayos a largo plazo con animales	154
Estudios epidemiológicos	155
Análisis estructura-actividad	155
CLASIFICACIONES DE CARCINOGENICIDAD	156
Sustancias cancerígenas	158
Sustancias mutagénicas	159
Sustancias tóxicas para la reproducción	160
EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A CARCINOGENOS	162
PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES FRENTE A AGENTES CANCERÍGENOS	163
CONTROL BIOLÓGICO DE LA EXPOSICIÓN A CANCERÍGENOS	164
Indicadores de dosis interna	164
Indicadores de dosis eficaz	165
Indicadores de efecto biológico precoz (o pre-efecto)	166

Indicadores de susceptibilidad genética	166
Epidemiología molecular	166

5. AGENTES BIOLÓGICOS

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS	167
Requisitos ambientales para el desarrollo de los microorganismos	168
Interacciones de los agentes biológicos con otros seres vivos	170
EFFECTOS EN LA SALUD Y MECANISMOS DE DEFENSA	170
Infección	171
Reacciones alérgicas	171
Mecanismos de defensa	172
AGENTES BIOLÓGICOS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES	174
Priones	175
Virus	177
Bacterias	178
Hongos	181
Protozoos	184
Helmintos	184
EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLÓGICOS	185
Vías de entrada	185
EVALUACIÓN A LA EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLÓGICOS	186
Metodología de evaluación higiénica	189
Metodología de evaluación cualitativa	190
Metodología de evaluación cuantitativa	196
Objetivo de la medición: ¿Por qué?	196
Naturaleza de los agentes biológicos: ¿Qué?	197
¿Dónde y cuándo medir?	197
Selección del equipo de toma de muestras: ¿Cómo?	198
Número de muestras: ¿Cuántas?	198
Métodos de muestreo	200
Análisis microbiológico	202
Valoración de la exposición	204
MEDIDAS PREVENTIVAS	208
Medidas y niveles de contención	209
Información y formación de los trabajadores	213
Vigilancia sanitaria	213
Inmunización activa. Vacunación	214
ANEXO: CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS	216
<u>6. RUIDO</u> LA PREVENCIÓN FRENTE AL RUIDO	223

Física del fenómeno acústico	224
Magnitudes y unidades acústicas	225
EFFECTOS DEL RUIDO EN LA SALUD	237
Anatomía y fisiología del oído	237
Efectos de la exposición a ruido en la audición	238
Efectos no auditivos de la exposición a ruido	239
MEDICIÓN DEL NIVEL SONORO	240
Sonómetros integradores	242
Dosímetros	243
Calibrador de nivel sonoro	244
EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL A RUIDO	244
Nivel de pico máximo y nivel equivalente diario	246
Nivel de ruido diario equivalente	246
Condiciones de la medición	248
CONTROL DE LAS EXPOSICIONES	252
Medidas preventivas derivadas de la evaluación	253
Control técnico del ruido	254
Control mediante medidas organizativas	256
Protección individual frente al ruido	256
VIGILANCIA DE LA SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A RUIDO	260

7. VIBRACIONES

FÍSICA Y DEFINICIONES	263
Caracterización de las vibraciones	263
Instrumentación de medida de la intensidad de una vibración	266
EFFECTOS DE LAS VIBRACIONES SOBRE EL ORGANISMO	267
EVALUACIÓN DEL RIESGO	268
Vibraciones transmitidas a todo el cuerpo	269
Vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo	272
CONTROL DE EXPOSICIONES	274

8. AMBIENTE TERMOHIGROMÉTRICO

EL ORGANISMO HUMANO Y EL AMBIENTE TÉRMICO	277
Unidades de medida de las magnitudes térmicas	278
Generación metabólica de calor	278
Intercambios con el ambiente	283
Balance térmico del cuerpo humano	285
Medida de las magnitudes ambientales	286

EVALUACIÓN DE LAS EXPOSICIONES AL CALOR	291
Efectos en la salud de la exposición al calor	291
Índices de evaluación ambiental	292
Evaluación del riesgo de estrés térmico por calor	294
Control de los riesgos debidos al calor	296
CONFORT TÉRMICO	299
Aplicación de la ecuación del balance térmico al estudio del confort	300
Respuesta subjetiva al calor	300
Condiciones termohigrométricas reglamentarias	302
EXPOSICIÓN A FRÍO	303
Evaluación del riesgo de estrés por frío	304
Protección frente al frío	305

9. RADIACIONES NO IONIZANTES

NATURALEZA DE LAS RADIACIONES. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	309
MAGNITUDES Y UNIDADES DE MEDIDA DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES	312
Energía radiante	313
Flujo o potencia radiante	313
Intensidad radiante	313
Irradiancia	314
Exitancia o emitancia radiante	314
Radiancia	314
Exposición radiante	315
Intensidad de campo electromagnético	315
EFFECTOS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES	316
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	318
Efectos de las radiaciones ultravioletas	319
Evaluación de la exposición a radiación ultravioleta	319
Control de las exposiciones	321
RADIACIÓN VISIBLE E INFRARROJA	322
Efectos de las radiaciones visible e infrarroja	322
Evaluación de las exposiciones	323
Control de las exposiciones a radiaciones visibles e infrarrojas	326
EXPOSICIÓN LABORAL A LA LUZ SOLAR	326
RADIACIÓN LÁSER	327
Efectos de la radiación láser	328
Evaluación de los riesgos derivados de la exposición a radiación láser	329

Clasificación de los generadores de radiación láser	329
Señalización y etiquetado	330
Manual de instrucciones	332
Medidas técnicas y organizativas de control	332
MICROONDAS Y RADIOFRECUENCIAS	334
Medida de la exposición	334
Efectos de las microondas y radiofrecuencias	335
Evaluación de las exposiciones	335
Control de las exposiciones	336
CAMPOS MAGNÉTICOS Y ELÉCTRICOS ESTÁTICOS Y RADIACIÓN ELF (< 30 KHZ) ...	336
Efectos sobre la salud	337
Evaluación de la exposición	338
Control de las exposiciones	338

10. RADIACIONES IONIZANTES

NATURALEZA DE LAS RADIACIONES IONIZANTES	341
Estructura atómica	342
Radioactividad	342
Tipos de radiaciones y características	342
Magnitudes y unidades de medida	344
EFFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES	345
INSTALACIONES NUCLEARES Y RADIATIVAS	346
Instalaciones nucleares	347

Instalaciones radiactivas	347
IRRADIACIÓN Y CONTAMINACIÓN	352
Tipos de exposiciones	353
MEDIDA DE LAS RADIACIONES IONIZANTES	354
Detectores de radiación	354
Dosímetros	355
LÍMITES DE DOSIS	357
PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	359
Protección contra la irradiación externa	359
MEDIDAS PREVENTIVAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	362
Trabajadores profesionalmente expuestos	363
Delimitación de zonas y señalización	363
Medidas dosimétricas	365
Formación e información	366
Vigilancia de la salud	366

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	369
NORMAS TÉCNICAS UNE-EN, UNE-EN-ISO Y UNE-ENV ISO	371
ISO	372
NORMAS CEN	372
LEGISLACIÓN RELACIONADA	372
ENLACES DE INTERÉS	373

DEFINICIÓN

Etimológicamente Higiene Industrial significa “protección de la salud en el trabajo”. En efecto, la palabra “higiene” procede del griego *Hygiea*, divinidad mitológica hija de Esculapio, dios de la Medicina, cuya misión era la protección de la salud y la prevención de la enfermedad.

El término “industrial”, no se refiere, en sentido estricto, sólo a lo que se acostumbra a llamar “industrias” sino, como dice el diccionario de la Real Academia de la Lengua en su primera acepción del término “industria”, se refiere a la “maña y destreza o artificio para hacer una cosa”; en definitiva, a cualquier trabajo o actividad.

En este sentido la expresión “Higiene Industrial” sería sinónimo de prevención de riesgos laborales y, de hecho, así se utilizó a principios de siglo en España, cuando en 1929 los doctores Oliveras y Soler la definían como “la parte de la Higiene que concierne a las industrias y estudia los medios para mantener en buen estado de salubridad el personal a ellas dedicado, así como la acción perjudicial de aquellas sobre las personas ajenas a las mismas”. Esta definición, aplicada a los conceptos actuales de “salubridad” y “acción perjudicial” no se diferencia demasiado del concepto de prevención de riesgos laborales en su sentido más amplio, pero, en su contexto temporal, posiblemente hacía referencia sólo a lo que actualmente se denomina aspecto físico de la salud, y en ese sentido es como se ha desarrollado la Higiene Industrial.

La definición de Higiene Industrial que puede considerarse actualmente como oficial es la dada en 1959 por la American Industrial Hygiene Association: “la Higiene Industrial es la ciencia y el arte de la identificación, evaluación y control de aque-

LA HIGIENE INDUSTRIAL ES UNA TÉCNICA DE PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES PROFESIONALES MEDIANTE LA ACTUACIÓN EN EL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO

llos factores o agentes ambientales, originados por el puesto de trabajo o presentes en el mismo, que pueden causar enfermedad, disminución de la salud o el bienestar, o incomodidad o ineficiencia significativos entre los trabajadores o los restantes miembros de la comunidad”.

En esta definición existen varios rasgos destacables. En primer lugar, su carácter ambiental: la Higiene Industrial centra su estudio en el ambiente que rodea al trabajador más que en él mismo, por cuanto es en ese ambiente donde se encuentran las causas básicas del proceso que desemboca en la enfermedad profesional. La Higiene Industrial efectúa, por tanto, una prevención esencialmente primaria de las enfermedades que padece el trabajador relacionadas con el puesto de trabajo.

En segundo lugar, hay que destacar la función de control de la agresión; la Higiene Industrial no pretende únicamente obtener información sobre las características potencialmente agresivas del ambiente, sino que se plantea como objetivo fundamental la modificación (control) del mismo.

En tercer lugar, es importante ver cómo los objetivos de la Higiene Industrial se han ido ampliando desde el concepto original de protección al trabajador frente a la enfermedad profesional hasta incluir la incomodidad y no sólo de los trabajadores, sino también de los restantes miembros de la comunidad, aunque manteniendo siempre el puesto de trabajo y los factores ambientales como objetos del estudio.

RESEÑA HISTÓRICA

A lo largo de los siglos se ha acumulado un amplio caudal de conocimientos sobre la relación causa-efecto entre el trabajo y ciertas enfermedades asociadas a determinadas profesiones. Hipócrates ya describió correctamente en el siglo IV a.C. las enfermedades que aquejaban a los trabajadores ocupados en la extracción de mineral de plomo. El que podría calificarse de primer tratado sobre las enfermedades profesionales fue publicado en Módena el año 1700 por Bernardino Ramazzini, con el título *De Morbis Artificum Diatriba*. Ramazzini creía que el medio ambiente de trabajo podía afectar a la salud de los trabajadores, y su trabajo tuvo un gran efecto en el desarrollo de lo que posteriormente se llamaría Higiene Industrial.

El nacimiento de la Higiene Industrial como disciplina independiente de la Medicina preventiva puede considerarse simultá-

neo al despertar del sentimiento de necesidad de la prevención en el trabajo y se sitúa entre finales del siglo XIX (Ley de fábricas británicas de 1878) y principios del siglo XX (Ley de compensaciones de 1908 en los Estados Unidos).

Los primeros higienistas industriales propiamente dichos aparecen simultáneamente en Gran Bretaña y los Estados Unidos a finales del siglo XIX y comienzos del XX. En esa época el personaje más carismático fue la doctora Alice Hamilton, quien en 1910 comenzó su andadura en el, hasta entonces poco explorado, campo del control de los factores de riesgo que conducían a la aparición de enfermedades profesionales. Los trabajos de la doctora Hamilton tuvieron una gran influencia en la aparición, en los Estados Unidos, de reglamentaciones orientadas a controlar los riesgos laborales e hicieron que fuera la primera mujer que formó parte del cuerpo docente de la Universidad de Harvard.

En 1938 un grupo de higienistas industriales que trabajaban en el U.S. Public Health Service fundó la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), que algunos años más tarde empezó a publicar los mundialmente conocidos valores TLV (*Threshold Limit Values*).

Casi simultáneamente, en junio de 1939, otro grupo de profesionales formó la American Industrial Hygiene Association (AIHA), otra gran asociación profesional que ha pervivido hasta nuestros días y que publica la conocida revista que lleva su nombre. En estos momentos forman parte de la AIHA más de 10.500 higienistas industriales.

Los esfuerzos de ambas asociaciones hicieron que, en los Estados Unidos, los empresarios empezaran a descubrir que un trabajador sano es un trabajador productivo y los sindicatos empezaran a considerar que la protección de la salud de los trabajadores debería ser un objetivo prioritario.

Las técnicas de Higiene Industrial desarrolladas en los Estados Unidos (y en menor medida en Gran Bretaña) fueron importadas y difundidas, a principios de los años setenta, por el Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo, que más tarde se convirtió en el Servicio Social de Higiene y Seguridad en el Trabajo y finalmente fue refundado como Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

En España, la Higiene Industrial aún está lejos de poderse considerar una profesión, al menos tomando como base el número de profesionales dedicados a la misma. Los higienistas industriales españoles trabajan mayoritariamente en la administración pública (central o autonómica), en las mutuas de accidentes de trabajo y servicios de prevención ajenos y, en menor

número en los servicios de prevención propios. El ejercicio de la Higiene Industrial se ha desarrollado, en general, como una extensión de las funciones de la Seguridad en el trabajo; ello, unido a la inexistencia de formación universitaria al respecto, ha contribuido a crear una visión de la Higiene como una disciplina dedicada más a la toma de muestras de aire, la medición de valores de intensidad de agentes físicos y la acumulación de resultados numéricos, que al estudio en profundidad de todos los factores de riesgo ambientales para identificar y corregir en su origen las causas de las alteraciones de la salud a que pudieran dar lugar.

LA ACTUACIÓN EN HIGIENE INDUSTRIAL

Aunque de la definición de Higiene Industrial que se ha dado se puede deducir directamente el esquema esencial de su actuación, es conveniente detenerse brevemente en un análisis más detallado de la misma.

Puesto que el objetivo de la Higiene Industrial es el estudio del ambiente físico en cuanto puede afectar negativamente al hombre, su técnica fundamental de actuación es el estudio de la contaminación ambiental mediante la realización de lo que suele llamarse “encuesta higiénica”.

LA ACTUACIÓN DE LA HIGIENE COMIENZA POR LA DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO PRESENTES EN EL AMBIENTE QUE PUEDEN TENER CONSECUENCIAS PATOLÓGICAS A LARGO PLAZO

Los objetivos de una encuesta higiénica son la determinación de cuál o cuáles son los agentes agresivos presentes en el ambiente, las causas de generación de los mismos y cualquiera otra circunstancia que pueda estar relacionada con la magnitud de los efectos patológicos que pudieran producirse, con un interés especial en los efectos patológicos que tienen periodos de latencia prolongados o que requieren exposiciones prolongadas para que los efectos sean perceptibles.

Dentro de estas circunstancias ambientales se sabe que una de las más importantes es la cantidad de contaminante presente en el ambiente; dicha cantidad se suele determinar a través de la concentración, en el caso de las sustancias químicas, o de alguna magnitud energética, en el caso de los agresores no químicos. De ahí el carácter relevante de las técnicas de medición que, en muchos casos, exigen el concurso indispensable de complejos y especializados laboratorios de análisis químico, hasta el punto de que algunos autores hablan de la Higiene Analítica como una rama específica dentro de la Higiene Industrial.

Una vez obtenida la información cualitativa y cuantitativa necesaria para definir la agresión con el máximo grado posible de exactitud, es necesario evaluarla, es decir, juzgar cuán elevada es la probabilidad de que aparezca un efecto perjudicial para las personas que se encuentran en el ambiente estudiado; para ello, en la bibliografía se dispone de “criterios de evaluación”, que son referencias que definen con más o menos aproximación qué situaciones son admisibles (es poco probable que produzcan daño) y cuáles no lo son (es probable que den lugar a un efecto perjudicial).

Evaluar será, pues, comparar la situación ambiental estudiada con unos “patrones de admisibilidad” que se elaboran estudiando previamente las acciones que los contaminantes ejercen sobre los individuos. Del resultado de esta comparación deduciremos si la situación es admisible o si, por el contrario, es necesario corregirla para reducir los niveles de contaminación hasta situarlos en una zona no peligrosa.

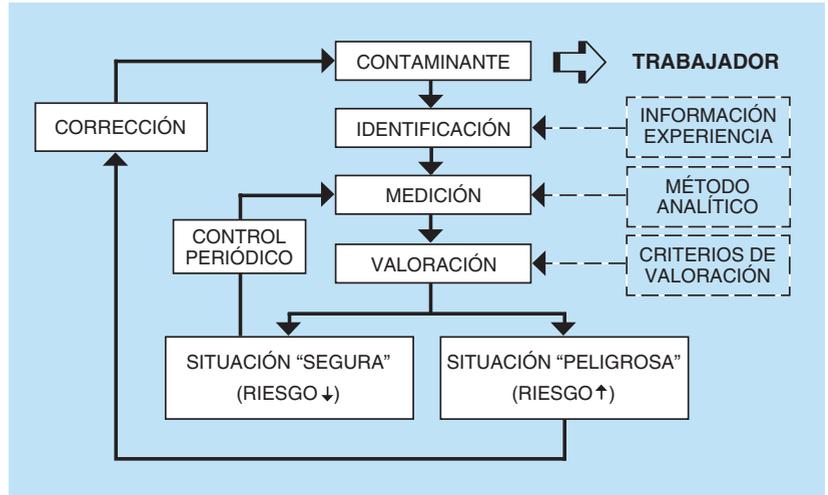
Esta labor de modificación del ambiente enlaza directamente la Higiene Industrial con la Ingeniería y da lugar también a una especialización que en inglés recibe el nombre de *Industrial Hygiene Engineering* y que en castellano suele denominarse “Higiene Operativa”. La aplicación de las técnicas de ingeniería al objetivo de lograr un ambiente saludable en el trabajo es una actividad que requiere, como cualquier ingeniería, utilizar conocimientos y principios de varias ramas de las ciencias naturales, pero su orientación hacia la prevención de enfermedades laborales le confiere su carácter diferencial. La modificación del ambiente debe ser adecuada para eliminar los riesgos, compatible con el resto de la actividad laboral y, por supuesto, beneficiosa para el trabajador en el sentido de aumentar su calidad de vida en el trabajo.

De lo expuesto se deduce claramente que el punto más específico de la actuación de la Higiene Industrial reside en la encuesta higiénica; sólo una encuesta correctamente efectuada será capaz de aportar los datos necesarios para una adecuada labor de medición y una evaluación correcta, y permitirá realizar las correcciones más idóneas; por ello muchas veces se habla de la Higiene de Campo como la rama de la Higiene Industrial en la que se reúnen los conocimientos, téc-

UN CONTAMINANTE ES UNA SUSTANCIA, UNA ENERGÍA O UN SER VIVO PRESENTE EN EL AMBIENTE QUE PUEDE AFECTAR A LA SALUD DE LAS PERSONAS

LA EVALUACIÓN CONSISTE EN LA COMPARACIÓN DEL AMBIENTE OBSERVADO CON UNOS PATRONES O CRITERIOS PREVIAMENTE DEFINIDOS AL OBJETO DE CONCLUIR SOBRE LA NECESIDAD O CONVENIENCIA DE INTERVENIR PARA EVITAR UN DAÑO A LA SALUD

LA INTERVENCIÓN PARA MODIFICAR EL AMBIENTE ES EL ELEMENTO CLAVE DE LA ACTUACIÓN DE LA HIGIENE INDUSTRIAL PARA EVITAR LOS RIESGOS DE ENFERMEDAD



nicas y experiencias necesarios para realizar una encuesta higiénica correcta.

Finalmente, es necesario implantar un sistema de vigilancia regular y periódica del ambiente para confirmar que la situación se mantiene en condiciones adecuadas. La necesidad de una vigilancia periódica en el caso de los riesgos que se manifiestan a largo plazo es casi evidente si se tiene en cuenta que el daño a la salud que se pretende evitar con la actuación de la Higiene Industrial no es consecuencia de un hecho puntual, sino de una continuidad en la exposición; por ello es necesario obtener una información continua. Una encuesta higiénica es una “foto” de un ambiente y lo que se necesita para evitar el riesgo es una sucesión de fotos, o sea una “película”, que muestre la idoneidad del ambiente.

RELACIONES DE LA HIGIENE INDUSTRIAL CON OTRAS DISCIPLINAS

La Higiene Industrial, como ciencia orientada al estudio del medio ambiente de trabajo, tiene muchos elementos comunes con las disciplinas que estudian el medio ambiente en general; de hecho, el medio ambiente de trabajo no es más que una parte del medio ambiente global.

Los elementos comunes son típicamente las técnicas de medida y observación del ambiente. Sin embargo, existen al menos dos diferencias significativas entre la Higiene Industrial y las Ciencias Ambientales. En primer lugar, debe tenerse en cuenta que en el medio ambiente de trabajo no existen, al menos en

nuestro entorno socioeconómico, los ciudadanos más débiles (niños, ancianos y enfermos), que son los que requieren una mayor protección medioambiental. La segunda diferencia importante se encuentra en el patrón temporal de exposición: las exposiciones laborales son de duración limitada a la jornada laboral (normalmente no mucho más de ocho horas diarias o cuarenta a la semana, lo que significa un 25-30% del tiempo total), mientras en el medio ambiente general las exposiciones son permanentes. Estas diferencias se manifiestan lógicamente en los criterios de evaluación de una situación ambiental.

Otra diferencia con las ciencias ambientales reside en el entorno de aplicación: la Higiene se materializa en un entorno físico muy concreto y en gran medida modificable tecnológicamente (los lugares de trabajo), mientras que las Ciencias Ambientales utilizan la propia naturaleza como soporte físico y la capacidad de manipulación tecnológica es más reducida.

Las relaciones de la Salud Pública con la Higiene Industrial vienen tan de antiguo que diversos autores se han referido a este hecho diciendo que la Higiene Industrial tiene sus raíces en la Salud Pública.

Entre 1910 y 1920, las principales revistas profesionales norteamericanas sobre salud pública (*American Journal of Public Health*, *Journal of the American Public Health Association*) empezaron a incorporar secciones fijas sobre Higiene Industrial, creándose las correspondientes ramas especializadas en las asociaciones de las que eran portavoces.

En 1914, el *Public Health Service*, el principal organismo norteamericano sobre salud pública, estableció su departamento de Higiene Industrial y Saneamiento, que pronto modificó su orientación inicial de carácter médico para otorgar un progresivo protagonismo a la evaluación de las exposiciones a los agentes químicos y físicos que podían estar presentes en el puesto de trabajo; en 1922 contrataron a su primer ingeniero.

EN GRAN MEDIDA LA HIGIENE INDUSTRIAL
ES UNA DERIVACIÓN DE LA SALUD
PÚBLICA

Desde entonces, y de forma progresiva, la Higiene Industrial ha desarrollado su propia metodología de actuación, pero su orientación colectiva, rasgo esencial de la Salud Pública, ha seguido formando parte de sus principios de actuación. La evaluación de un puesto de trabajo o la modificación del mismo para hacerlo más saludable no son nunca actuaciones que afecten a un solo individuo, sino que se aplican al colectivo de trabajadores que, a lo largo del tiempo, trabajarán en aquél.

Siendo la Epidemiología una de las ciencias cuyas aportaciones son básicas para el logro de los objetivos de la Salud Públi-

ca, nada tiene de extraño que resulte asimismo importante para el conjunto de las disciplinas preventivas y, en particular, para la Higiene Industrial. De hecho se habla de la Epidemiología Laboral como de una subdisciplina específica dentro del campo de la Epidemiología.

La importancia de su contribución es, por otra parte, creciente: en efecto, cuando la relación causa-efecto entre exposición y enfermedad era evidente, las potencialidades aportadas por las técnicas epidemiológicas resultaban poco menos que innecesarias. En el siglo XIX y principios del XX la silicosis de los mineros, la sordera de los trabajadores de forja, los cólicos saturninos de quienes trabajaban con plomo o el hidrargirismo de los sombrereros eran tan evidentes que caían en el ámbito de lo obvio (recuérdese, por ejemplo, el Sombrero Loco que aparece en *Alicia en el País de las Maravillas*).

En la actualidad, sin embargo, cuando las enfermedades profesionales (es decir, aquellas manifestaciones patológicas originadas por una causa única o casi única y que se adquieren en actividades definidas) van siendo progresivamente sustituidas por enfermedades del trabajo, muchas de las cuales son de origen multicausal (con algunas causas que a menudo pueden ser ajenas a la actividad laboral) y cuyo diagnóstico se apoya tanto en síntomas (manifestaciones subjetivas) como en signos (manifestaciones objetivas), la aportación epidemiológica se vuelve absolutamente imprescindible. En efecto, para distinguir los factores de riesgo que pueden tener una influencia significativa en los efectos observados, de aquellos cuya influencia puede considerarse, en principio, menor, resulta imprescindible disponer de información sobre colectivos laborales amplios y tratar los datos mediante las técnicas que aporta la Epidemiología.

La Higiene Industrial debe, lógicamente, trabajar en directa relación con la Medicina del Trabajo, ambas disciplinas son complementarias, comparten el objetivo y se aplican en el mismo entorno; pero mientras que la Higiene basa el análisis en el estudio del ambiente, la Medicina observa a las personas situadas en ese ambiente. La Medicina será la que detecte los “fallos” de la Higiene que se materializarán en forma de enfermedades profesionales o de alteraciones de la salud, también advertirá de las limitaciones a la exposición

que deberán respetarse en el caso de personas especialmente sensibles. La información aportada por la Medicina tiene que ser utilizada por los higienistas para mejorar las evaluaciones

LA IDENTIFICACIÓN DE NUEVOS FACTORES DE RIESGO SE BASA CADA VEZ MÁS EN ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS

LA HIGIENE INDUSTRIAL Y LA MEDICINA DEL TRABAJO SON DOS DISCIPLINAS PREVENTIVAS CUYAS ACTUACIONES SE COMPLEMENTAN MUTUAMENTE

de riesgo o identificar nuevos riesgos que surgen en los puestos de trabajo con la implantación de nuevas tecnologías.

Al mismo tiempo, la actuación de la Higiene Industrial, detectando y evaluando los factores de riesgo ambientales susceptibles de producir patología, constituye un elemento esencial en la planificación de la vigilancia de la salud, que es una de las actividades de la Medicina del Trabajo.

El interés de la Higiene Industrial por los factores de riesgo que causan daño a largo plazo es la diferencia esencial entre la Higiene y la Seguridad en el Trabajo, pues esta última se interesa por aquellos factores de riesgo cuyos efectos tienen una relación muy directa con el daño que causan y un periodo de tiempo entre causa y efecto tan corto que mientras dura la exposición no es posible adoptar medidas preventivas ni de protección. Esta diferencia afecta sobre todo a las metodologías utilizadas para evaluar los riesgos en cada caso.

Otra de las disciplinas preventivas con muchos puntos en común con la Higiene Industrial es la Ergonomía, en particular con la rama dedicada al estudio del ambiente físico. Inicialmente las diferencias entre ambas ciencias eran de objetivo: la Higiene Industrial pretendía evitar las enfermedades profesionales; la Ergonomía, lograr el confort. Las técnicas de observación del ambiente y las metodologías son equivalentes, las diferencias se localizan en los criterios de evaluación, debidas al objetivo diferente. En gran medida esta diferencia se ha ido eliminando con el paso del tiempo, recuérdese la definición de Higiene Industrial de la AIHA dada antes, de forma que no es exagerado decir que actualmente las diferencias entre Higiene Industrial y la rama de la Ergonomía dedicada al estudio de los factores ambientales son casi administrativas.

LA DIFERENCIA BÁSICA ENTRE HIGIENE Y SEGURIDAD RESIDE EN LA FORMA DE ACTUACIÓN DEL RIESGO LABORAL QUE PRETENDE EVITAR CADA UNA DE ELLAS

En nuestro país se mantiene, al menos de forma nominal, la división histórica inicial, de forma que una actividad cuyo objetivo sea evitar un daño físico se reconoce como perteneciente al ámbito de la Higiene, pero si el objetivo es lograr la confortabilidad del trabajador se considera incluida en el ámbito de la Ergonomía.

ASPECTOS LEGALES DE LA HIGIENE INDUSTRIAL

Como todas las demás disciplinas preventivas, la Higiene Industrial ha experimentado un impulso legal muy importante en los últimos años, y ello supone a la vez una ventaja y un riesgo.

La ventaja es la importancia que adquiere en la percepción social, consecuencia inmediata del hecho de ser objeto de una reglamentación. En general, cuando un grupo de ciudadanos reconocen algo como importante reclaman de las autoridades la elaboración de reglamentos que regulen los comportamientos para que esa percepción se extienda al resto de personas, incluso aquellas que en principio no consideran el tema como importante. En este sentido, la presente regulación de la prevención de riesgos laborales es un avance notable que satisface una exigencia social de actualización de la antigua reglamentación y del que la Higiene Industrial se beneficia directamente.

Pero también hay riesgos, el principal es confiar en que un mero cumplimiento formal de la “letra” de los reglamentos es suficiente. En el caso de la prevención de riesgos laborales, y más todavía en el caso de la Higiene Industrial, es prácticamente imposible poder elaborar normas de aplicación general que tengan en consideración todas las interrelaciones entre el ambiente y el trabajador que dan origen a las enfermedades, dada la cantidad y complejidad de esas interrelaciones. Los reglamentos no pueden concretar el comportamiento a seguir en cualquier situación posible y una actuación simplista que se limite a “cumplir la letra” sin prestar atención a los principios y objetivos que enuncian los propios reglamentos difícilmente podrá conseguir una prevención correcta de los riesgos laborales.

La Higiene Industrial en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y el Reglamento de los Servicios de Prevención

La Ley de Prevención de Riesgos Laborales y el Reglamento de los Servicios de Prevención contienen pocas referencias directas a las cuestiones que son objeto de estudio por parte de la Higiene Industrial, lo cual no tiene nada de extraño si se considera que se trata fundamentalmente de normas que establecen los principios de gestión de la prevención de riesgos laborales, sin apenas entrar en los aspectos concretos de la misma.

En este sentido, la primera referencia de interés la encontramos en el artículo 4.4, cuando al definir “riesgo grave e inminente” se incluyen en el mismo aquellas situaciones en las que existan exposiciones a agentes que puedan ocasionar daños graves a la salud “aunque éstos no se manifiesten de manera inmediata”.

LA DEFINICIÓN DE RIESGO GRAVE E INMINENTE DADA EN LA LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES INCLUYE LAS EXPOSICIONES CUYOS EFECTOS PUEDAN SER GRAVES AUNQUE NO SE MANIFIESTAN DE MANERA INMEDIATA

Asimismo, cuando se definen las condiciones de trabajo (artículo 4.7) como “cualquier característica del mismo que pueda tener una influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y la salud del trabajador”, se incluyen específicamente dentro de las mismas “la

naturaleza de los agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el ambiente de trabajo y sus correspondientes intensidades y concentraciones o sus niveles de presencia”.

Otra referencia específica a temas contemplados por la Higiene Industrial se encuentra en el artículo 25.2 cuando, refiriéndose a los trabajadores especialmente sensibles, la Ley establece la obligación del empresario de incluir en la evaluación de riesgos los factores de riesgo que puedan influir en la función de procreación de los trabajadores y trabajadoras, en particular a causa de la exposición a agentes físicos, químicos y biológicos. Una referencia parecida se hace en el artículo siguiente, sobre la protección de la maternidad, al establecer una medida similar en relación con las trabajadoras embarazadas.

Por otra parte, algunas referencias específicas a temas tratados por la Higiene Industrial se recogen en la Sección 2ª (Infracciones en materia de PRL) del Capítulo II del RDL 5/2000, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social. Así, el artículo 12.9 de la citada Sección califica como infracción grave “la superación de los límites de exposición a los agentes nocivos que, conforme a la normativa sobre prevención de riesgos laborales, origine riesgo de daños graves para la seguridad y salud de los trabajadores sin adoptar las medidas preventivas adecuadas salvo que se trate de infracción muy grave conforme al artículo siguiente”. Se califican asimismo de graves (artículo 12.16) las infracciones que supongan incumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales, siempre que creen un riesgo grave para la integridad física o la salud de los trabajadores afectados y especialmente en materia de comunicación a la autoridad laboral, cuando legalmente proceda, de las sustancias, agentes físicos, químicos y biológicos, o procesos utilizados en las empresas; prohibiciones o limitaciones respecto de operaciones procesos y uso de agentes físicos, químicos y biológicos en los lugares de trabajo; etc.

El Reglamento de los Servicios de Prevención se refiere a la Higiene Industrial como una más de las disciplinas preventivas que deben incluirse en el currículo formativo de los expertos de nivel superior. Éstos tienen entre sus funciones específicas la de realizar aquellas evaluaciones de riesgo cuyo desarrollo exija el establecimiento de una estrategia de medición que permita asegurar que los resultados obtenidos caracterizan efectivamente la situación que se valora, o una interpretación no mecánica de los criterios de evaluación, situaciones éstas que se dan con fre-

LA SUPERACIÓN DE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN A LOS AGENTES NOCIVOS ES UNA INFRACCIÓN TIPIFICADA COMO GRAVE POR LA LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

cuencia al tratar problemas de Higiene Industrial. Los temas que deben incluirse en la formación de los expertos de nivel superior están incluidos en el anexo VI del Reglamento.

El anexo V, donde se especifica la formación que deben recibir los expertos de nivel intermedio, incluye también temas relativos a Higiene Industrial, aunque sin darles ese nombre, pues se refiere a ellos llamándoles “riesgos relacionados con el medio ambiente de trabajo”, denominación poco usual en España pero habitual, en cambio, en la literatura producida por la Organización Internacional del Trabajo (OIT).

Otras disposiciones

El Reglamento de industrias molestas, insalubres, nocivas y peligrosas, de 1961, fijó en su anexo II las concentraciones máximas permitidas en el ambiente interior de las explotaciones industriales. Estos valores máximos permitidos fueron cayendo progresivamente en desuso debido al continuo avance de los conocimientos técnicos desde su publicación, hasta su derogación por el RD 374/2001, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

En orden cronológico, la siguiente disposición significativa fue la Orden de 21.7.1982 sobre condiciones de trabajo en la manipulación de amianto. Dicha Orden fue pronto sustituida por el Reglamento sobre el trabajo con riesgo de amianto, de 31.10.1984, que fue objeto de diversas modificaciones. En la actualidad el RD 396/2006, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición a amianto, deroga a los anteriores.

La incorporación en 1986 de España a la Comunidad Económica Europea, hoy Unión Europea (UE), aceleró el ritmo de producción de normativas en este campo. El 9.4.1986 se publicó el Reglamento para la prevención de riesgos y protección de la salud de los trabajadores por la presencia de plomo metálico y sus compuestos iónicos en el ambiente de trabajo, también derogado por el RD 374/2001, y el Reglamento para la prevención de riesgos y protección de la salud por la presencia de cloruro de vinilo monómero en el ambiente de trabajo, que ha sido derogado por la segunda modificación del RD 665/1997 sobre agentes cancerígenos.

En el ámbito de la contaminación energética (contaminantes físicos) debe citarse el RD 286/2006, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, y el RD 1311/2005, sobre la protección de los trabajadores frente a la exposición a vibraciones mecánicas.

Posteriormente deben citarse el RD 88/1990, sobre protección

de los trabajadores mediante la prohibición de determinados agentes o actividades, derogado por el RD 374/2001, aunque sus disposiciones han quedado incluidas en él.

Con posterioridad a la publicación de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, y como desarrollo de la misma, se han publicado el RD 665/1997 sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo y el RD 664/1997, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.

El RD 665/1997 sobre agentes cancerígenos ha sido modificado por el RD 1124/2000 y por el RD 349/2003 para incluir en su ámbito de aplicación de forma específica al benceno, amianto y cloruro de vinilo monómero (todos ellos cancerígenos). Estas disposiciones legales derogan la reglamentación específica del benceno y del cloruro de vinilo monómero.

Sin duda la disposición legal más importante en el ámbito de los riesgos debidos a agentes químicos es el ya citado RD 374/2001 que, además de derogar las disposiciones más antiguas que se han citado, establece las disposiciones específicas para la evaluación y prevención de los riesgos debidos a agentes químicos, tanto los riesgos de accidente como los de enfermedad. Es una disposición muy compleja por el alcance de sus contenidos y la complejidad técnica de los mismos.

Otro grupo importante lo constituyen las múltiples disposiciones cuyo objetivo es la protección de los trabajadores y del público frente a las radiaciones ionizantes, las más recientes son: el RD 783/2001 que aprueba el reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, el RD 815/2001, sobre justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas y el RD 229/2006, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas; también conviene tener presente el RD 1836/1999 por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.

Existen muchas normativas que, aunque no traten específicamente cuestiones relativas a Higiene Industrial, están orientadas a reducir el riesgo químico en el trabajo (y fuera de él); la mayor parte de las que tienen interés para el desarrollo de las actividades de Higiene Industrial hacen referencia a la notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas (RD 363/1995), la clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos (RD 255/2003) y a las limitaciones a la comercialización y uso de sustancias y preparados peligrosos (RD 1406/1989). Actualmente, está en vigor

el Reglamento Europeo REACH (Registro, Evaluación y Autorización de Químicos) que tiene como objetivo imponer un mayor control en la comercialización de productos químicos peligrosos. Este reglamento es de aplicación a todos los Estados miembros de la UE y aún en una sola legislación diferentes regulaciones.

Prácticamente la totalidad de esta reglamentación es consecuencia de la transposición a la legislación nacional de directivas comunitarias y, lógicamente, sus contenidos se adaptan a los principios definidos por la política social de la UE en materia de prevención de riesgos laborales establecidos en la Directiva Marco 89/391/CE y que pueden resumirse en la secuencia: 1º eliminar el riesgo; 2º evaluarlo si la eliminación no es posible; 3º reducirlo hasta niveles aceptables mediante un plan de actuación permanente e integrado en el conjunto de la organización de la empresa.

Evaluación de la exposición a agentes químicos

2

EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS

Por exposición a un agente químico se entiende el contacto y la interacción de una sustancia o producto químico con el organismo humano, cualquiera que sea la forma o circunstancia en que dicho contacto se produzca. Si la exposición es consecuencia de la actividad laboral se habla de exposición laboral y, por extensión, de los riesgos para la salud que pueden derivarse de la misma.

Dentro de este ámbito de la prevención de riesgos laborales es habitual distinguir entre exposiciones agudas y exposiciones crónicas. Por exposición aguda se entiende el contacto directo con productos químicos, o la inhalación de aire contaminado, que se produce durante un periodo corto de tiempo y de forma ocasional. El efecto perjudicial en la salud puede ser inmediato o diferido en el tiempo.

Si el efecto es inmediato se puede hablar de un “accidente químico”. Ejemplos de estas situaciones pueden ser las quemaduras provocadas por salpicaduras de un ácido al realizar un trasvase, el edema pulmonar ocasionado por la inhalación de cloro al entrar en un recinto en el que se ha producido una fuga o la asfixia causada por inhalación de monóxido de carbono. Esta forma de actuación es muy similar a la de un accidente; en efecto, el daño a la salud tiene una causa inmediata, se produce en un momento definido y en un tiempo muy corto. Todo ello permite diferenciar el antes y el después de un hecho y utilizar las metodologías propias de la Seguridad en el trabajo para analizar las causas y las consecuencias y deducir medidas preventivas o de protección.

El ámbito clásico de actuación de la Higiene Industrial es el de las exposiciones crónicas, caracterizadas por un contacto con

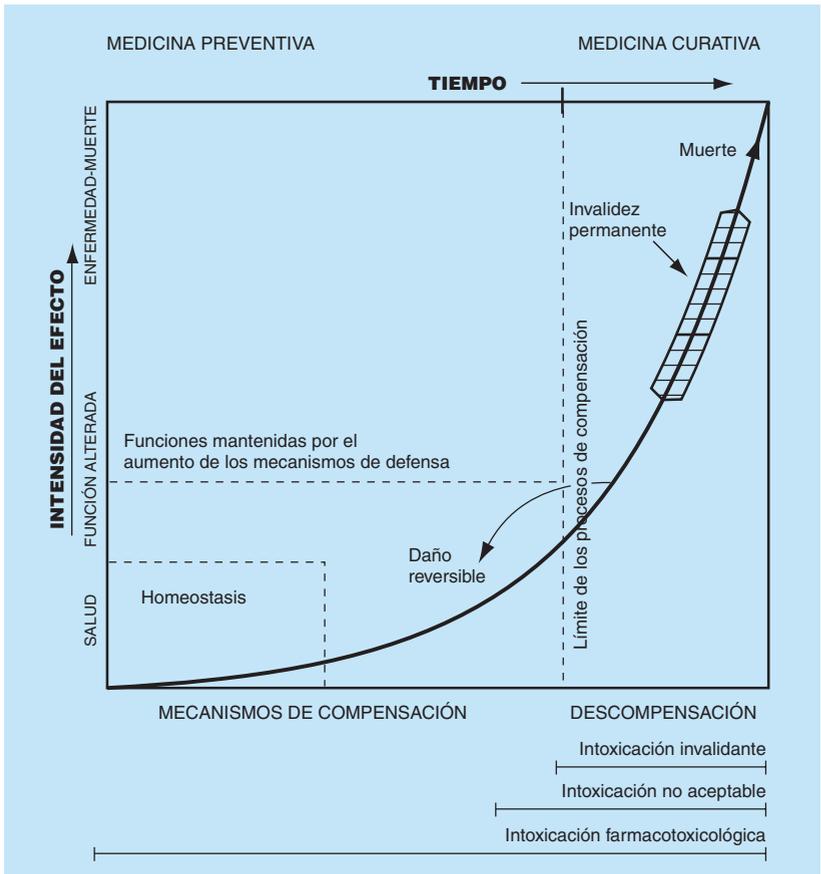
la sustancia por cualquier ruta pero de intensidad menor a la requerida para provocar efectos a corto plazo. No obstante, si la exposición se prolonga durante un periodo de tiempo suficiente, los daños a la salud se manifiestan. En este mecanismo de generación de daño a la salud, el patrón temporal de exposición y los mecanismos de interacción del organismo con las sustancias químicas son factores determinantes que deben ser estudiados para poder conocer la magnitud de los riesgos y la necesidad de adoptar medidas preventivas.

EL ÁMBITO PROPIO DE LA HIGIENE INDUSTRIAL ES EL ESTUDIO DE LAS EXPOSICIONES CRÓNICAS, QUEDANDO FUERA DE ESTE ÁMBITO LOS LLAMADOS «ACCIDENTES QUÍMICOS»

En la figura se ilustra la evolución temporal típica de una exposición de las clasificadas como intolerable. Al inicio de la exposición la intensidad de los efectos es muy pequeña, en la mayor parte de los casos inapreciable; los mecanismos de compensación del organismo son capaces de mantener el equilibrio de las funciones vitales y se puede hablar de un estado de salud normal. A medida que transcurre el tiempo los efectos de la exposición aumentan en intensidad, los mecanismos de compensación siguen actuando pero se observan alteraciones en las funciones vitales. En muchos casos estas alteraciones son consecuencia de la acción intensificada de los mecanismos de compensación; ya no se puede hablar de un estado de salud normal, aunque es posible que no se den todos los requisitos necesarios para diagnosticar una intoxicación invalidante. Finalmente se alcanza un estado en el que los mecanismos de compensación ya no son capaces de mantener las funciones vitales, se produce una descompensación y se manifiesta claramente la intoxicación que requerirá una intervención médica curativa.

Es importante notar que, aunque el efecto perjudicial (la intoxicación o la muerte) se manifiesta al cabo de un tiempo, que puede ser incluso de años, la exposición es intolerable desde el principio, cuando los efectos son inapreciables y no hay ningún signo externo de alteración de las funciones vitales. Es en ese momento cuando se debe actuar para eliminar la exposición intolerable y prevenir la secuencia de hechos posteriores. Se considera que una exposición es tolerable cuando los mecanismos de compensación normales del organismo pueden mantener el estado de equilibrio que caracteriza la salud.

A diferencia de los accidentes, en los que la relación entre exposición y accidente tiene un componente aleatorio, en la secuencia de una intoxicación por agentes químicos no interviene ninguna probabilidad, sino que es una secuencia determinista. Por ejemplo, resbalar cuando se camina sobre un suelo húmedo tiene un componente de aleatoriedad, mientras que la inhalación día tras día de aire con una concentración elevada de n-



hexano siempre ocasiona la alteración del sistema nervioso, siendo una cuestión de tiempo, no de probabilidad. La aparente componente aleatoria de las intoxicaciones es consecuencia de las diferencias entre individuos, es decir, a igualdad del resto de variables (tipo de agente, condiciones de trabajo, concentración ambiental, duración de la exposición, etc.), el tiempo que tarda en manifestarse el efecto tóxico no es el mismo en todos los individuos.

El caso de una exposición aguda con efectos perjudiciales diferidos, es decir, que se manifiestan mucho tiempo después de que haya ocurrido la exposición, es poco frecuente. Un ejemplo podría ser el cáncer de pulmón ocasionado por la inhalación de amianto que se puede desarrollar y manifestar varios años después de una exposición única.

Esta división atendiendo a la forma de exposición y asignando una disciplina preventiva a cada una de ellas es más académica que real. En la práctica no es fácil en muchas ocasiones distinguirlas, ni tampoco es fácil separar las funciones o tareas

que son de “Seguridad” de las que son de “Higiene”. Lo que importa realmente es que los prevencionistas sean capaces de utilizar las herramientas de análisis y evaluación de riesgos adecuadas a cada caso y proponer las acciones necesarias para evitar daños ocasionados por la exposición a agentes químicos, independientemente de cómo sea la forma de exposición.

Valga este comentario para llamar la atención sobre la necesidad de considerar la prevención de forma integral, y no compartimentada en celdas estancas, y, por tanto, declarar de entrada la parcialidad de este capítulo y la necesidad de completar su estudio con otros aspectos relacionados con la evaluación de los riesgos de tipo “accidente químico”, poco mencionados en este capítulo pero no por ello menos importantes.

Como ejemplo de integración se puede citar el Real Decreto 374/2001 que trata de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores en relación con la presencia de agentes químicos en el trabajo. En el texto legal se tratan tanto los riesgos higiénicos como los de accidente y se especifican las obligaciones del empresario para prevenirlos.

EFFECTOS EN LA SALUD CAUSADOS POR LOS AGENTES QUÍMICOS

Cualquier efecto sobre la salud causado por un agente químico es el resultado de la interacción del agente con el organismo humano; ahora bien, el organismo humano es un sistema muy complejo de interacciones con su entorno, de forma que el resultado final (el efecto del agente químico) no es sólo una consecuencia de las propiedades intrínsecas del agente en cuestión; también el comportamiento del propio organismo y los factores ambientales influyen en el resultado.

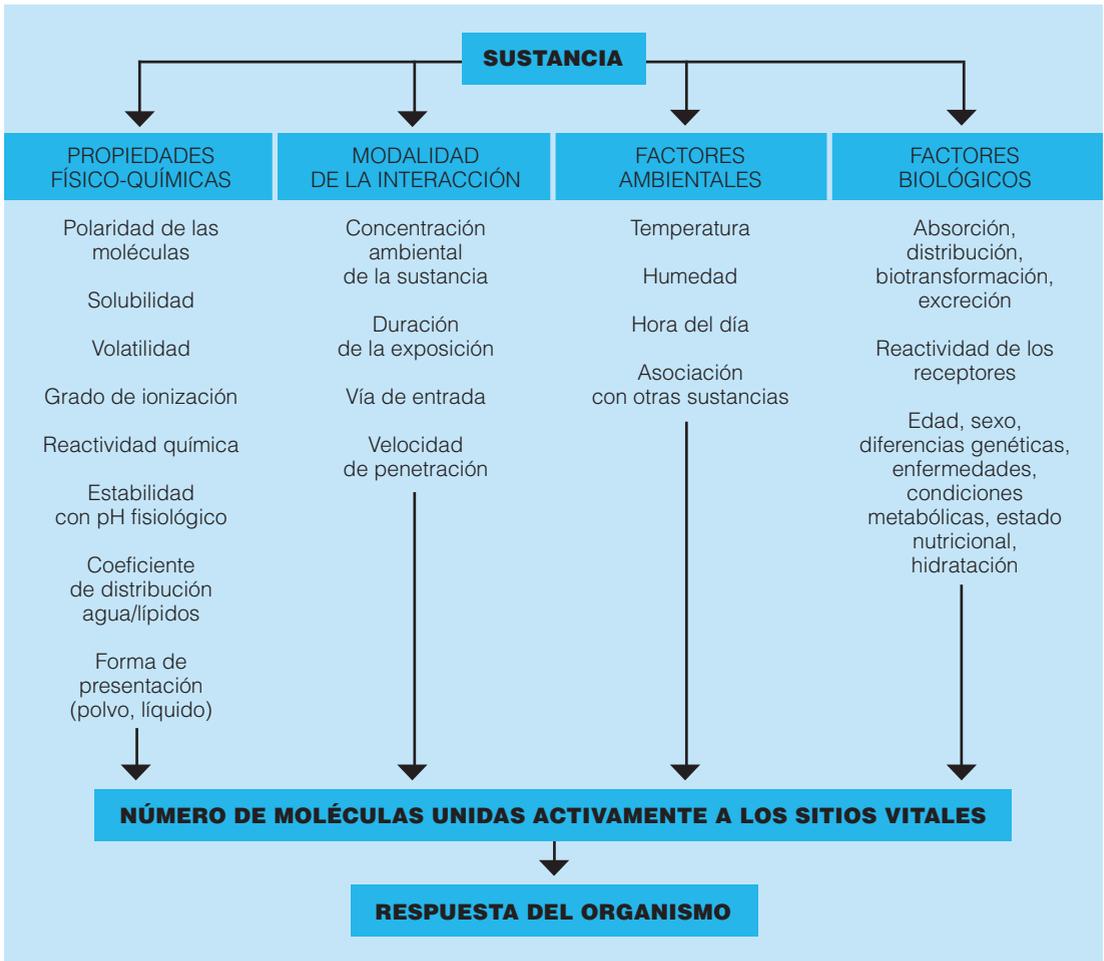
Factores que determinan los efectos de las sustancias químicas

Al considerar los efectos que pueden ocasionar las sustancias químicas en el organismo es útil agrupar todos los factores en los cuatro grupos que se indican en el esquema.

Como hipótesis de trabajo se asume que la respuesta del organismo está relacionada con la concentración de la sustancia en el órgano diana (dosis activa), siendo dicha concentración, a su vez, función de la concentración en el ambiente (dosis disponible).

Propiedades fisicoquímicas de la sustancia

La capacidad de los mecanismos de defensa del organismo para impedir o dificultar el ingreso de las sustancias está rela-



cionada con las propiedades fisicoquímicas de estas. Por ejemplo, las sustancias solubles en las grasas (liposolubles) atraviesan con más facilidad las barreras del organismo, cuyo contenido en grasas es alto; las sustancias con una reactividad química elevada tendrán mayor capacidad de ocasionar daños en el organismo que las sustancias más inertes; los contaminantes en fase gaseosa llegan fácilmente a los alveolos pulmonares, así como las partículas de tamaño submicrónico, mientras que las partículas de tamaño grueso quedan retenidas en las vías respiratorias superiores.

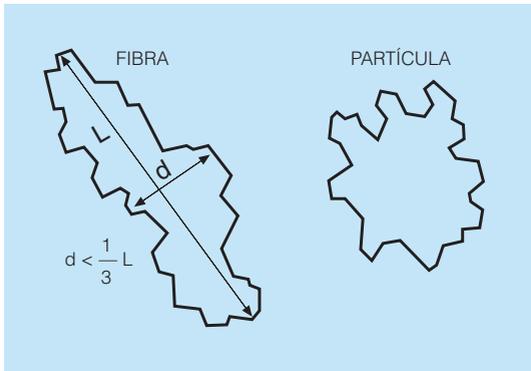
Como se verá después, la contaminación del aire con sustancias químicas es el origen más frecuente de las exposiciones laborales a agentes químicos. La forma que adopta esta contaminación tiene nombres específicos para identificarla. Se habla de gases o vapores cuando la sustancia está presente en el aire

en fase gaseosa, mientras que si el contaminante está suspendido en el aire en forma de partículas sólidas o líquidas se habla de un aerosol. La distinción entre gas y vapor obedece a un criterio termodinámico y su incidencia toxicológica es irrelevante. En ambos casos el contaminante se presenta en forma de moléculas aisladas, mezcladas con las moléculas de aire, que se comportan siguiendo las leyes físicas aplicables a cualquier gas.

FORMA DE PRESENTACIÓN DE LOS CONTAMINANTES					
MOLÉCULAS		AEROSOL			
		SÓLIDO		LÍQUIDO	
GAS	VAPOR	POLVO	HUMO	FIBRAS	NIEBLAS

Los aerosoles admiten una subclasificación. Se dice que un contaminante está en forma de *polvo* cuando se trata de partículas sólidas originadas en un proceso de disgregación mecánica a partir de partículas de mayor tamaño (polvo de aserrado, de pulido, etc.), mientras que si las partículas sólidas se generan por condensación de los vapores formados en un proceso

térmico se habla de *humo* (humos de combustión, de soldadura, del tabaco, etc.). En general las partículas de polvo son de mayor tamaño que las de humo. Cuando las partículas del aerosol están formadas por pequeñas gotas de un líquido se habla de *nieblas*, independientemente de su proceso de generación. Un caso particular de aerosol sólido lo constituyen las *fibras*, que son un aerosol de partículas sólidas en las que la relación entre su longitud y su diámetro es superior a 3.



En algunas ocasiones sólo tiene interés toxicológico la fracción del aerosol de polvo que debido a su pequeño tamaño puede llegar hasta los alveolos pulmonares, en cuyo caso se habla de la “fracción de polvo respirable”.

Modalidad de la interacción

Son muchas las variables que entran en juego cuando se considera la interacción de la sustancia con el organismo. Las más evidentes son la cantidad de sustancia presente en el ambiente (la concentración ambiental) y el tiempo de exposición. A mayor concentración ambiental o mayor tiempo de exposición, mayor efecto y, por tanto, en primera aproximación, el efecto es proporcional al producto de la concentración ambiental por el tiempo de exposición. Este producto indica el valor cuantitati-

vo de la exposición y es proporcional a la dosis externa.

La frecuencia de las exposiciones puede condicionar, a igualdad de dosis, el efecto, desde “ningún efecto” hasta la muerte. Una dosis única de una sustancia puede producir efectos muy graves que pueden no producirse si la misma dosis se administra fraccionada a lo largo de varios días o semanas. En general el fraccionamiento de la dosis reduce el efecto debido a los mecanismos de detoxificación y de excreción de la sustancia, así como de los mecanismos de reparación del organismo que, si tienen tiempo para actuar, pueden evitar concentraciones elevadas en el órgano diana.

Otros aspectos a considerar son la vía de entrada del tóxico y su velocidad de penetración. Los tóxicos pueden entrar en el organismo por vía respiratoria, vía cutánea, vía digestiva y vía parenteral (que agrupa diferentes vías intraorgánicas como la endovenosa, la subcutánea, la intradérmica y la intramuscular).

El orden de mayor a menor efectividad es: vía intravenosa (parenteral), vía respiratoria, vía digestiva y vía cutánea, entendiéndose por efectividad la intensidad y la rapidez de aparición del efecto. Por ejemplo: la sustancia que penetra por vía digestiva, antes de ser distribuida por todo el organismo, pasa por el estómago, que es un “reactor” a pH muy bajo, y por el hígado, donde puede ser “desactivada”. Esto no ocurre en la vía respiratoria, ya que la sustancia es distribuida por el torrente sanguíneo a todo el organismo, sin ser sometida a estos mecanismos de detoxificación.

Factores ambientales

Uno de los elementos diferenciales, y dificultad añadida, de la toxicología industrial con respecto a la toxicología clínica es la influencia de las condiciones ambientales sobre el binomio “sustancia química – organismo”.

La temperatura y humedad ambiental pueden condicionar la absorción de algunos tóxicos por vía dérmica. De igual manera, la hora del día influye en cuanto a la efectividad de los mecanismos de detoxificación y excreción del individuo, habiéndose demostrado una lentitud en dichos mecanismos por la noche; la consecuencia lógica de este hecho es una mayor permanencia del producto en el organismo y un aumento de la probabilidad de lesión.

Finalmente, la presencia de varios agen-

LA DOSIS EXTERNA ES EL PARÁMETRO MÁS SIGNIFICATIVO DE LA EXPOSICIÓN

EN GENERAL, UN FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS (MENOR CANTIDAD DURANTE MÁS TIEMPO) LIMITA EL EFECTO TÓXICO DE LAS SUSTANCIAS

LOS EFECTOS DE LA MULTIEXPOSICIÓN SON DIFÍCILMENTE PREVISIBLES

EFFECTO DE LAS EXPOSICIONES COMBINADAS

Si: $A \cdot B$ es el efecto de la exposición a las sustancias A y B

A es el efecto producido por la sustancia A

B es el efecto producido por la sustancia B

Se dice que hay

ADITIVIDAD si: $A \cdot B = A + B$

SINERGIJA si: $A \cdot B > A + B$

ANTAGONISMO si: $A \cdot B < A + B$

tes químicos puede dar lugar a interferencias que resultan en una modificación de los efectos y que responden a mecanismos de tipo químico (reacción entre ambos), fisicoquímico (aumento del tiempo de permanencia en el aparato respiratorio de un gas debido a su adsorción en un polvo inerte presente también en el ambiente) o biológico (por mecanismos de inducción o inhibición enzimática).

Factores biológicos

Entre los factores biológicos que tienen importancia en la acción de las sustancias en el organismo, cabe citar: el metabolismo de la sustancia en cuestión (procesos de absorción, distribución, biotransformación y excreción), la respuesta particular de los individuos y otras variables como edad, sexo, presencia de alteraciones genéticas, enfermedades intercurrentes, factores de modificación del metabolismo (tabaquismo), estado nutricional y grado de hidratación.

La respuesta individual se refiere tanto a la susceptibilidad de algunas personas, que determina una respuesta cualitativamente igual que en otros individuos pero de intensidad distinta, como a la tolerancia a una sustancia, que no es más que una reactividad disminuida por exposiciones anteriores a la misma sustancia o a sustancias estructuralmente similares.

Metabolismo de los tóxicos

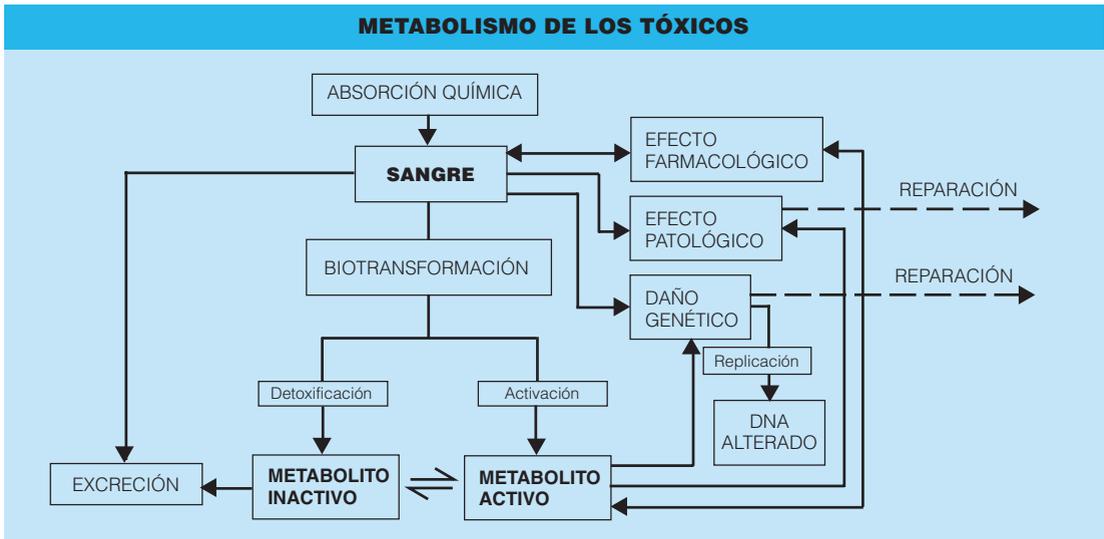
Se denomina “tóxico” a toda sustancia externa que, al entrar en contacto con el organismo, puede provocar una respuesta perjudicial, daños graves o la muerte.

Se entiende por “toxicidad” o “acción tóxica” la capacidad de una sustancia para ocasionar daños en los organismos vivos una vez que ha alcanzado un punto del cuerpo susceptible a su acción.

Esta acción tóxica consiste en modificaciones de las funciones del organismo a nivel celular, bioquímico o molecular que darán lugar a una manifestación observable llamada “efecto”.

La interacción de los contaminantes químicos con el organismo puede describirse a partir de la sucesión de los procesos de absorción, distribución, biotransformación y excreción. Tanto el depósito en el interior del organismo como los efectos genéticos son otras fases posibles, aunque no siempre se producen.

LA RUTA DE LOS CONTAMINANTES EN EL ORGANISMO COMPRENDE LAS FASES DE ABSORCIÓN, DISTRIBUCIÓN, BIOTRANSFORMACIÓN Y EXCRECIÓN



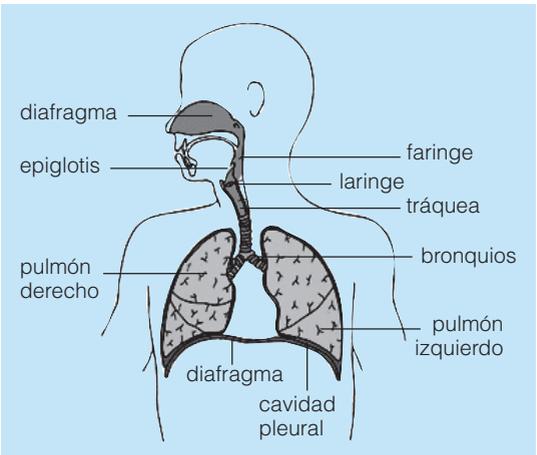
Vías de entrada y absorción

Los tóxicos pueden hallarse en el aire, en la ropa de trabajo, sobre la piel, en los alimentos que consumimos, etc. Las vías de entrada ya se han citado al hablar de la modalidad de la interacción. En este apartado se tratará, por su importancia práctica, la vía respiratoria, la cutánea y la digestiva. La vía parenteral (heridas, pinchazos) es accesoria ya que no es frecuente que se den exposiciones crónicas por esta vía.

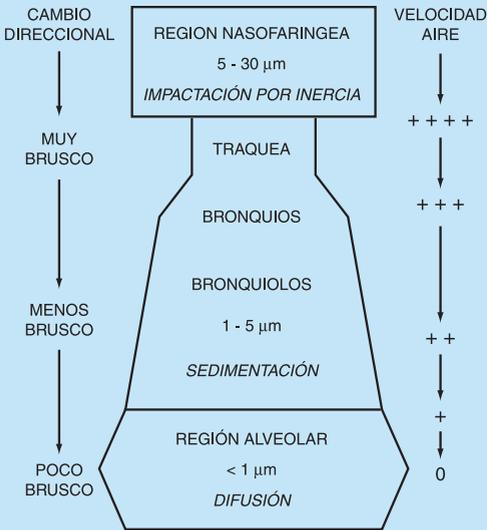
LAS VÍAS DE ENTRADA FUNDAMENTALES DE LOS CONTAMINANTES EN EL ORGANISMO SON: RESPIRATORIA, DÉRMICA Y DIGESTIVA

La vía respiratoria es la más frecuente e importante en el entorno laboral. Los tóxicos que penetran por ella pueden estar en forma de gas, vapor o aerosol. La importancia de esta ruta de entrada está determinada por la gran superficie de contacto disponible para la absorción del tóxico, muy superior a 100 m², por la delgadez de la membrana que separa el aire inhalado de la sangre y por la ausencia, en primera instancia, del filtro hepático.

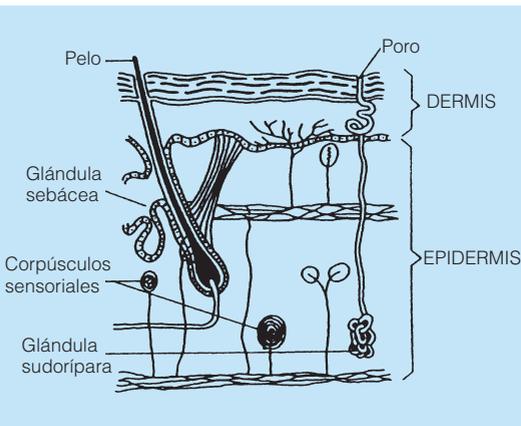
La absorción se produce en lo más profundo del aparato respiratorio, que son los alveolos pulmonares. El que una molécula llegue hasta el final del recorrido dependerá de varios factores, desde la forma de presentación de la sustancia (si es gas o aerosol, siendo en este último caso fundamental el tamaño de la partí-



FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESTINO DE LOS AEROSOLES



MUCHOS CONTAMINANTES PUEDEN ATRAVESAR LA PIEL Y LLEGAR HASTA EL TORRENTE SANGUÍNEO. LA VÍA DÉRMICA ES UNA VÍA DE ENTRADA FRECUENTE EN EL ENTORNO LABORAL



cula), hasta la frecuencia y profundidad de los movimientos respiratorios.

La segunda vía en importancia, en cuanto a la absorción de tóxicos en el medio laboral, es la dérmica. Afortunadamente la piel no es demasiado permeable y constituye una barrera eficaz al paso de los tóxicos, siendo la capa córnea, es decir, la capa más superficial de la piel, la clave de la poca penetrabilidad cutánea. La piel puede ser atravesada por los espacios existentes entre las células, a través de ellas o por los anejos cutáneos (vía folículo piloso o glándulas sebáceas o sudoríparas).

Las sustancias solubles en grasa presentan una facilidad de penetración mayor que las solubles en agua, siendo las solubles en ambos medios, las de mayor absorción. Los factores que influyen en la absorción cutánea son los propios de la piel (humedad, grosor, vascularización, integridad del estrato córneo) y los inherentes al agente químico (concentración, forma de presentación, pH y liposolubilidad).

La importancia de la vía dérmica en cada caso concreto se ha de decidir teniendo en cuenta las otras posibles vías de absorción. Por ejemplo: tanto el tricloroetileno como el tolueno se absorben por vía dérmica, pero la vía preponderante en la mayor parte de los puestos de trabajo es la respiratoria, dada la volatilidad de ambos productos; sin embargo, la bencidina, que es poco volátil, tiene en la vía dérmica su principal ruta de absorción.

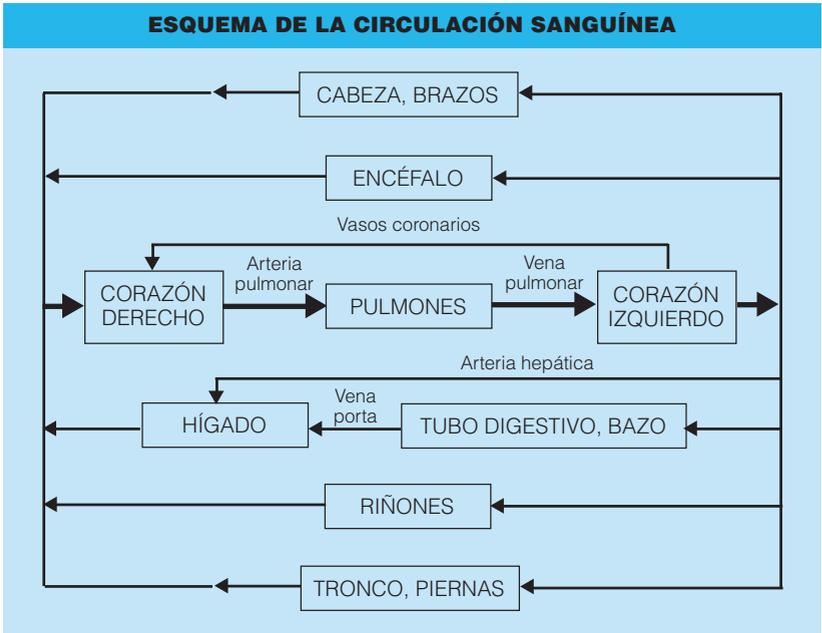
La penetración de las sustancias a través del aparato digestivo se produce, en la mayor parte de los casos, como consecuencia de prácticas o comportamientos que atentan al más elemental sentido de la higiene (comer o beber en el puesto de trabajo, no lavarse las manos antes de comer

o llevar al comedor la ropa de trabajo sucia, aspirar con la boca para llenar pipetas, etc.). También puede ser origen de una absorción por vía digestiva respirar por la boca o mascar chicle, pues pueden condicionar la ingestión de ciertas sustancias, así como la deglución del moco proveniente del aparato respiratorio.

Distribución y depósito

Algunas sustancias ejercen sus efectos sobre la misma vía de entrada, mientras que otras son transportadas por el torrente sanguíneo hasta otras zonas del organismo que resultan lesionadas o donde se depositan. El sistema circulatorio (sangre y linfa) es el responsable de la distribución de los tóxicos por todo el organismo. Observando el esquema de la circulación se observa cómo los tóxicos que penetran por vía respiratoria o dérmica son distribuidos por todo el organismo, mientras que los que acceden por vía digestiva pasan por el hígado antes de ser distribuidos. Esta circunstancia es una de las causas de la menor efectividad tóxica de esta vía citada antes.

LA EXPOSICIÓN LABORAL A AGENTES QUÍMICOS POR VÍA DIGESTIVA ES POCO FRECUENTE, Y EN LA MAYOR PARTE DE CASOS ES CONSECUENCIA DE MALAS PRÁCTICAS DE HIGIENE PERSONAL



Habitualmente los tóxicos no se reparten uniformemente por todo el organismo, sino que se concentran en un tejido determinado. En algunos casos se alcanza la concentración máxima en el lugar donde se ejerce la acción tóxica (por ejemplo, el monóxido de carbono se fija en la hemoglobina), mientras que en otros casos el tóxico se acumula en zonas distintas de sus órganos diana (por ejemplo, el plomo se acumula en los huesos). El lugar (tejido u órgano) donde se produce la acumulación se denomina “depósito del tóxico”.

En muy pocas ocasiones el depósito de un tóxico produce lesiones en el tejido de acumulación, incluso se puede conside-

LA ACUMULACIÓN DE UN TÓXICO EN UN TEJIDO NO SUELE PRODUCIR LESIONES POR SI MISMA, PERO ES UN INDICADOR DE QUE EXISTE, O HA EXISTIDO, UNA EXPOSICIÓN Y, POR TANTO, UN RIESGO

rar el depósito como un mecanismo de defensa al evitar la acumulación de la sustancia en los lugares de acción. Los principales tejidos/órganos de depósito son las proteínas plasmáticas, el hígado, los riñones, el tejido graso y los huesos.

Biotransformación

El organismo somete a las sustancias extrañas (xenobióticos) a una serie de transformaciones cuyo resultado suele ser la desactivación del efecto tóxico. En ocasiones, el cambio sufrido al metabolizarse la sustancia es totalmente contrario, como ocurre con el paraquat, cuyo metabolito es el producto tóxico, o con el metanol, que lesiona el organismo a partir del formaldehído y ácido fórmico resultantes de su biotransformación.

LOS METABOLITOS PRODUCIDOS POR EFECTO DE LA BIOTRANSFORMACIÓN DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS ABSORBIDAS SON, EN OCASIONES, MÁS TÓXICOS QUE LAS PROPIAS SUSTANCIAS

El órgano más importante de la metabolización de los tóxicos es el hígado.

Existen, sin embargo, órganos con una capacidad residual de transformación como el pulmón, los riñones, la piel, el corazón, los músculos y el cerebro.

Excreción

Las vías de excreción son múltiples. La más importante es la vía renal, aunque no hay que olvidar otras vías como la respiratoria (por donde se eliminan los gases y compuestos volátiles), la biliar, la gastrointestinal y vías accesorias como las glándulas salivares, las sudoríparas o la secreción láctea. Evidentemente, la integridad de estos sistemas de excreción puede condicionar, y de hecho condiciona, la dosis activa de la sustancia.

Efectos de los tóxicos sobre el organismo

Los factores mencionados condicionan una respuesta mayor o menor del organismo frente a los tóxicos. Esta respuesta constituye, de hecho, el efecto del tóxico en el organismo y su intensidad vendrá dada por el desequilibrio ocasionado por los agentes químicos en el organismo con respecto a un organismo sano.

EL ORGANISMO SE COMPORTA DE FORMA ACTIVA FRENTE A LA ABSORCIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS. CUANDO ESTA ACTIVIDAD IMPLICA MODIFICACIÓN DEL EQUILIBRIO FÍSICO DEL ORGANISMO SE ESTÁ ANTE UN «EFECTO TÓXICO»

La clasificación de los efectos sobre el organismo puede hacerse sobre la base de múltiples criterios. Atendiendo al tiempo que transcurre entre la exposición y la aparición de los efectos, se habla de *efectos agudos*, si es inmediato a la exposición, o de *efectos crónicos*, si hay periodo de latencia; mientras que si se valora su evolu-

ción se clasifican en *efectos reversibles* o *efectos irreversibles*. Finalmente, la clasificación según el lugar de acción los divide en *efectos locales* y *efectos sistémicos*. Los primeros se producen en la misma vía de entrada, mientras que los segundos requieren la absorción y distribución del contaminante dentro del organismo, ejerciendo su acción en el/los órgano/s diana.

Con relación a los efectos sistémicos, el sistema más frecuentemente afectado por fenómenos tóxicos es el nervioso y, en especial, el cerebro. Le siguen en importancia el aparato cardiocirculatorio, la sangre y el sistema hematopoyético y, finalmente, ciertas vísceras como el hígado, los riñones, el pulmón y la piel; y con frecuencia muy inferior, los músculos y los huesos.

Mención aparte merece la clasificación en *efectos graduados* y *efectos no graduados*. Los primeros son proporcionales a la exposición, siendo los segundos independientes de la misma, es decir: la intensidad del efecto tiene poca relación con la dosis recibida.

Atendiendo a criterios fisiopatológicos, los efectos se clasifican según se indica en la tabla, y aunque no es objeto de este texto describir con detalle cada uno de ellos, se comentan brevemente a continuación. Es habitual identificar un agente químico por el tipo de efecto que ocasiona; así se habla de agentes asfixiantes, irritantes, cancerígenos, etc.

TIPOS DE TÓXICOS Y EFECTOS EN EL ORGANISMO

Irritantes	Inflamación en las áreas de contacto, piel y mucosas ocular y del aparato respiratorio.
Corrosivos	Destrucción del tejido sobre el que actúa.
Neumoconióticos	Alteración pulmonar por partículas sólidas, de sustancias insolubles en los fluidos biológicos, que se depositan y acumulan en el pulmón.
Asfixiantes	Anoxia por desplazamiento del oxígeno del aire (asfixiantes simples) o por alteración de los mecanismos biológicos de oxidación (asfixiantes químicos).
Anestésicos y narcóticos	Depresión del sistema nervioso central.
Sensibilizantes	Efecto alérgico en presencia de pequeñas cantidades, que puede manifestarse de forma diversa (asma, dermatitis, rinitis).
Cancerígenos, genotóxicos y tóxicos para la reproducción	La catalogación de una sustancia en uno de estos grupos se hace en función de que induzca el desarrollo de un cáncer, produzca alteraciones del ADN u ocasione alteraciones en la fertilidad, reproducción o descendencia.
Tóxicos sistémicos	Alteraciones o daños en órganos o sistemas específicos (hígado, riñón, piel, etc.) una vez absorbido y distribuido por el cuerpo.

Efecto irritante

El efecto irritante es la manifestación de la respuesta del organismo frente a una agresión externa, que se produce en el lugar de contacto del tóxico. Muchas sustancias son capaces de producir irritaciones o reacciones cutáneas o respiratorias, siempre y cuando se encuentren en concentraciones suficientemente altas y durante un periodo de tiempo suficiente. Su acción puede ser intensa (irritantes fuertes) o moderada (irritantes leves).

EJEMPLOS DE IRRITANTES	
CUTÁNEOS	RESPIRATORIOS
Ácidos clorhídrico, nítrico, sulfúrico	Ácido sulfhídrico
Cemento	Ácido fluorhídrico
Cal	Cloro
Xileno	Acroleína
Trementina	Formaldehído
Acetona	Acetaldehído
Peróxido de benzóilo	Amoniaco

En la piel las manifestaciones clínicas son diversas, desde un leve enrojecimiento a una úlcera. En el aparato respiratorio, en el caso de los irritantes con acción intensa, el síntoma principal suele ser una insuficiencia respiratoria inmediata acompañada de los síntomas propios de la irritación mucosa (lagrimeo, estornudos, dificultades para tragar).

La condición que determina un mayor o menor efecto de los agentes irritantes que actúan sobre la vía respiratoria es esencialmente su solubilidad en agua. Los compuestos solubles en agua dan lugar a

los síntomas más agudos, que, salvo algunas excepciones, son los menos graves. Los de baja solubilidad en agua producen una lesión difusa en los alveolos (edema pulmonar), cuyos síntomas aparecen con cierto retraso respecto a la exposición, incluso de 24 horas. Este retraso constituye un factor de riesgo adicional debido a la posibilidad de un diagnóstico equivocado, que inducirá un tratamiento no adecuado, ya que es probable no relacionar los síntomas con la exposición sufrida.

Efecto corrosivo

Existe la falsa idea de que un efecto corrosivo es un efecto irritante muy fuerte. Esta confusión se sustenta en el hecho de que muchos productos son corrosivos a concentraciones elevadas e irritantes a bajas concentraciones. El efecto corrosivo consiste en la destrucción de los tejidos por la acción del producto, que es un fenómeno distinto a la respuesta del organismo frente a un irritante. Son compuestos corrosivos el bromo y los ácidos y álcalis inorgánicos de concentraciones elevadas.

Efecto pneumoconiótico

Las sustancias pneumoconióticas son aquéllas que producen algún tipo de efecto en los pulmones. Se trata de aerosoles de fibras o partículas que, acumuladas en los alveolos y bronquiolos,

generan una respuesta biológica en los tejidos pulmonares cuyo resultado es una insuficiencia respiratoria e, incluso, ciertos tipos de tumores. Son ejemplos de ellos, el amianto, la sílice cristalina o el talco. Resulta obvio que, además de la naturaleza química de la sustancia, el tamaño y la forma de las partículas del aerosol son factores que influyen de forma determinante en el desarrollo de daños en el pulmón.

Si la respuesta del tejido pulmonar frente a la acumulación de las partículas en los alveolos es nula o muy ligera se habla de “polvo inerte”. Esta denominación puede inducir a confusión. El término “inerte” sólo hace referencia a la ausencia de respuesta del tejido pulmonar, pero la acumulación de partículas en los alveolos tiene efectos directos en la capacidad respiratoria y, por tanto, es un efecto perjudicial para la salud.

Efecto asfixiante

Los asfixiantes son sustancias, normalmente en estado gaseoso, cuya presencia en el aire impide, por diversos procedimientos, que se lleve a cabo el aporte de oxígeno a las células. El monóxido de carbono, el cianuro de hidrógeno o el sulfuro de hidrógeno son ejemplos de sustancias asfixiantes.

También se incluyen en este grupo los gases biológicamente inertes, es decir, que no ocasionan ningún efecto ni respuesta biológica, pero cuya presencia en el aire implica una menor concentración de oxígeno. Reciben el nombre de “asfixiantes simples” u “oxiprivos”. El nitrógeno, los gases nobles, el hidrógeno y muchos hidrocarburos gaseosos (metano, etano, etileno, etc.) son ejemplos de asfixiantes simples.

Efecto anestésico

Los anestésicos o narcóticos son aquellos compuestos que actúan sobre el sistema nervioso central, limitando o reduciendo la actividad cerebral. En general, se trata de sustancias liposolubles (solubles en grasas) que actúan sobre el tejido nervioso del cerebro, de carácter graso. Los disolventes orgánicos son el ejemplo típico de estos compuestos. En este caso habría que resaltar la posibilidad de sufrir un accidente laboral en el trabajo con máquinas, en la conducción de vehículos etc., por la limitación de la actividad cerebral, de la capacidad de concentración y de la coordinación de movimientos.

Efecto sensibilizante o alérgico

La respuesta de tipo alérgico normalmente se desarrolla en dos fases. Al inicio de la exposición no se producen síntomas aparentes, es la fase de sensibilización; posteriormente, cuando el individuo ya se ha sensibilizado, se observa una respues-

EJEMPLOS DE SENSIBILIZANTES

CUTÁNEOS	RESPIRATORIOS
Formaldehído	Etilendiamina
Resinas epoxi	Anhídrido ftálico
Aminas	Isocianatos (TDI, HDI, MDI)
Fenoles	Anhídrido trimellítico
Thiuran	Cromatos
Mercaptobenzotiazol	Sales de níquel
Carbamatos	
p-Fenilendiamina	
Cromatos	
Níquel	
Etilendiamina	

ta inmunitaria exagerada cuando se produce una nueva exposición incluso de intensidad muy pequeña. Las respuestas pueden aparecer en la piel (dermatitis, urticaria), las mucosas (conjuntivitis, rinitis) y las vías respiratorias (asma). Los efectos de tipo sensibilizante son difíciles de detectar, ya que no se manifiestan en todos los individuos expuestos, pueden aparecer después de repetidos contactos con el producto sin efectos aparentes y pueden producirse sensibilizaciones incluso como consecuencia de exposiciones de muy baja intensidad.

Efecto cancerígeno y efecto mutagénico

El efecto cancerígeno es la capacidad de producir cáncer o aumentar su frecuencia.

Con el nombre de cáncer se agrupan numerosos procesos, de pronóstico variable y no necesariamente fatal. Los agentes químicos que pueden inducir cáncer son múltiples. Algunos de ellos son perfectamente conocidos (amianto, benceno, tricloroetileno, etc.) mientras que otros están en estudio (níquel, nitrobenceno, dinitrotolueno, etc.). Las principales localizaciones del cáncer de tipo laboral son los pulmones, la piel, la vejiga urinaria, el hígado y la cavidad y los senos paranasales.

El efecto mutagénico es la capacidad de producir alteraciones genéticas hereditarias o aumentar su frecuencia.

Reglamentariamente, existe una lista de sustancias cancerígenas y una lista de sustancias mutagénicas para el hombre (RD 363/1995), cuya utilización está sometida a una regulación específica (RD 665/1997) que se comentará en el capítulo 4.

Sin embargo, la cantidad de sustancias consideradas como “sospechosas de inducir cáncer en humanos” es muy elevada y varía en el tiempo en función de los sucesivos hallazgos toxicológicos y epidemiológicos. Por ello, diferentes organismos profesionales o de investigación biomédica disponen de listas con clasificaciones de diferentes “niveles” de carcinogenicidad.

EJEMPLOS DE CANCERÍGENOS Y LOCALIZACIÓN DEL CÁNCER

PIEL	PULMÓN	HÍGADO	VEJIGA URINARIA	SANGRE
Ácido arsénico	Amianto	Cloruro de vinilo	Bencidina	Benceno
	Cromo hexavalente		2-naftilamina	

Las monografías de la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) son el punto de partida para la asignación de las categorías de carcinogenicidad, que se asignan no solamente a los productos químicos puros, sino también, cuando la información epidemiológica lo sugiere, a familias de sustancias, a procesos químicos e incluso a actividades industriales.

DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE AGENTES CANCERÍGENOS

Sustancia	Benceno
Familia de sustancias	Aminas aromáticas
Proceso	Fabricación de auramina
Actividad	Ebanistas y carpinteros

Efecto tóxico para la reproducción

Este tipo de acciones se manifiesta en forma de alteraciones de la reproducción en la población. Un agente químico puede actuar sobre las células sexuales o germinales (espermatozoides y óvulos) produciendo un cambio tanto en la información genética (agentes mutágenos o mutagénicos), como en el producto de la gestación, embrión o feto (agentes teratógenos).

Es importante señalar que las alteraciones cromosómicas pueden producirse tanto en las células sexuales masculinas como en las femeninas, por lo que, para realizar una correcta prevención del riesgo, es necesario tener en cuenta las condiciones laborales de ambos sexos.

Al igual que con los compuestos cancerígenos y mutágenos, los compuestos con estas características, que de una manera u otra afectan a la reproducción humana, son objeto de estudio constante y las listas nunca pueden considerarse cerradas.

Efectos sistémicos

Finalmente, los tóxicos sistémicos son aquellas sustancias que presentan efectos específicos sobre determinados órganos o sistemas, que normalmente no son la vía de penetración en el organismo. Por ejemplo: el mercurio y el metanol, que afectan al sistema nervioso central; la mayor parte de los metales pesados, que afectan al riñón; el cloroformo y otros hidrocarburos clorados, que afectan al hígado; o las aminas aromáticas, que afectan a la vejiga urinaria.

CRITERIOS DE VALORACIÓN

Se entiende por criterio de valoración la definición de una situación, o el valor de una magnitud con la que comparar la realidad, para evaluar, de forma objetiva, el riesgo debido a la exposición a un agente químico.

UN CRITERIO DE VALORACIÓN ES LA DEFINICIÓN DE LA EXPOSICIÓN A UN AGENTE QUÍMICO QUE SE CONSIDERA ACEPTABLE

Normalmente los criterios de valoración toman la forma de Valores Límite Ambientales (VLA), que son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire y representan condiciones a las cuales se cree, basándose

se en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos sin sufrir efectos adversos para la salud.

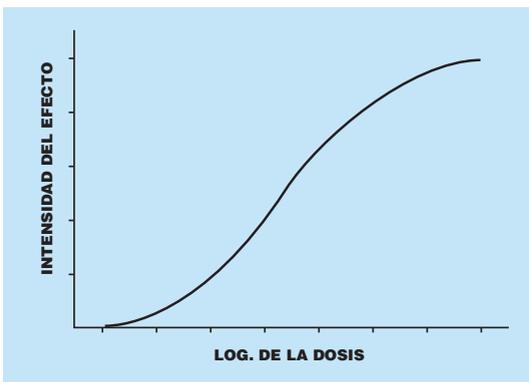
Se habla de la mayoría de trabajadores, y no de la totalidad, puesto que, debido a la amplitud de las diferencias de respuesta existentes entre los individuos, un pequeño porcentaje de trabajadores podría experimentar molestias a concentraciones inferiores a los VLA, e incluso resultar afectados más seriamente, sea por agravamiento de una condición previa o desarrollando una patología laboral.

En general, se parte del hecho de que en casi todos los ambientes están presentes casi todos los contaminantes. En estas condiciones la pregunta clave nunca debe ser si en un ambiente hay una sustancia determinada (la respuesta siempre será “posiblemente sí”). La pregunta útil es si la exposición a ese ambiente puede ocasionar daño a la salud; la respuesta correcta debería ser “no”, o por lo menos “muy probablemente no”.

Para obtener información cuantitativa se realizan ensayos biológicos para determinar la relación entre la exposición a una sustancia (dosis) y la intensidad del efecto (relación dosis-efecto) o el número de individuos que presentan un efecto determinado (relación dosis-respuesta).

Relación dosis-efecto

Cuando el efecto es gradual, es decir, proporcional a la dosis recibida, dicha relación puede representarse gráficamente, tal como se muestra en la figura.



El valor de la dosis por debajo de la cual no se manifiesta ningún efecto define el denominado “umbral de efecto” (o de toxicidad). Debe indicarse que no todas las sustancias con efecto gradual presentan este umbral.

La determinación del umbral de efecto es problemática. Una aproximación experimental es la determinación del denominado NOAEL (*Not Observed Adverse Effect Level*: Nivel sin efecto adverso observado) o del LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*: Nivel más bajo con efecto

adverso observado). El primero es la dosis o nivel de exposición máximo observado sin que se presente ningún signo adverso relacionado con la exposición, mientras que el segundo es la dosis o nivel de exposición más bajo para el que se ha observado algún efecto adverso.

Como ya se ha comentado anteriormente, a igualdad de dosis, no todos los organismos responden de igual manera e incluso un mismo individuo, en momentos distintos, puede responder de forma diferente. La obtención de la curva dosis-efecto pasa, pues, por el estudio de un grupo homogéneo de individuos en los que se observa el efecto obtenido a las diferentes dosis, consignándose para cada una de ellas el efecto medio. En todo caso, la relación dosis-efecto es una aproximación a la relación que teóricamente debe existir entre la exposición a un agente químico y el efecto que produce en un individuo.

Se observa que, a medida que se aumenta la dosis, crece la proporción de individuos que alcanzan un nivel predeterminado del efecto hasta que finalmente todos ellos lo presentan. La gráfica que se obtiene representando el número, o la proporción, de individuos que manifiestan el efecto en función de las dosis crecientes es una forma de expresión de la relación dosis-respuesta para el efecto considerado y responde a una distribución, tal como se indica en la figura. La diferencia con la relación dosis-efecto reside en que al hablar de respuesta se define previamente cuál es el nivel del efecto que se considera significativo y ello permite clasificar a los individuos de la población en dos grupos: los que han experimentado un efecto de magnitud igual o superior a la predefinida y los que no lo han alcanzado.

La forma de la curva cambia en función de la variabilidad de la respuesta: cambio brusco para una pequeña variabilidad del efecto entre los individuos y más aplanada para una gran variabilidad. La dosis efectiva media (dm) corresponde a la dosis para la cual el 50% de los individuos manifiesta el efecto considerado.

Esta experiencia, realizada con un grupo de animales especialmente escogido a los que se administran dosis únicas, y fijando como efecto a observar la muerte de los individuos, permite obtener índices o criterios de toxicidad aguda. Los índices más usados son:

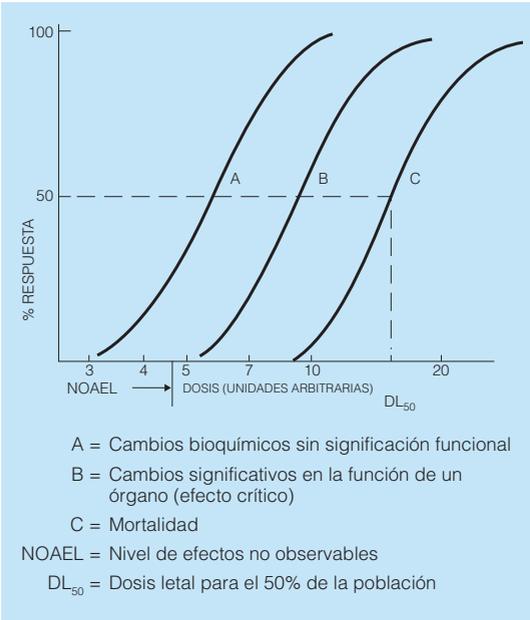
- DL_{50} , dosis letal al 50% por ingestión oral; corresponde a la dosis por vía oral que produce la muerte al 50% de los animales de experimentación.

LA RELACIÓN DOSIS-EFECTO DESCRIBE LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA MAGNITUD DE LA EXPOSICIÓN Y LA INTENSIDAD DEL EFECTO

Relación dosis-respuesta

LA RELACIÓN DOSIS-RESPUESTA DESCRIBE LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA MAGNITUD DE LA EXPOSICIÓN Y LA PROPORCIÓN DE INDIVIDUOS AFECTADOS POR UN DETERMINADO EFECTO

- DL_{50} , dosis letal al 50% por penetración cutánea; corresponde a la dosis por vía dérmica que produce la muerte al 50% de los animales de experimentación.
- CL_{50} , concentración letal al 50% por inhalación; corresponde a la concentración ambiental que por exposición durante un tiempo determinado (4 horas, por ejemplo) produce la muerte al 50% de los animales de experimentación en un plazo de tiempo definido.



Los valores de estos índices se utilizan para la clasificación de las sustancias en función de su toxicidad aguda.

Otro tipo de ensayos, en los que se administran dosis diariamente durante un tiempo determinado, proporcionan información sobre los efectos tóxicos derivados de la exposición repetida. Existen asimismo otros datos de toxicidad que son interesantes desde el punto de vista del riesgo químico, por ejemplo: la dosis más baja a la que se ha descrito un efecto (o la muerte), la dosis a la que aparece un determinado efecto, o el valor de concentración en aire con Inmediato Peligro para la Vida o la Salud (IPVS).

CRITERIOS DE TOXICIDAD BASADOS EN LA TOXICIDAD AGUDA

CATEGORÍA	DL_{50} oral rata (mg/kg)	DL_{50} cutánea rata o conejo (mg/kg)	CL_{50} inhalación rata (mg/l)	
			AEROSOLAS O PARTÍCULAS	GASES Y VAPORES
Muy tóxicos	≤ 25	≤ 50	≤ 0,25	≤ 0,5
Tóxicos	25-200	50-400	0,25-1	0,5-2
Nocivos	200-2000	400-2000	1-5	2-20
DL_{50} Dosis letal media / CL_{50} Concentración letal media				

Establecimiento de los Valores Límite Ambientales

Los VLA se establecen teniendo en cuenta la información disponible, procedente de estudios de experimentación animal y humana, de estudios epidemiológicos, de analogías físico-químicas de los agentes químicos y de la experiencia industrial.

Las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta son una forma de cuantificar los efectos de los agentes químicos en el organismo y son la base teórica para el establecimiento de los criterios de valoración.

El diseño y la aplicación de un criterio de valoración implica la respuesta a dos cuestiones básicas relacionadas entre sí: ¿qué efecto máximo sobre la salud se establece como “admisible”? y ¿qué porcentaje de la teórica población expuesta se está protegiendo realmente al establecer un valor límite, teniendo en cuenta los diferentes efectos que para distintas personas provoca una misma exposición a un contaminante?

En el caso, entre otros, de la exposición a tolueno debería ser posible definir la magnitud de un efecto como “efecto máximo tolerable”, por ejemplo: “la concentración de ácido hipúrico en orina no debe superar el valor 1,6 g/g creatinina”, y, a continuación, preocuparse por la magnitud de la dosis de exposición a tolueno para lograr que la mayoría de las personas expuestas (por ejemplo, el 95%) no alcancen ese límite. Ese sería el valor de la dosis permisible.

Es fácil darse cuenta de que los conceptos de “efecto a observar” (¿por qué el ácido hipúrico en orina y no otro efecto?), “efecto máximo tolerable” (¿por qué 1,6 g/g creatinina, y no otro valor?) y “mayoría de las personas” (¿por qué el 95% y no el 99%?) son, en cierto modo, arbitrarios, y ello explica la revisión continua a que están sometidos los criterios de valoración de exposiciones.

Una vez conocido el valor de la dosis máxima tolerable, es necesario definir unas condiciones de trabajo estandarizadas, para proponer unos valores límite de concentración ambiental estimados a través de la relación entre la concentración ambiental y la dosis.

Ahora bien, la solución no es tan simple. El concepto de dosis implica sólo una cantidad de materia, por ejemplo, la cantidad de contaminante que ha ingresado en el organismo por vía respiratoria en un periodo de tiempo determinado. Pero la forma de administrar la dosis también tiene influencia en el efecto sobre la salud.

Supongamos una exposición a una concentración en aire constante durante 8 horas al día todos los días. Si el agente químico es absorbido, metabolizado y eliminado por el organismo a una velocidad elevada, ocurrirá que a medida que se vaya inhalando el contaminante (recibiendo dosis) se irá eliminando y en el periodo de descanso entre un día y el siguiente se pro-

LAS RELACIONES DOSIS-EFECTO Y
DOSIS-RESPUESTA CONSTITUYEN EL
FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE LOS CRITERIOS DE
VALORACIÓN

ducirá la eliminación completa. Por el contrario, si el contaminante se elimina lentamente, se producirá una acumulación en el organismo y la eliminación en el periodo de descanso puede no ser completa. Por tanto, para evitar que la concentración de tóxico en el organismo alcance un valor elevado se deberá fijar una concentración en aire relativamente menor para el contaminante que se elimina lentamente.

Supongamos ahora que la exposición se produce a concentraciones muy elevadas durante periodos de tiempo breves, pero manteniendo la cantidad inhalada diariamente igual al caso anterior, por ejemplo 1 hora al día todos los días a una concentración 8 veces superior. En el caso del contaminante que se absorbe rápidamente, es posible que en el periodo de exposición ya se alcance en el organismo una concentración tóxica y se

UN VALOR LÍMITE DE CONCENTRACIÓN
DEBE IR ASOCIADO SIEMPRE A UN
PERÍODO DE TIEMPO DE EXPOSICIÓN

manifieste el correspondiente efecto, mientras que en el contaminante de dinámica lenta la concentración interna no tendrá tiempo de alcanzar valores elevados. La consecuencia es que la dosis diaria del contaminante con dinámica más lenta podrá ser relativamente más elevada. La conclusión es, en este caso, la contraria que en el supuesto anterior.

En realidad la mayor parte de contaminantes presentan un comportamiento mixto: para algunos de sus efectos tienen una dinámica rápida y para otros, lenta. La discusión anterior simplemente pretende ilustrar el hecho de que no es posible definir un VLA sin hacer referencia a una forma de exposición, lo que implica que a un mismo contaminante se le deberían asignar un conjunto de valores límite de concentración ambiental atendiendo a las diferentes formas posibles de exposición.

Sin embargo, esta forma de expresar un criterio de valoración presenta dos inconvenientes: la dificultad de uso y la gran cantidad de información epidemiológica y toxicológica que se requiere para su definición.

La necesidad de definir criterios de valoración que sean operativos ha llevado a simplificar el problema y definirlos de forma que se alcance un compromiso entre la utilidad y el rigor científico, aunque siempre manteniendo el objetivo de protección de la salud de los trabajadores expuestos. Generalmente, se define un valor límite de concentración aplicable a la concentración media diaria referida a una jornada de 8 horas o un valor límite referido a un periodo corto de tiempo (generalmente 15 minutos). Para algunos contaminantes se definen dos valores límite, uno aplicable al valor medio diario y otro aplicable a un periodo corto de tiempo.

Conviene tener siempre presente que los VLA se definen exclusivamente para la evaluación y el control de los riesgos por inhalación de los agentes químicos tal como se produce en los ambientes laborales, por lo tanto deben ser utilizados por personas con experiencia, que conozcan y comprendan los mecanismos de absorción, metabolización y eliminación de los tóxicos para poder emitir juicios de valor correctos sobre una situación de exposición dada.

En todo caso no son valores que puedan utilizarse como índices relativos de toxicidad de las sustancias químicas, ni como valores de referencia para evaluar situaciones de contaminación atmosférica, ni tampoco definen una separación nítida entre exposición sin riesgo y exposición con riesgo.

Este último matiz es importante, ya que por vía reglamentaria o legislativa se puede obligar a respetar unos valores límite que formalmente son similares a unos criterios de valoración, puesto que también son valores de concentración en aire de un agente químico, pero la interpretación es radicalmente distinta. Un valor límite recogido en un reglamento tiene el carácter de frontera definida, y si se sobrepasa hay un incumplimiento de la reglamentación, que podrá dar lugar a la aplicación de las medidas punitivas que el propio reglamento tenga previstas. Si no se sobrepasa no hay incumplimiento reglamentario. No obstante, el hecho de no sobrepasar un límite reglamentario no es garantía de que no haya efectos perjudiciales para la salud de ninguno de los trabajadores expuestos. Por este motivo los reglamentos de prevención de riesgos por exposición a agentes químicos no se limitan únicamente a fijar valores límite, también contienen otras disposiciones que, junto con el cumplimiento de los límites ambientales, intentan garantizar la salud de todos los trabajadores.

Cuando un agente se puede absorber por vía cutánea, bien por la manipulación directa del mismo, bien a través del contacto de los vapores con las partes desprotegidas de la piel, y esta aportación puede resultar significativa para la dosis absorbida por el trabajador, el agente en cuestión aparece señalado en las listas de valores límite con la notación “vía dérmica” o similar. Esta llamada advierte de que la medición de la concentración ambiental puede no ser suficiente para cuantificar la exposición global y, además, sugiere la necesidad de adoptar medidas para evitar la absorción cutánea.

LOS VALORES LÍMITE NO INDICAN UNA SEPARACIÓN NÍTIDA ENTRE SITUACIONES CON RIESGO Y SIN RIESGO

LA NOTACIÓN “VÍA DÉRMICA” JUNTO A UN VALOR LÍMITE ES UNA LLAMADA PARA INDICAR QUE EL AGENTE PUEDE ABSORBERSE A TRAVÉS DE LA PIEL. ESTA INDICACIÓN COMPLEMENTA EL VALOR ESTABLECIDO PARA LA VÍA RESPIRATORIA

Valores Límite Ambientales internacionales

En USA existen tres instituciones que han publicado listas de valores límite para contaminantes químicos: OSHA, NIOSH y ACGIH.

Los valores PEL (*Permisive Exposure Limits*) propuestos por la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) son los únicos que tienen validez reglamentaria en USA.

Los valores REL (*Recommended Exposure Limits*) propuestos por NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) y los valores TLV (*Threshold Limit Values*) de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) sólo tienen carácter de recomendación.

Los TLV propuestos por la ACGIH, que gozan de un elevado prestigio en el mundo de la Higiene Industrial, son unos límites recomendados y como tales deben ser interpretados y aplicados. Se han establecido exclusivamente para la práctica de la Higiene Industrial y la propia ACGIH indica una serie de casos en que no deben ser utilizados: valoración o control de la contaminación atmosférica; estimación del potencial tóxico de exposiciones continuas e ininterrumpidas y otros periodos de trabajo prolongados; como prueba (a favor o en contra) en el diagnóstico de la existencia de una enfermedad o de determinadas condiciones físicas; o para ser adoptados por países cuyas condiciones de trabajo difieren de las existentes en USA y donde las sustancias y procesos de trabajo sean diferentes.

Debido a los variados efectos que las sustancias químicas pueden provocar en las personas expuestas, se han definido diferentes tipos de valores TLV.

TLV-TWA (Time-Weighted Average). Media ponderada en el tiempo

Concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada normal de 8 horas diarias y 40 semanales, a la cual la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día sin sufrir efectos adversos. Este es el tipo más característico, al que se hace referencia habitualmente cuando se cita un valor TLV.

TLV-C (Ceiling). Valor techo

Concentración que no debería ser sobrepasada en ningún instante. La práctica habitual de la Higiene Industrial admite para su determinación el valor medio durante 15 minutos, excepto para sustancias que puedan causar una irritación inmediata con exposiciones más cortas.

TLV-STEL (Short-Term Exposure Limit). Límites de exposición para cortos periodos de tiempo

Concentración a la que pueden estar expuestos los trabajado-

res durante un corto espacio de tiempo sin sufrir irritación, daño crónico o irreversible en los tejidos o narcosis importante. No es un límite de exposición separado e independiente sino un complemento de la media ponderada en el tiempo (TWA). Se define como la exposición media ponderada en el tiempo durante 15 minutos, que no debe sobrepasarse en ningún momento de la jornada, aunque la media ponderada durante las 8 horas sea inferior al TLV-TWA. Las exposiciones por encima del TLV-TWA hasta el valor STEL no deben ser mayores de 15 minutos y no deben repetirse más de 4 veces al día, existiendo un periodo mínimo de 60 minutos entre sucesivas exposiciones al STEL. Puede recomendarse un periodo de exposición distinto de los 15 minutos cuando ello esté avalado por efectos biológicos observados.

En la Unión Europea se consideran dos tipos de VLA:

- *VLA-ED (Valor Límite Ambiental - Exposición Diaria)*. Es el valor de referencia para la exposición diaria, entendiéndose ésta como la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada laboral real, y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias.
- *VLA-EC (Valor Límite Ambiental - Exposición de Corta Duración)*. Es el valor de referencia para la exposición de corta duración, entendiéndose ésta como la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier periodo de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un periodo de referencia inferior.

La reglamentación específica para la evaluación de riesgos debidos a la inhalación de agentes químicos es el RD 374/2001, cuyo Anexo I incluye la lista de Valores Límite, si bien en su redacción inicial esta lista sólo cita al plomo inorgánico y sus derivados. También se establecen valores límite que son vinculantes para el benceno, el cloruro de vinilo monómero y el polvo de maderas duras en el RD 665/1997, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, y para el amianto en el RD 386/2006.

El INSHT elabora una guía denominada “Documento sobre límites de exposición profesional para agentes químicos en España”. La Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo recomienda la

Valores Límite Ambientales en España

EL INSHT PUBLICA ANUALMENTE UN DOCUMENTO SOBRE LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL QUE CONSTITUYEN VALORES DE REFERENCIA PARA LA EVALUACIÓN Y EL CONTROL DEL RIESGOS POR EXPOSICIÓN INHALATORIA DE LOS TRABAJADORES

aplicación en los lugares de trabajo de los límites de exposición indicados en ese documento que el INSHT actualiza cada año. Asimismo, el RD 374/2001 cita explícitamente ese documento como referencia a utilizar para evaluar los riesgos por inhalación de agentes químicos. Este documento contiene una lista de valores límite ambiental para 600 sustancias y preparados, aproximadamente.

Los valores límite son de dos tipos:

- *Valor límite ambiental - Exposición diaria (VLA-ED)*. Es el valor de referencia para la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada, de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada laboral real, y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias.

El valor de esta concentración puede expresarse matemáticamente como:

$$ED = \frac{\sum c_i \cdot t_i}{8}$$

siendo

ED: la concentración media diaria.

c_i : el valor de la concentración i -ésima del contaminante.

t_i : el tiempo de exposición diario, en horas, asociado a cada valor c_i .

A efectos del cálculo de la ED de cualquier jornada laboral, la suma de los tiempos de exposición que se han de considerar en el numerador de la fórmula anterior será igual a la duración real de la jornada en cuestión expresada en horas.

En general, el VLA-ED de cualquier agente químico no debe ser superado por la ED de dicho agente en ninguna jornada laboral.

En casos justificados es posible una valoración de base semanal en vez de diaria, para ello es preciso que se cumplan dos condiciones:

- Que se trate de un agente de periodo de inducción largo, es decir, capaz de producir efectos adversos sólo tras exposiciones repetidas a lo largo de meses o años.
- Que existan variaciones sistemáticas entre las ED de las diferentes jornadas semanales motivadas por distintas situaciones de exposición.

La exposición semanal se calcula con la fórmula:

$$ES = \frac{\sum ED_i}{5}$$

siendo

ES: la concentración media semanal.

ED_i: el valor de la concentración media en cada día de la semana.

- *Valor límite ambiental - Exposición de corta duración (VLA-EC)*. Es el valor de referencia para la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada, para cualquier periodo de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un periodo de referencia inferior.

El valor de esta concentración puede expresarse matemáticamente como:

$$EC = \frac{\sum c_i \cdot t_i}{15}$$

siendo

EC: la concentración de corta duración.

c_i: el valor de la concentración i-ésima del contaminante.

t_i: el tiempo de exposición, en minutos, asociado a cada valor c_i.

A efectos del cálculo de la EC, la suma de los tiempos de exposición que se han de considerar en el numerador de la fórmula anterior, expresados en minutos, será igual a 15.

Límites de desviación

Para los agentes químicos que tienen asignado un VLA-ED pero no un VLA-EC, se establece el producto 3·VLA-ED como el valor que no debe ser sobrepasado durante más de 30 minutos a lo largo de la jornada de trabajo, y el valor 5·VLA-ED que no deberá ser sobrepasado en ningún momento.

Cumplimiento simultáneo

El conjunto de valores VLA-ED y VLA-EC, o en su defecto el límite de desviación, definen la situación que se considera aceptable, es decir, ambos límites deben ser respetados simultáneamente.

PARA CONSIDERAR UNA EXPOSICIÓN COMO ACEPTABLE DEBEN RESPETARSE SIMULTÁNEAMENTE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN DIARIA, Y DE CORTA DURACIÓN, EN LOS AGENTES QUE TENGAN ASIGNADOS AMBOS TIPOS DE VALORES

El control biológico es un medio de valoración de la exposición a las sustancias químicas que están presentes en el puesto de trabajo, a través de medidas del “determinante” o “determinantes” en los especímenes biológicos tomados al trabajador en un momento determinado. Los VLB (valores límite biológicos) son el valor de referencia.

Valores Límite Biológicos (VLB)

El determinante puede ser la misma sustancia química a la que está expuesto el trabajador, sus metabolitos, o un cambio bioquímico reversible característico inducido por la sustancia. La medida puede realizarse en el aire exhalado, en la orina, en la sangre o en otros especímenes biológicos tomados del trabajador expuesto. De acuerdo con el determinante, el espécimen elegido y el momento de tomar la muestra, la evaluación indica alguna de las situaciones siguientes:

- La intensidad de una exposición reciente.
- La exposición media diaria.
- Una exposición crónica acumulativa.

EL CONTROL BIOLÓGICO CONSISTE EN MEDIR UN DETERMINANTE EN UN ESPÉCIMEN BIOLÓGICO DEL TRABAJADOR EXPUESTO A UN AGENTE QUÍMICO

Los VLB son 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 5 días a la semana. La extensión de los VLB a periodos distintos al de referencia

ha de hacerse considerando los datos farmacocinéticos y farmacodinámicos del agente en particular.

En general, 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 VLA-ED.

Los VLB no indican una distinción definida entre las exposiciones con riesgo o sin riesgo. Debido a la variabilidad biológica es posible que los resultados individuales para un determinado sujeto excedan los VLB, sin que haya un incremento de riesgo para su salud. Sin embargo, si los valores obtenidos en los especímenes de un trabajador en diferentes ocasiones exceden persistentemente los VLB, o si la mayor parte de las medidas obtenidas de los especímenes de un grupo de trabajadores en el mismo puesto de trabajo exceden los VLB, debe investigarse la causa y tomar las medidas oportunas para reducir la exposición.

Los VLB no deben aplicarse, bien directamente o modificados con un factor de corrección, para la determinación de niveles seguros en la exposición no laboral a la contaminación del aire, el agua o los alimentos.

LOS VLB SON VALORES DE REFERENCIA PARA LOS INDICADORES BIOLÓGICOS DE EXPOSICIÓN A UN AGENTE QUÍMICO

Los VLB no se proponen para usarlos como medida de los efectos adversos, o para el diagnóstico de enfermedades profesionales.

El control biológico es complementario del ambiental, y sólo tiene sentido su

implantación cuando aporta mejoras significativas al uso aislado del control ambiental. El control biológico puede usarse, por ejemplo, para comprobar la eficacia del equipo de protección personal, para determinar el grado de absorción por vía dérmica o digestiva, o para detectar la posible exposición no laboral. La existencia de un VLB para una sustancia no quiere decir que necesariamente haya que hacer un control biológico en los trabajadores expuestos a la misma.

Los VLB *no* deben utilizarse para:

Distinguir entre exposiciones peligrosas y no peligrosas.
 Determinar niveles no peligrosos de exposición no profesional.
 Medir efectos nocivos.
 Diagnosticar una patología profesional.

El control biológico complementa al ambiental

Confirma los resultados
 Incluye la posible absorción por vías distintas a la respiratoria
 Comprueba la eficacia de los equipos de protección
 Detecta exposiciones no laborales

Bases de establecimiento

La base de datos para la recomendación de cada VLB se obtiene de la información disponible sobre la absorción, eliminación y metabolismo de las sustancias químicas y de la correlación entre la intensidad de la exposición y el efecto biológico en los trabajadores.

Las bases científicas para establecer los VLB pueden derivarse de dos tipos de estudios: los que relacionan la intensidad de la exposición con el nivel de un parámetro biológico y los que relacionan el nivel de un parámetro biológico con efectos sobre la salud.

Para encontrar estas relaciones se utilizan los datos obtenidos sobre humanos en exposiciones controladas, o de los estudios realizados en los puestos de trabajo. Los estudios en animales generalmente no proporcionan datos adecuados para el establecimiento de un VLB.

En muchas ocasiones, el momento en que se practica la toma de muestra del espécimen es muy crítico y debe respetarse cuidadosamente. Este momento se especifica de acuerdo con las diferencias entre

SEGÚN LA NATURALEZA Y EL METABOLISMO DEL DETERMINANTE SE DEFINEN DISTINTOS MOMENTOS DE MUESTREO

las velocidades de absorción y eliminación de los compuestos químicos y sus metabolitos, y de acuerdo con la persistencia de cambios bioquímicos inducidos. Atendiendo a esta circunstancia se definen los momentos de muestreo siguientes:

- Los determinantes con momento de muestreo “antes de comenzar el turno” (significa después de 16 horas sin exposición), “durante el turno” o “al final del turno” (significa las dos últimas horas de exposición). Se trata de contaminantes, o metabolitos, que se eliminan rápidamente, con una vida media inferior a 5 horas. Estos determinantes no se acumulan en el organismo y por lo tanto el momento de muestreo es crítico con relación a los periodos de exposición y post-exposición.
- Los determinantes con momento de muestreo “al comienzo de la semana de trabajo” o “al final de la semana de trabajo” (significa después de dos días sin exposición, o después de cuatro o cinco días consecutivos de trabajo con exposición, respectivamente) son los que se eliminan con vidas medias superiores a las 5 horas. Estos determinantes se acumulan en el organismo durante la semana de trabajo, por lo tanto el momento de muestreo es crítico en relación con exposiciones de días anteriores.
- Los determinantes con momento de muestreo “no crítico” u “opcional” tienen vidas medias de eliminación muy largas y se acumulan en el organismo durante años, en algunos casos durante toda la vida. Después de un par de semanas de exposición, los especímenes para medir estos determinantes se pueden tomar en cualquier momento.

Interpretación de los resultados

Cuando se interpretan los resultados del control biológico hay que considerar las diferencias intraindividuales e interindividuales que tienen lugar en las concentraciones de los determinantes aun en las mismas condiciones de exposición.

Para reducir los efectos de todos los factores que pueden introducir variaciones es necesario un muestreo múltiple. No se debe llegar a ninguna conclusión definitiva basada en un resultado inesperado procedente de una única medida aislada.

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 encontrar una explicación. Las principales fuentes de inconsistencia entre las informaciones de la intensidad de la exposición suministrada por el control ambiental y el biológico es la variabilidad en los factores que se indican en la tabla. La

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

CAUSAS DE INCONSISTENCIA ENTRE RESULTADOS DE CONTROL AMBIENTAL Y BIOLÓGICO	
ORIGEN DE LA CAUSA	CAUSA
Estado fisiológico y de salud del trabajador	Constitución de su organismo Dieta (consumo de agua y grasas) Actividad enzimática Composición de los fluidos corporales Edad, sexo, embarazo, medicación, situación de enfermedad.
Exposición laboral	Intensidad de la carga física del trabajo Fluctuación de la intensidad de la exposición Absorción por la piel Temperatura y humedad Coexposición a otros productos químicos.
Exposición extralaboral	Contaminantes presentes en el hogar Contaminantes durante el ocio (hobbies) Contaminación de alimentos.
Estilo particular de vida	Actividades después del trabajo Higiene personal Hábitos en la comida Tabaco, consumo de alcohol, drogas
Metodología	Contaminación del espécimen Deterioro durante la toma de muestra, el almacenamiento y análisis Sesgo en los métodos analíticos.

Valores límite biológicos en España

Entre las disposiciones legales vigentes relativas a la evaluación de riesgos específicos debidos a la exposición a agentes químicos, sólo el RD 374/2001 fija un VLB de obligado cumplimiento, que es el correspondiente a plomo metálico y sus compuestos iónicos, y que toma el valor de 70 $\mu\text{g}/100$ ml de sangre.

Antes de disponer de VLB en España, era práctica generalizada en nuestro país, la aplicación de los BEI, Índices Biológicos de exposición, de la ACGIH. Actualmente, en el anteriormente mencionado «Documento sobre límites de exposición profesional para agentes químicos en España» se publican valores límite biológicos para su utilización en la evaluación y control de los riesgos derivados de la exposición profesional a agentes

químicos. El listado incluye el nombre del agente químico a valorar, su indicador biológico, el momento del muestro, y el valor de referencia del indicador, así como observaciones específicas necesarias para la valoración de cada agente.

MEDIDA DE LA CONCENTRACIÓN AMBIENTAL

Dado que la vía más frecuente de entrada de tóxicos en el organismo de forma crónica es la inhalatoria, es lógico que sea la determinación de la concentración ambiental del agente, es decir, de la concentración en el aire inhalado por el trabajador, el parámetro ambiental más significativo para evaluar los riesgos debidos a la exposición a agentes químicos.

Existen instrumentos que permiten efectuar la medición de la concentración de una manera directa en el lugar de trabajo, denominados “sistemas de lectura directa”, mientras que en otros casos es preciso efectuar una toma de muestras del aire para un posterior análisis en el laboratorio.

La determinación de concentraciones ambientales mediante instrumentos de medida directa presenta algunas ventajas con respecto al sistema de toma de muestra y análisis convencional: principalmente la rapidez en las determinaciones, la posibilidad de obtener resultados puntuales de modo inmediato y la economía en las mediciones.

No obstante, los instrumentos de lectura directa tienen limitaciones, ya que en general son poco precisos y son frecuentes las interferencias de otras sustancias presentes en el ambiente, con la posibilidad de falsear el resultado final de la medición.

SISTEMAS DE MEDICIÓN	INSTRUMENTOS O EQUIPOS
DIRECTA	Medidores de concentración de gases: <ul style="list-style-type: none"> • Colorimétricos • Monitores <hr/> Medidores de la concentración de aerosoles
TOMA DE MUESTRAS	Sistemas activos: <ul style="list-style-type: none"> • Filtros • Sólidos absorbentes • Soluciones absorbentes • Bolsas inertes <hr/> Sistemas pasivos: <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos absorbentes o impregnados con reactivo

El método convencional de toma de muestras y análisis se adapta muy bien a la determinación de valores promediados en el tiempo, pero no suministra información sobre los picos de concentración, los resultados no son inmediatos y se requiere una infraestructura analítica muy especializada.

Los distintos sistemas de medición e instrumentos o equipos para llevarla a cabo se resumen en la tabla.

Independientemente del método de medida, el hecho de medir una concentración ambiental siempre es un experimento que proporciona un resultado, que es el valor medio de la concentración ambiental durante el tiempo de duración del experimento. Atendiendo a esta duración, es habitual distinguir entre mediciones puntuales y promediadas. Una medición puntual es una medición de muy corta duración (desde unos segundos hasta uno o dos minutos), y una medición promediada es una medición de duración prolongada (desde pocos minutos hasta varias horas).

En muchos casos las mediciones puntuales o de corta duración se realizan con instrumentos de lectura directa y las mediciones promediadas o de larga duración, con sistemas de toma de muestra. No obstante, este paralelismo no es general: existen procedimientos de toma de muestra que se pueden utilizar para medidas de muy corta duración, y también existen sistemas de lectura directa que indican el valor promedio de un tiempo muy largo.

Como ya se ha comentado, se trata de instrumentos preparados para indicar de forma inmediata el resultado. Existen en el mercado una gran variedad de diseños, de complejidad tecnológica y características técnicas muy variables.

Atendiendo a la forma de presentación del contaminante en el aire se clasifican en:

- Medidores de concentración de gases:
 - Colorimétricos.
 - Monitores de gases.
- Instrumentos de lectura directa para aerosoles.

Instrumentos colorimétricos

Son instrumentos de lectura directa aplicables a la determinación de la concentración de gases y vapores. Se basan en el cambio de color que sufre un reactivo específico al reaccionar

Mediciones puntuales y promediadas

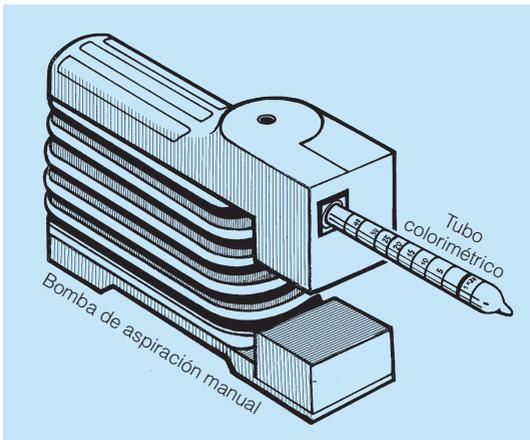
LAS MEDICIONES SE LLAMAN PUNTALES O PROMEDIADAS SEGÚN SEA SU DURACIÓN

Instrumentos de lectura directa

con un contaminante determinado. Existen cuatro tipos principales de dispositivos colorimétricos:

- Papeles reactivos.
- Líquidos reactivos.
- Tubos indicadores con reactivo sólido.
- Combinaciones de los anteriores.

Los más utilizados son los tubos indicadores con reactivo sólido (tubos colorimétricos) acoplados a bombas de aspiración manual. Consisten en tubos de vidrio que contienen un soporte inerte granulado impregnado con un reactivo químico capaz de reaccionar con una sustancia determinada en estado gaseoso, cambiando de color. Un volumen predeterminado de aire contaminado se hace pasar por el tubo produciéndose un cambio de color que se inicia en el extremo de entrada y progresa a lo largo del tubo en función de la concentración del contaminante presente. El frente de la zona coloreada señala la concentración sobre una escala impresa en la pared del tubo.



La aplicación principal de estos tubos es la obtención de valores de las concentraciones en aire correspondientes a períodos de corta duración. También se fabrica este tipo de tubos para su utilización en muestreos de larga duración, acoplados a bombas automáticas de aspiración (muestreadores personales), que permiten obtener concentraciones medias durante la jornada laboral o ciclos de trabajo determinados.

En la actualidad pueden determinarse más de cien contaminantes diferentes con los tubos colorimétricos específicos existentes en el mercado. Sus aplicaciones prácticas en Higiene Industrial se pueden resumir en las siguientes:

- Determinaciones en ambientes cerrados o peligrosos antes de acceder a ellos.
- Detección rápida de los focos de contaminación.
- Utilización en estudios preliminares para obtener una aproximación del posible nivel de exposición.
- Detección de posibles contaminantes.
- Determinación de las concentraciones en emisiones esporádicas propias de operaciones de muy corta duración.
- Determinaciones puntuales, paralelas a tomas de muestras de mayor duración, para la cuantificación de concentraciones máximas.

No obstante, los tubos colorimétricos presentan limitaciones importantes que deben ser tenidas en cuenta a la hora de su utilización en la valoración del riesgo higiénico. Estas pueden resumirse en:

- La precisión de los tubos es función en gran medida de la técnica de fabricación. En general los tubos colorimétricos ofrecen un coeficiente de variación entre el 5% y el 40% de su lectura.
- Frecuentemente carecen de especificidad suficiente y la presencia de otros contaminantes es susceptible de alterar la extensión y el color de la capa coloreada.
- Las temperaturas frías provocan variaciones de color y las temperaturas altas influyen en el volumen muestreado proporcionando resultados erróneos.

LA PRINCIPAL UTILIDAD DE LOS TUBOS COLORIMÉTRICOS ES, POR UNA PARTE, LA VALORACIÓN DE PERÍODOS DE CORTA DURACIÓN, Y POR OTRA LA OBTENCIÓN DE UNA MEDIDA APROXIMADA Y RÁPIDA DE LA CONCENTRACIÓN AMBIENTAL EN CIRCUNSTANCIAS EN LAS QUE NO SEA NECESARIA MUCHA EXACTITUD

Monitores de gases

Además de los dispositivos colorimétricos existe una amplia gama de instrumentos de lectura directa para la medida de concentraciones de gases y vapores, también denominados monitores. El dispositivo típico de un monitor de gases es un elemento sensor que genera una señal eléctrica proporcional a la concentración en aire del contaminante a medir. La señal es manipulada por el instrumento de forma digital o analógica hasta convertirla en una indicación numérica en la pantalla de presentación. Los principios físicos para la detección cuantitativa en los que se basan las mediciones efectuadas con este tipo de aparatos son principalmente cuatro:

- Eléctricos.
- Térmicos.
- Electromagnéticos.
- Quimielectromagnéticos.

La precisión de este instrumental viene determinada por el fabricante y su utilización exige, por otra parte, calibraciones periódicas por medio de atmósferas o mezclas de gases de composición controlada. En la actualidad el mercado ofrece una gran diversidad en este tipo de instrumental, que puede ser utilizado con fines también muy diversos, tales como sistemas de detección de fugas, con incorporación de alarmas ópticas o acústicas, redes de medición en continuo de contami-

LOS MONITORES DE GASES Y LOS INSTRUMENTOS DE LECTURA DIRECTA DE AEROSOL PERMITEN MONITORIZAR LA CONCENTRACIÓN AMBIENTAL Y OBTENER LOS RESULTADOS INSTANTÁNEOS Y PROMEDIADOS, DE PERÍODOS DE MUESTREO DE CUALQUIER DURACIÓN

nación ambiental, automatismos para la puesta en funcionamiento de ventilaciones adicionales al alcanzarse una concentración determinada, etc.

Existen también monitores portátiles, que se pueden utilizar como medidores personales y que permiten la lectura de las concentraciones promedio al final de la jornada laboral, o bien del tiempo durante el cual se ha sobrepasado un cierto valor de la concentración o de otros valores relacionados con la exposición.

Instrumentos de lectura directa para aerosoles

Con respecto a la medición directa de aerosoles pueden distinguirse dos grupos instrumentales principales, los ópticos y los eléctricos.

Los instrumentos ópticos se basan en la medida de propiedades ópticas de una partícula o de un conjunto de partículas. Los más simples, aplicables a concentraciones ambientales elevadas, miden la extinción de la luz al atravesar el aerosol. Para concentraciones no tan elevadas, se utiliza la medida de la dispersión de la luz. Dentro de este tipo se encuentran los siguientes:

- Instrumentos para la medición de partículas con fuente de luz visible.
- Fotómetros con fuente de rayos láser.
- Reflectómetros.
- Equipos de emisión espectral.

Los instrumentos eléctricos se basan en la interacción partícula - carga eléctrica. Existen dos tipos de instrumentos. En el primero de ellos, las partículas adquieren una carga eléctrica proporcional a su tamaño al pasar a través de una nube de iones, siendo esta carga la que se mide. En el segundo tipo se mide la interceptación de un haz de iones debido a la presencia del aerosol.

Sistemas activos de toma de muestras

En los sistemas de muestreo activo o dinámico, se hace pasar un volumen de aire conocido a través de un soporte de retención, en el que queda retenido el contaminante presente en el aire. Los principales soportes que actúan según este fundamento son: los filtros de membrana (en portafiltros o *cassettes*), las soluciones absorbentes (en borboteadores o *impingers*) y los sólidos adsorbentes (en tubos de vidrio).

Además de estos sistemas activos de toma de muestras, por fijación o concentración, existen otros cuyo fundamento consiste en la toma directa de la muestra de aire y su posterior transporte al laboratorio sin ningún otro tipo de tratamiento. Para la

realización de esta toma directa de aire puede recurrirse a varios tipos de instrumentos, tales como: jeringas, tubos de presión, tubos de toma de muestras, bolsas, etc. En la actualidad, para este tipo de muestreo, el sistema más utilizado es el de toma directa del aire contaminado con bolsas inertes, aplicándose los demás tan solo como alternativas.

El estado físico del contaminante (aerosol, vapor, gas, etc.), sus características químicas y la metodología analítica a emplear son los factores que determinan la naturaleza, el tipo y las características del soporte de retención a utilizar para la toma de muestras de un determinado contaminante.

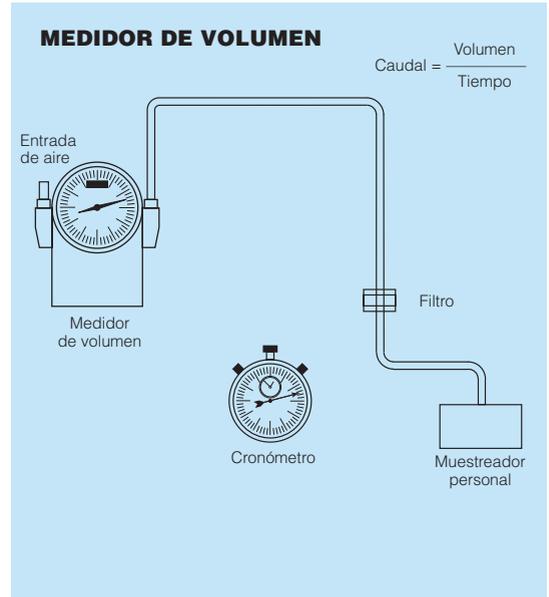
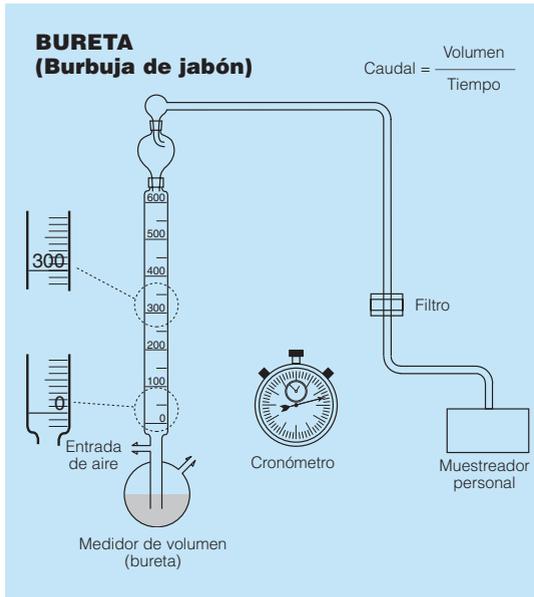
Muestreadores

Un muestreador es esencialmente una máquina que aspira aire. Atendiendo al uso para el que están diseñados, se habla de muestreadores personales y muestreadores de gran caudal. Un muestreador personal está diseñado de forma que puede ser colocado sobre una persona durante la realización de su trabajo, con objeto de obtener una muestra del aire que respira la persona, aunque se esté desplazando. Las características más destacables de los muestreadores personales son su reducido tamaño y poco peso (menos de 1 kg), la autonomía de funcionamiento (8 horas) y el margen de caudal de aspiración, que es relativamente limitado. Este tipo de muestreadores son los que se utilizan habitualmente en el campo de la Higiene Industrial para la captación de muestras personales. De acuerdo con el margen de caudal se pueden establecer dos grupos de muestreadores personales: los situados entre 0,02-0,5 litros/minuto y entre 0,5-4,5 litros/minuto. La elección desde el punto de vista técnico vendrá marcada por el tipo de soporte y también por las exigencias analíticas del contaminante.

También se utilizan muestreadores de gran caudal para muestreos ambientales. No tienen la limitación de peso y tamaño propia de los muestreadores personales y suelen trabajar a caudales altos (del orden de varios m³/hora).

Para conocer el volumen de aire muestreado, dato necesario para calcular las concentraciones ambientales a partir de los datos analíticos, es necesario calibrar previamente los muestreadores fijando el caudal de trabajo.

Los sistemas de calibración de muestreadores utilizados en el campo de la Higiene Industrial incluyen manómetros, orificios críticos, rotámetros, contadores de gas y buretas con soluciones jabonosas. Este último es el sistema más utilizado para la calibración de los muestreadores personales. Se basa en cronometrar el tiempo que emplea una burbuja jabonosa en recorrer



la distancia entre dos puntos determinados de una bureta graduada. Actualmente existen equipos semiautomáticos basados en el mismo principio.

En cualquier caso, para que un muestreo sea válido, es necesario que se realice a caudal de aspiración constante. Para tener garantía de que la calibración inicial no se ha alterado durante el muestreo, es necesario efectuar la calibración de los muestreadores antes y después de proceder a una toma de muestras. Habitualmente se acepta una diferencia relativa entre ambas calibraciones inferior a un 5%, en caso contrario se rechaza la muestra obtenida. Los muestreadores modernos están equipados con sistemas de regulación y control del caudal de aspiración con el fin de asegurar el mantenimiento del caudal durante todo el tiempo de muestreo, además suelen incorporar algún tipo de señalización para indicar que no se ha cumplido la condición de caudal constante durante el muestreo.

Toma de muestras con filtros

El sistema de captación sobre filtros se basa en hacer pasar un volumen del aire contaminado a través de un filtro montado en un portafiltros o *cassette*. La unidad de captación básica está constituida por el filtro, su soporte y el portafiltros o *cassette*. El filtro más empleado en la captación de muestras personales es de 37 milímetros de diámetro. Su naturaleza puede ser muy variada: ésteres de celulosa, cloruro de polivinilo (PVC),

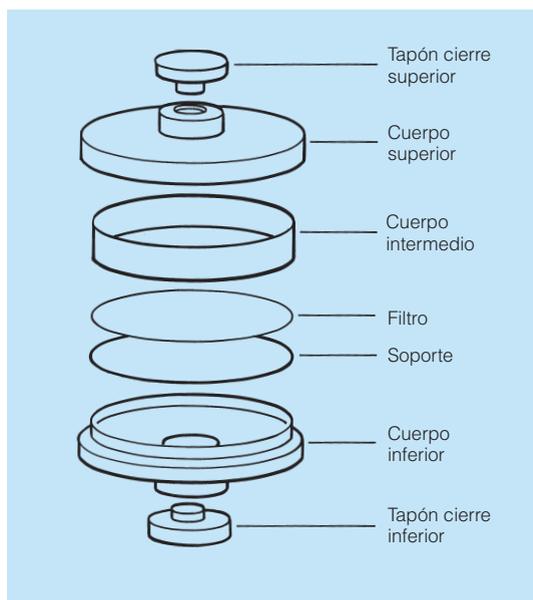
difluoruro de polivinilideno (PVDF), politetrafluoruro de etileno (PTFE), fibra de vidrio, plata, policarbonato, etc. y su tamaño de poro se sitúa, generalmente, entre 0,45 y 5 micrómetros. Estos tres datos (tamaño, naturaleza y porosidad) caracterizan totalmente al filtro y deben figurar especificados en el método de toma de muestras del contaminante.

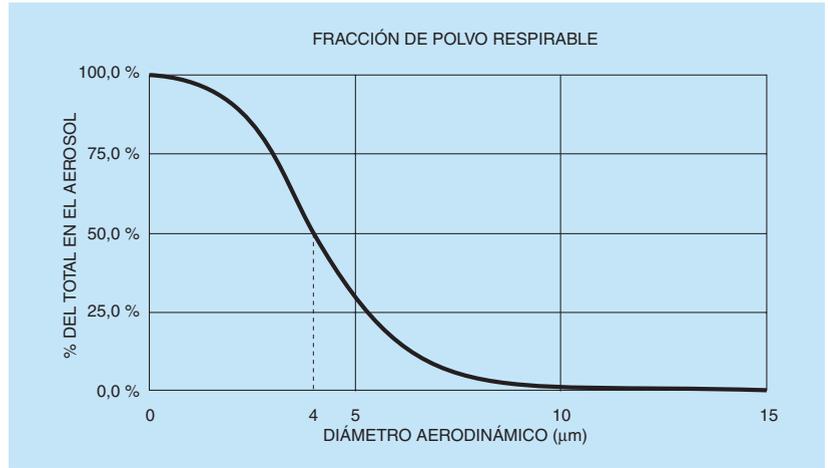
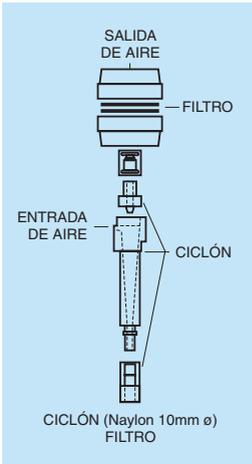
El soporte del filtro, generalmente a base de celulosa, no es un soporte de captación y su función es sostener y adaptar mejor el filtro dentro del *cassette*.

El portafiltros o *cassette*, generalmente de poliestireno, puede estar constituido por 2 o 3 cuerpos o secciones. Para la captación de la mayor parte de contaminantes es optativo utilizar un tipo u otro de *cassette*; sin embargo, con el empleo de *cassettes* de 3 cuerpos puede mejorarse la distribución de la materia particulada sobre el filtro y evitar en ocasiones la colmatación de la zona central. La utilización de *cassettes* con 3 cuerpos resulta imprescindible en las captaciones de aquellos contaminantes cuyo cuerpo superior necesita estar retirado durante el muestreo, es decir, *cassette* abierto, por ejemplo: para fibras de amianto, aerosoles ácidos y alcalinos, etc.

En el caso de la medida de aerosoles de polvo neumoconiótico (por ejemplo, sílice libre), hay que tener en cuenta que el material captado debe corresponder a la fracción del aerosol capaz de llegar hasta los alveolos pulmonares (se identifica con el nombre de "fracción respirable") y no a la totalidad del aerosol. Para ello se utiliza como unidad de captación un *cassette* de 2 cuerpos acoplado a un separador ciclónico cuya función es la de separar y retener las partículas no respirables, de forma que al filtro sólo llegue la fracción respirable del aerosol ambiental. Los requisitos que debe cumplir el elemento de separación de la fracción respirable están descritos en la norma UNE-EN 481:1995 "Atmósferas en los puestos de trabajo", donde se muestra la curva del porcentaje de retención que debe ofrecer en función del diámetro medio de las partículas, siendo del 50% (denominado punto de corte) para las partículas de 4 micras.

El sistema de toma de muestras con filtro es aplicable a numerosos contaminantes. En términos generales, es útil para la retención de todos aquellos contaminantes que se presentan en





el ambiente en forma particulada (polvos, nieblas, humos, etc.). También es posible el uso de filtros impregnados con reactivos específicos para la captación de determinadas sustancias. Es un sistema de muestreo sencillo, práctico y cómodo, tanto durante la propia toma de muestras como posteriormente en el transporte y conservación de las muestras.

Toma de muestras con soluciones absorbentes

Las captaciones con absorbentes líquidos se basan en hacer pasar un volumen conocido de aire a través de una solución absorbente apropiada contenida en un borboteador o *impinger*.

La unidad de captación básica la constituyen: el borboteador, la solución absorbente y la trampa (utilizada normalmente para proteger el equipo muestreador de posibles arrastres de la solución absorbente).

Cada borboteador consta de dos piezas fundamentales: el cuerpo o vaso (cuya capacidad es de 10 a 30 ml) y el cabezal (con el borboteador de extremo simple o de placa de vidrio fritado).

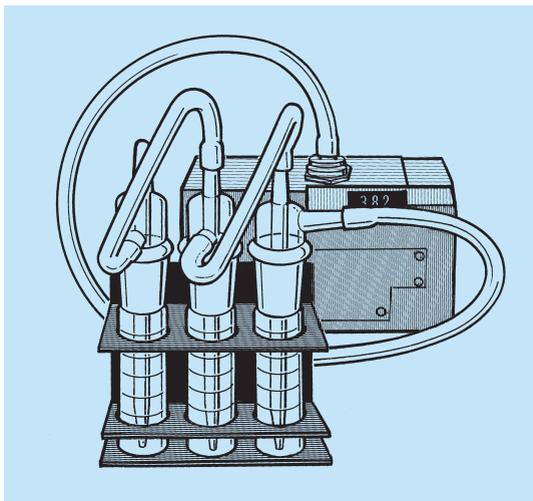
La elección del tipo de borboteador para la toma de muestras de un determinado contaminante, dependerá fundamentalmente de la eficacia de retención del mismo en la solución absorbente utilizada. Como norma orientativa se puede indicar que, para aerosoles líquidos, cuya absorción es básicamente por dilución y neutralización, generalmente se utiliza el borboteador simple. En cambio, para gases o vapores, cuya absorción suele ser por reacción, son más recomendables los borboteadores de placa fritada, ya que proporcionan burbujas de aire más finas que incrementan la velocidad de difusión del contaminante en el medio y también el área de contacto y, en

consecuencia, mejoran la eficacia de captación. En principio, cuanto más pequeña sea la porosidad de la placa mayor es la eficacia.

En la práctica se acostumbra a trabajar con dos borboteadores conectados en serie (más un tercero que actúa como trampa); con ello se aumenta la eficacia de retención global y además el segundo borboteador actúa de control o testigo de la captación. La eficacia de retención puede considerarse satisfactoria cuando la retención obtenida con el primer borboteador supera el 90-95% de la captación total.

Cuando es necesario evitar la presencia de materia particulada en la muestra, se coloca un filtro previo montado en un *cas-sette* por el que pasa el aire antes de llegar al borboteador.

El empleo de este sistema de captación está cada vez más en desuso dados los graves inconvenientes que comporta (vuelcos y arrastres de líquido durante el muestreo, dificultad para el transporte de muestras, contaminaciones, inestabilidad general de las muestras, etc.), y también por la posibilidad de encontrar otros sistemas de captación sustitutivos especialmente en el campo de los sólidos adsorbentes. En la actualidad tan solo se emplea para la toma de muestras de algunos gases, vapores y aerosoles líquidos, para los que todavía no se dispone de una alternativa válida.



Toma de muestras con sólidos adsorbentes

El sistema de toma de muestras con sólidos adsorbentes se basa en hacer pasar un volumen determinado de aire a través de un tubo de vidrio relleno de materiales sólidos (a veces impregnados con algún reactivo o solución) que tienen la propiedad de retener por adsorción superficial determinados gases y vapores.

Las sustancias adsorbentes utilizadas son muy variadas: carbón activo, sílica gel, alúmina, polímeros porosos, tamices moleculares, hopcalita, resinas de intercambio iónico, etc. Entre ellas cabe destacar el carbón activo, ya que puede utilizarse para captar un amplio número de compuestos orgánicos que están presentes en el ambiente en forma de vapor (por ejemplo: hidrocarburos alifáticos, clorados y aromáticos, cetonas, alcoholes, ésteres, etc.).

La sustancia adsorbente, normalmente granulada, se dispone en el interior de los tubos de vidrio, distribuida entre una, dos, o tres porciones de pesos variables y separadas entre sí mediante espaciadores. El modelo de tubo más corriente es aquél que dispone de dos secciones de adsorbente; la primera de ellas se conoce como "frontal", generalmente con doble cantidad de adsorbente que la segunda, conocida como "posterior". El paso del aire se efectúa entrando por la parte frontal y saliendo por la parte posterior. La parte frontal actúa como verdadero soporte de retención de la muestra, mientras que la parte posterior lo

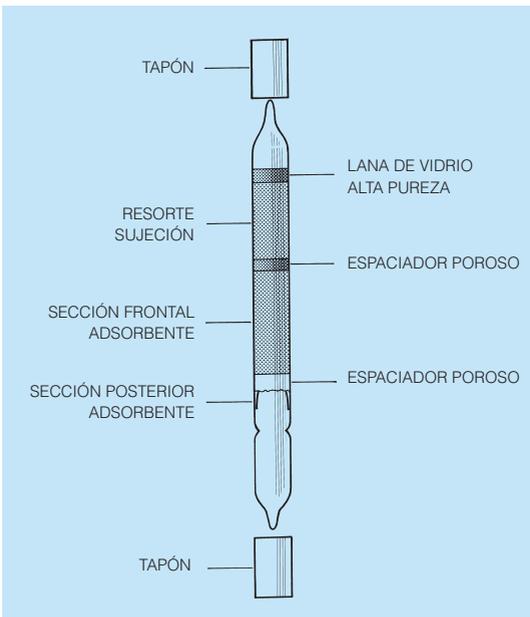
hace como testigo o control de que la primera sección ha retenido todo el contaminante y no se ha producido saturación o migración.

Para cada tipo de tubo debe determinarse experimentalmente su capacidad de retención para los diversos contaminantes. Esta capacidad viene definida por el valor del "volumen de ruptura", que es el límite que señala el inicio del paso del contaminante de la parte frontal a la posterior. Este valor es el que corresponde al instante en que la concentración del contaminante en el aire que efluye de la sección frontal alcanza el 1% de la concentración de entrada (en alguna bibliografía también se indica como aceptable el 5% o 10%). El volumen de aire que es necesario muestrear hasta alcanzar este punto de ruptura, cuando la concentración ambiental

del contaminante equivale al valor límite, es el volumen máximo que debería captarse. La cantidad de contaminante que se ha retenido en la sección frontal, cuando se alcanza el volumen de ruptura, es un valor característico que interesa conocer y que se considera como el límite de capacidad del tubo.

Las condiciones de captación con tubo adsorbente dependen de cada contaminante objeto de medición, debiéndose consultar las condiciones recomendadas en cada caso. En ocasiones puede ser aconsejable modificar el volumen de muestreo recomendado, en función de la concentración ambiental esperada, la presencia simultánea de otros contaminantes o una humedad ambiental elevada, etc.

En la actualidad, la gama de tubos adsorbentes comercializados es cada día más amplia y variada, lo que ha permitido ampliar extraordinariamente las posibilidades de este sistema de captación y extender su ámbito de aplicación a la mayor parte



de vapores orgánicos y también a otros tipos de contaminantes, por ejemplo, gases inorgánicos y aerosoles líquidos.

Toma de muestras con bolsas inertes

En este sistema de captación, el volumen de aire contaminado se recoge directamente mediante una bolsa de naturaleza inerte.

Este sistema tiene un enorme interés especialmente en el caso de gases (por ejemplo, CO, N₂O, H₂S, freones, hidrocarburos ligeros, etc.) ya que evita una serie de manipulaciones de los contaminantes (por ejemplo, adsorciones, desorciones, reacciones químicas, etc.), que son en muchos casos problemáticas o no controladas suficientemente. Su utilización es muy recomendable cuando se desconoce la composición de los gases que pueden estar presentes en el ambiente contaminado.

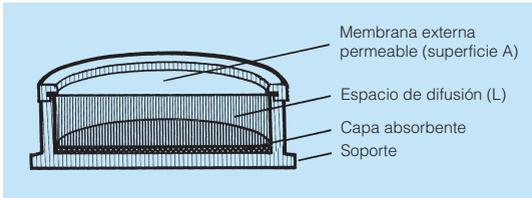
Las bolsas son generalmente de plástico, flexibles pero no elásticas, aluminizadas con 5 capas y con varias capacidades (normalmente entre 1 y 5 litros). Disponen de una válvula que permite su llenado y posterior vaciado. El llenado puede realizarse de forma manual o mediante una bomba impulsora que posibilita un llenado regular a lo largo del tiempo y conocer el volumen muestreado. El muestreo puede ser incluso personal, aunque con la lógica dificultad dada su voluminosidad.

Sus principales limitaciones son la insuficiente sensibilidad analítica disponible para algunos contaminantes (el contaminante no se concentra en la muestra, como ocurre en los sistemas de captación) y también la posibilidad de que puedan producirse alteraciones o interacciones entre los componentes de la muestra durante su transporte o almacenamiento, especialmente cuando están presentes gases inorgánicos muy reactivos (por ejemplo, NO₂, Cl₂, SO₂, etc.), en cuyo caso no resulta aconsejable su utilización.

En los sistemas de muestreo pasivos la captación del contaminante también tiene lugar por fijación o concentración sobre un soporte de retención. Los soportes que se utilizan en estos sistemas son sólidos adsorbentes o sólidos impregnados con un reactivo específico.

El procedimiento de captación pasiva de muestras tiene su fundamento teórico en los fenómenos de difusión y permeación de las moléculas de un gas, que están en constante movimiento y son capaces de difundirse a través de la masa de otro gas hasta repartirse uniformemente en su seno, así como atravesar una membrana sólida que presente una capacidad de penetración o permeabilidad. Ambos fenómenos son bien conocidos, estando perfectamente establecidas las leyes físicas que los rigen.

Sistemas pasivos de toma de muestra



Cuando se introduce en un ambiente contaminado un dispositivo constituido por un tubo abierto por uno de sus extremos y cerrado por el otro, con una membrana permeable colocada en el extremo abierto (con objeto de impedir el movimiento del aire a través de la boca del

tubo) y una cantidad apropiada de una sustancia capaz de captar al contaminante dispuesta en el fondo, las moléculas del contaminante se moverán atravesando la membrana permeable y se difundirán hacia el interior de tubo, donde quedarán retenidas en la sustancia dispuesta en el fondo. Como en el fondo del tubo la concentración de contaminante en el aire se mantiene nula, el proceso de difusión continuará hasta que se sature la sustancia absorbente, en cuyo momento se interrumpirá el proceso. Se demuestra que, antes de que se produzca la saturación, la cantidad de contaminante que llega hasta la sustancia adsorbente es proporcional a la concentración en el exterior del tubo y al tiempo de duración del proceso.

En cuanto a su presentación física, existe una cierta variedad de modelos, con cerramiento frontal poroso o mediante membranas permeables, construidos con materiales diversos y con diferentes formas, pero siempre de dimensiones y peso muy reducidos.

El campo típico de aplicación de los captadores pasivos es la toma de muestras de compuestos volátiles, mayoritariamente de naturaleza química orgánica cuya presencia en el ambiente sea en estado gaseoso, con exclusión de las sustancias que se presenten, total o parcialmente, en forma de aerosoles. Las características de la difusión pasiva hacen que la utilización de estos dispositivos sea particularmente ventajosa en los casos en que interesan muestras promediadas a lo largo de un tiempo prolongado.

La lista de compuestos específicos que pueden ser captados con estos dispositivos es ya bastante extensa y continúa ampliándose, por lo que es recomendable acudir a los catálogos de los fabricantes para obtener una información actualizada.

Conviene tener conocimiento de la capacidad máxima del modelo de captador utilizado y controlar el tiempo de muestreo en función de los valores conocidos o esperados de los restantes parámetros para evitar que se supere dicha capacidad, especialmente en casos de presencia de varios contaminantes o de elevada humedad.

Para evitar que se produzca un estancamiento del aire frente al captador, se recomienda que la velocidad frontal del aire en

la boca del captador sea superior a 7 cm/s, valor que suele superarse normalmente en las tomas de muestra personales.

Una vez ha concluido la captación, hay que tomar toda clase de precauciones para evitar que las muestras se alteren o modifiquen antes de llegar al laboratorio (por ejemplo, contaminaciones, evaporaciones, derrames, roturas, etc.).

Las recomendaciones o normas para el transporte y conservación de las muestras varían en función del tipo de soporte y de las características o comportamiento del contaminante captado. Sin embargo, es posible indicar algunas precauciones de carácter general que son válidas normalmente para cualquier tipo de muestras:

- Precintar las muestras o cerrarlas perfectamente.
- Colocar las muestras en cajas o recipientes adecuados, utilizando algún relleno para fijar bien las muestras y así evitar vibraciones, golpes, roturas, derrames, etc.
- Incluir con cada lote homogéneo de muestras una muestra en blanco, que es una muestra que ha sido manipulada como las otras análogas del mismo lote, pero con la que no se ha efectuado captación de contaminante. Este concepto incluye también el transporte de ida y vuelta y la apertura y sellado del captador en el lugar de toma de muestra.
- No colocar en un mismo recipiente muestras ambientales y muestras de materiales o productos, especialmente cuando estas últimas sean líquidas o contengan sustancias volátiles, a fin de evitar contaminaciones.
- Evitar alteraciones de las muestras por calentamiento excesivo o exposición intensa a la luz solar.
- No demorar el envío de las muestras al laboratorio.
- No abrir las muestras hasta el momento en el que vaya a dar comienzo su análisis.
- Conservar las muestras captadas con soluciones absorbentes o sólidos adsorbentes en nevera (aproximadamente entre 5 y 10°C), hasta el momento de su análisis.

La calidad de los resultados que se obtengan con un determinado equipo de medición dependerá, entre otros factores, del buen estado de cada una de sus partes y de su correcto funcionamiento. Por ello es necesario someter a estos equipos a un control que asegure dichas características.

Transporte y conservación de las muestras

UN MAL ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS DURANTE SU TRANSPORTE PUEDE INVALIDAR TODO EL TRABAJO DE MUESTREO

Control de la calidad de los equipos de medida

Equipos de lectura directa

En la utilización de los tubos colorimétricos pueden provocarse errores sistemáticos a causa de las siguientes anomalías:

- Error en la calibración del fabricante.
- Variaciones en las condiciones de almacenamiento de los tubos. (En la mayor parte de los casos se recomienda una temperatura de almacenaje inferior a los 30°C).
- Disminución de la hermeticidad en la bomba de aspiración.
- Obturación de los canales de aspiración.

LOS FABRICANTES DE EQUIPOS DE LECTURA DIRECTA PROPORCIONAN INSTRUCCIONES PARA SU MANTENIMIENTO QUE DEBEN SER RESPETADAS

NORMALMENTE LAS CÉLULAS SENSORAS DE LOS MONITORES TIENEN UNA VIDA LIMITADA Y DEBEN SER REEMPLAZADAS PERIÓDICAMENTE AUNQUE NO SE UTILICEN

Por todo ello conviene comprobar periódicamente el volumen aspirado por la bomba, limpiar los canales de aspiración y tener en cuenta las especificaciones del fabricante sobre el almacenamiento de los tubos y su fecha límite de utilización.

Con los restantes equipos de lectura directa deberán seguirse las instrucciones del fabricante relativas a su mantenimiento y a la comprobación de un buen funcionamiento. Al respecto, es particularmente importante tener en cuenta que las células sensoras de los monitores son de duración limitada y deben sustituirse pe-

riódicamente, aunque no se hayan utilizado. Su coste es importante y puede diferir apreciablemente entre distintas marcas.

Muestreadores

Conviene llevar un control del estado de carga de la batería, antes y después de utilizar el equipo, así como durante los períodos de reposo prolongados. También es importante determi-

EL ESTADO DE LAS BATERÍAS Y LA VERIFICACIÓN DEL CAUDAL ASPIRADO SON LAS COMPROBACIONES PERIÓDICAS IMPRESCINDIBLES A QUE DEBEN SOMETERSE LOS MUESTREADORES

nar y comprobar periódicamente la respuesta del equipo, en particular comprobar que el caudal de aspiración se mantiene constante, en condiciones análogas a las de utilización, es decir, aspirando aire a través de un captador durante tiempos de funcionamiento similares a los reales.

Soportes de retención

Es importante comprobar el estado de los soportes de retención a utilizar en el muestreo y su colocación en los correspondientes contenedores. El buen estado de todas las partes y el correcto ajuste de las piezas del dispositivo de muestreo es imprescindible para impedir fugas u otras incidencias que pueden malograr una toma de muestras.

Equipos de muestreo pasivo

En el caso de los captadores pasivos, debido a su funcionamiento espontáneo, debe cuidarse que estén perfectamente cerrados antes y después de la toma de muestras para evitar su contaminación. El almacenamiento es preferible realizarlo en nevera, y evitar durante su manipulación y traslado situaciones de calentamiento anormal.

Los muestreadores pasivos nunca deben ser desprecintados antes de su utilización, y desde el muestreo hasta el análisis deben conservarse en recipientes individuales con cierre hermético.

El método analítico es la descripción de la serie de acciones y tratamientos necesarios para obtener la medida de la concentración de un contaminante en el ambiente. Se puede decir que un método analítico es la descripción de todos los pasos a seguir para obtener un valor único de la concentración ambiental.

El método analítico

Esta definición es de validez general y, por tanto, incluye la toma de muestras cuando ésta es necesaria. En estos casos el método analítico describe la toma de muestras, indicando el procedimiento que se debe seguir para obtener las muestras, las medidas a adoptar en el acondicionamiento y transporte de las muestras hasta el laboratorio y la descripción del tratamiento analítico a aplicar en el laboratorio.

EL MÉTODO ANALÍTICO SE DEFINE COMO EL PROCEDIMIENTO DE TRABAJO, QUE PERMITE OBTENER RESPUESTA A UN REQUERIMIENTO ANALÍTICO ESPECÍFICO, TAL COMO DETERMINAR LA PRESENCIA O CONCENTRACIÓN DE UN AGENTE QUÍMICO EN EL AIRE O EN UNA MATRIZ CONCRETA

Características de los métodos analíticos

Los métodos analíticos se preparan y son útiles para medir una sustancia concreta bajo unas circunstancias determinadas. Estos datos, junto con varios aspectos de la calidad de su respuesta, determinada mediante pruebas oportunas, constituyen las denominadas características del método.

La técnica principal que se utilice en el proceso de análisis también constituye una característica importante del método, por la necesidad de disponer del instrumental necesario para poderlo aplicar.

Métodos analíticos normalizados

Los métodos analíticos para la medida de los contaminantes del ambiente de trabajo deben reunir unas características mínimas, establecidas en la legislación, o aceptadas por consenso general, para poderlos usar con fiabilidad. El conocimiento de

esta conformidad se logra mediante las pruebas de normalización, realizadas primero en un único laboratorio y posteriormente entre varios laboratorios, siguiendo un protocolo de ensayos determinado. Al finalizar estas pruebas, que permiten conocer las características del método, si éstas cumplen los mínimos exigidos para su aplicación, el método queda normalizado o, en caso contrario, se rechaza su normalización.

La norma UNE-EN 482:2007 establece los requisitos generales que debe cumplir un procedimiento de medida de la concentración de agentes químicos en aire, entre los que merece destacarse el relativo a la incertidumbre del resultado, para el que se fijan límites máximos en función del objetivo de la medición.

Técnicas analíticas de interés en Higiene Industrial

Las técnicas analíticas que utilizan los métodos para la medida de los contaminantes presentes en los ambientes laborales dependen, fundamentalmente, de la naturaleza del contaminante y, además, de las restantes circunstancias de la medida.

Las técnicas basadas en la *cromatografía de gases*, aplicables principalmente a la determinación de sustancias orgánicas, y las técnicas basadas en la *absorción atómica*, aplicables a la determinación de metales, son las más comunes, sin perjuicio de otras técnicas de análisis químico, ya que la gran variedad de sustancias que pueden estar presentes en los ambientes laborales y las circunstancias tan diversas en que se pueden dar las exposiciones obligan a la utilización en Higiene Industrial de todo el abanico de técnicas analíticas.

Procedimientos de cálculo de la concentración ambiental

El cálculo de la concentración ambiental en los métodos basados en toma de muestras requiere el conocimiento del resultado analítico proporcionado por el laboratorio que ha analizado la muestra, del tiempo de muestreo y del caudal de aspiración del muestreador si se trata de un muestreo activo.

Toma de muestras activa

Conociendo la masa de contaminante retenida en el captador y el volumen de aire que se ha hecho pasar por el mismo, la concentración se calcula simplemente dividiendo ambas cantidades.

La determinación del volumen de aire muestreado requiere el conocimiento del caudal de aspiración del muestreador. Si se ha calibrado utilizando una bureta invertida, el fundamento consiste en medir el tiempo que tarda la bomba en aspirar un volumen de aire conocido, obteniéndose el caudal de aspiración del equipo al dividir dicho volumen por el tiempo empleado.

El caudal de aspiración se calcula mediante la expresión:

$$Q_a = \frac{V_b}{T_b} \cdot \frac{60}{1000}$$

siendo

Q_a : el caudal de aspiración del muestreador (l/min).

V_b : el volumen de la bureta (cm³).

T_b : el tiempo empleado por la pompa de jabón en recorrer el volumen V_b (s).

Hay que tener en cuenta que la calibración de los muestreadores debe hacerse con el mismo material que se va a utilizar durante el muestreo, inmediatamente antes de comenzar el mismo, e inmediatamente después de finalizado, para verificar que el caudal de aire aspirado durante el muestreo se ha mantenido constante.

El caudal medio al que ha estado trabajando el muestreador viene dado por:

$$Q = \frac{Q_i + Q_f}{2}$$

siendo Q el caudal de aspiración medio y Q_i y Q_f los caudales inicial y final respectivamente.

Si la diferencia entre el caudal inicial y el final es superior al 5%, el muestreo no se considera válido.

El volumen de aire muestreado se obtendrá multiplicando el caudal de aspiración medio por el tiempo total de muestreo:

$$V = \frac{Q \cdot T_m}{1000}$$

siendo

V : el volumen de aire aspirado (m³).

Q : el caudal de aspiración (l/min).

T_m : el tiempo de muestreo (min).

Una vez finalizada la toma de muestras, la muestra es enviada al laboratorio para su análisis. El resultado del proceso de análisis es la cantidad de materia contenida en la muestra que vendrá expresada en miligramos.

La concentración de contaminante se obtiene mediante la expresión:

$$C = \frac{P}{V}$$

siendo

C: la concentración del contaminante en aire (mg/m^3).

P: la cantidad de contaminante recogido en la muestra (mg).
Dato facilitado por el laboratorio.

V: el volumen de aire muestreado (m^3).

Para expresar la concentración en ppm la fórmula de cálculo es:

$$C = \frac{P \cdot V_M}{V \cdot M}$$

siendo

C: la concentración del contaminante en aire (ppm).

P: la cantidad de contaminante recogido en la muestra (mg).

V_M : el volumen molar en las condiciones del muestreo (l/mol).

M: el peso molecular del contaminante (g/mol).

V: volumen de aire muestreado (m^3).

En condiciones normales de presión y temperatura (1.014 hPa y 20°C), el volumen molar de cualquier gas ideal es de 24 l/mol. Para otras condiciones de presión y temperatura vale:

$$V_M = 24 \frac{t + 273}{293} \cdot \frac{1.014}{p}$$

siendo

V_M : el volumen molar en las condiciones del muestreo (l/mol).

t: la temperatura del aire durante el muestreo ($^\circ\text{C}$).

p: la presión atmosférica durante el muestreo (hPa).

El resultado de concentración obtenido tiene un significado muy concreto: es el valor promedio de la concentración, durante el tiempo de muestreo, en el lugar donde estuvo colocado el muestreador.

Prestar atención a este significado es muy importante para evitar errores al hacer evaluaciones. Por ejemplo, el resultado obtenido con un muestreador colocado en el centro de un taller es el valor de la concentración en ese lugar y no la del aire que respiran los trabajadores. De forma similar, el resultado de una

muestra de 1 hora de duración es el valor promedio de la concentración durante esa hora y no durante toda la jornada laboral, ni durante cualquier otro periodo de 1 hora.

Por ejemplo, para que se pueda comparar una medida de la concentración ambiental a un VLA-ED, el lugar de medida

PARA LA COMPARACIÓN DE UNA CONCENTRACIÓN AMBIENTAL CON UN CRITERIO DE VALORACIÓN, SE DEBE MEDIR EN LA ZONA RESPIRATORIA DEL TRABAJADOR, Y LA MEDIDA DEBE SER ESTADÍSTICAMENTE REPRESENTATIVA

debe ser la zona respiratoria del trabajador, y el tiempo de muestreo debe coincidir con la jornada laboral real. De forma similar, para compararla a un VLA-EC el tiempo de muestreo debe coincidir con el definido en el criterio (normalmente 15 minutos).

Se verá más adelante que, en la práctica, el muestreo se puede realizar con menos rigidez, en lo relativo a su duración, pero en ese caso es necesario demostrar que el resultado es equivalente al que se obtendría si se utilizara la duración de muestreo correcta.

Toma de muestras con muestreadores pasivos

El fenómeno de difusión, antes de que se produzca la saturación del muestreador pasivo, sigue la relación:

$$C_e = \frac{P \cdot L}{D \cdot A \cdot T} \cdot 10^6$$

siendo

L: la longitud del camino de difusión en el tubo (cm).

P: la masa total de contaminante captado (mg), determinable analíticamente.

D: el coeficiente de difusión del contaminante en el aire (cm²/s).

A: el área de la sección frontal del tubo (cm²).

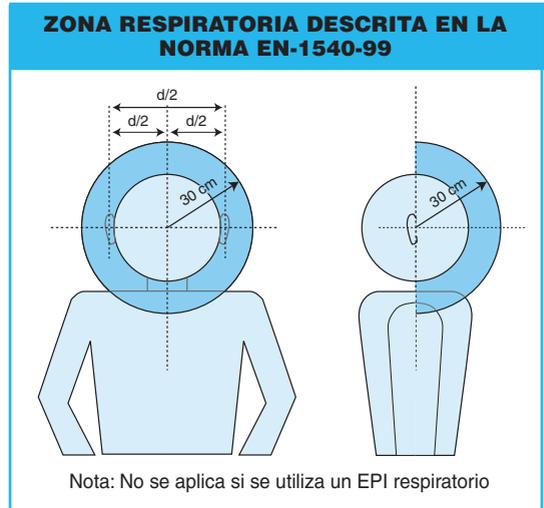
T: el tiempo de exposición (muestreo) del dispositivo (s).

C_e: la concentración externa (ambiente) del contaminante (mg/m³).

Esta expresión proporciona la concentración externa o ambiental del contaminante en función de parámetros experimentales y permite, por tanto, utilizar el dispositivo como sistema de captación de muestras.

Los parámetros A y L de diseño físico del captador, y el coeficiente D de difusión del contaminante, pueden englobarse en una constante Q_{eq}, tal que Q_{eq} = D·A/L, que tiene las dimensiones de un caudal (volumen/tiempo), por lo que se denomina “caudal equivalente de muestreo”. De este modo resulta una expresión para el cálculo de la concentración ambiental más sencilla:

$$C_e = \frac{P}{Q_{eq} \cdot T} \cdot 10^6$$



Los valores de Q_{eq} son específicos para cada contaminante y modelo de captador, siendo facilitados por el fabricante del dispositivo de muestreo. También es posible integrar los parámetros L y A en una constante K , tal que $K = L/A$, que será característica de cada modelo de captador, con lo que la concentración ambiental del contaminante responderá a la expresión:

$$C_e = \frac{P \cdot K}{D \cdot T} \cdot 10^6$$

Algunos fabricantes facilitan el valor de esta constante K junto con el muestreador, con lo que el empleo de estos dispositivos precisa el conocimiento de los coeficientes de difusión en aire de los diversos contaminantes.

El valor de C_e obtenido tiene el mismo significado que en el muestreo activo, es decir, es el valor promedio de la concentración ambiental, durante el tiempo que el muestreador pasivo ha estado expuesto al ambiente, en el lugar en que ha estado colocado.

Cálculo de la concentración ambiental utilizando instrumentos de lectura directa

Normalmente los instrumentos de lectura directa indican directamente un valor de la concentración y, por tanto, no es necesario realizar ningún cálculo. No obstante, hay que tener en cuenta que ese resultado corresponde a un tiempo muy corto (el tiempo de respuesta del instrumento) y, por tanto, no es un valor adecuado para la comparación directa con un valor límite definido para un tiempo de exposición determinado, ni siquiera de 15 minutos.

En estas circunstancias será necesario hacer varias lecturas repartidas a lo largo del periodo de interés y obtener el valor medio o, mejor todavía, considerar el conjunto de lecturas como un conjunto de valores de una población estadística y aplicar técnicas de la estadística analítica para estimar los valores de la media de la población y su intervalo de confianza.

NORMALMENTE EL USO DE INSTRUMENTOS DE LECTURA DIRECTA REQUIERE EFECTUAR VARIAS MEDICIONES PARA CALCULAR DESPUÉS EL VALOR MEDIO DE LA CONCENTRACIÓN DURANTE EL PERÍODO DE TIEMPO DEFINIDO POR EL CRITERIO DE VALORACIÓN

Existen instrumentos de lectura directa diseñados de forma que permiten el uso a modo de muestreadores personales que son portados por el trabajador toda la jornada, y equipados con sistemas de almacenamiento digital de datos que se pueden transferir a un ordenador y obtener los valores medios, los perfiles de concentración, los valores máximos y mínimos, etc.

Referencia de la concentración media a una jornada estándar

La definición de VLA-ED contiene la expresión “valor promedio referido a una jornada estándar de 8 horas diarias”, lo que significa que la concentración promedio durante toda la jornada real debe ser convertida a la que existiría si la duración de la jornada fuese de 8 h/día.

Puesto que la variable que define el riesgo es la dosis inhalada, la conversión citada debe hacerse con la condición de igualdad de dosis, es decir:

$$C_g = C \cdot \frac{T_{\text{exp}}}{8}$$

siendo

C_g : la concentración referida a una jornada de 8 h/día.

T_{exp} : la duración real de la exposición diaria (h).

C : la concentración promedio durante la jornada laboral.

Obsérvese que si la jornada es de 8 horas ambos valores de concentración coinciden.

Ya se ha mencionado antes que la hipótesis de proporcionalidad entre efecto perjudicial y dosis recibida no es válida para variaciones grandes en la forma de recibir la dosis, por lo que la expresión anterior sólo es aplicable para duraciones de la exposición diaria no muy diferentes de 8 horas.

Partición del tiempo total de muestreo en varias fases

Para la realización del muestreo, los períodos de trabajo pueden dividirse en varias fases con el fin de tener en cuenta las interrupciones para los descansos, comida, etc.

El valor de la concentración media durante la jornada viene dado por:

$$C = \frac{\sum C_i \cdot T_i}{\sum T_i}$$

siendo

C : la concentración promedio durante la jornada.

C_i : la concentración promedio en el periodo “i”.

T_i : la duración del periodo “i”.

El valor de $\sum T_i$ es la duración de la jornada laboral y, combi-

nando esta ecuación con la definición de la concentración referida a 8 horas diarias, resulta:

$$C_8 = \frac{\sum C_i \cdot T_i}{8}$$

que es la relación ya presentada al exponer la definición de VLA-ED.

Representatividad de las mediciones

El requisito básico que se debe exigir a las mediciones realizadas para evaluar riesgos por inhalación de agentes químicos es que sus resultados sean un reflejo fiel de la exposición que se quiere conocer. Esta característica puede concretarse mediante una serie de condiciones que debe reunir el procedimiento de medida en su conjunto:

- Para obtener la exposición de un trabajador en su puesto de trabajo, deberán usarse, siempre que sea posible, sistemas de medición o muestreo personales, colocados en el área de respiración del individuo.
- Si un grupo de trabajadores está realizando parecidas tareas en un mismo sitio y están sometidos a una exposición similar, puede realizarse una medición o muestreo dentro del mismo grupo, representativa de la exposición conjunta.
- Los sistemas de medición fijos pueden ser usados siempre y cuando los resultados permitan evaluar la exposición del trabajador en su puesto de trabajo.
- En caso de duda, el punto de mayor riesgo se tomará como punto de medida.
- El procedimiento de medida debe ser apropiado al agente a medir, a su valor límite de exposición y a la atmósfera existente en el puesto de trabajo.
- El resultado debe mostrar la concentración del agente en los mismos términos en que esté expresado su valor límite de exposición (por ejemplo, el plomo tetraetilo se debe expresar como Pb).
- Las características de precisión y exactitud de los resultados del método deben ser conocidas.
- Si el procedimiento de medida no es específico para el agente que debe ser medido, el resultado debe ser atribuido en su totalidad al agente objeto de medición (por ejemplo, si un método para determinar formaldehído es sensible a otros aldehídos alifáticos el resultado se computará como formaldehído).

- La concentración de los aerosoles debe ser medida asegurando un muestreo de la fracción respirable si el valor límite está definido para polvo respirable.

En cualquier caso, el valor de la concentración ambiental estará afectado por un error. Por una parte, todos los procedimientos de medida siempre tienen un error de origen técnico asociado al instrumental utilizado en la medición. Por otra parte, al realizar la medida se ha estimado la exposición un día determinado y en un determinado momento, pero lo que realmente interesa es saber si la exposición se mantendrá dentro de los límites permitidos no solamente el día de la medición, sino cualquier otro día y en cualquier otro momento, y, aunque las tareas sean repetitivas a lo largo del tiempo, siempre existirán variaciones de la concentración entre diferentes días, lo cual supone también una indeterminación en el resultado.

La forma de cuantificar estas indeterminaciones se realiza mediante la estimación de los llamados “límites de confianza superior e inferior”. Los límites de confianza de un resultado indican el intervalo de valores entre los que se encuentra el verdadero valor de una magnitud medida experimentalmente con una probabilidad elevada (normalmente se calculan los límites de confianza con un 95% de probabilidad).

LA ENCUESTA HIGIÉNICA

La encuesta higiénica es un procedimiento que tiene como objeto obtener toda la información necesaria para poder emitir un juicio sobre algún aspecto relacionado con la exposición a agentes químicos.

El objetivo de una encuesta higiénica puede ser muy distinto de una encuesta a otra. Entre los objetivos habituales se pueden citar:

- Identificación y cuantificación de los contaminantes presentes en el puesto de trabajo.
- Evaluación del cumplimiento de normas legales o internas de la empresa.
- Determinación de exposiciones para responder a quejas o denuncias de los trabajadores.
- Obtención de datos ambientales para usos epidemiológicos.
- Evaluación de la eficacia de los métodos de control.

No obstante, teniendo en cuenta los requerimientos de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el objetivo más común es la evaluación de los riesgos debidos a la exposición a agentes químicos.

Por “evaluación de la exposición a un agente químico” se entiende emitir un juicio acerca del riesgo para la salud que implica la exposición laboral a uno o varios agentes químicos, tal como se produce en un puesto de trabajo.

Con el término “puesto de trabajo” se hace referencia tanto al conjunto de actividades que están encomendadas a un trabajador concreto como al espacio físico en que éste desarrolla su trabajo.

NORMALMENTE LA ENCUESTA HIGIÉNICA TIENE COMO OBJETIVO OBTENER INFORMACIÓN VÁLIDA PARA EVALUAR EL RIESGO EN UN PUESTO DE TRABAJO

Para que una encuesta higiénica sea eficaz se requiere, en la mayor parte de los casos, seguir un procedimiento sistemático que permita obtener toda la información relevante tanto para realizar la evaluación en sí misma como para proponer las medidas adecuadas para evitar o reducir los riesgos presentes. En grandes líneas la sistemática a seguir será:

1. Conocer y familiarizarse con el proceso productivo.

2. Identificar los posibles riesgos en cada puesto de trabajo.

3. Seleccionar los criterios de valoración aplicables.

4. Evaluar los riesgos cuantitativamente o cualitativamente.

5. Elaborar el informe de evaluación, que debe incluir la propuesta de medidas de control proporcionadas a la magnitud de los riesgos.

Una visión excesivamente simple de la encuesta higiénica se limita a las etapas de: Identificación de riesgos, Selección de criterios de evaluación, Evaluación cuantitativa y Elaboración del informe. La experiencia muestra que las etapas previas son necesarias para poder hacer una correcta identificación y evaluación de los riesgos. Asimismo, un informe limitado a la simple exposición de los resultados de la evaluación de riesgos es incompleto y casi inútil. En efecto, la única justificación preventiva que tiene la evaluación de riesgos es proporcionar datos que ayuden a la planificación de las medidas de control de riesgos; si a la evaluación no le sigue de forma inmediata y consecuente el programa de control, pierde el carácter preventivo que la justifica.

Conocimiento del proceso productivo

Es práctica habitual dedicar considerablemente menos tiempo del que sería necesario a esta primera etapa del proceso de evaluación. Con demasiada frecuencia se plantean urgencias difícilmente justificables para la realización de las evaluaciones de riesgos con la tendencia a considerar la dedicación a conocer el proceso como una pérdida de tiempo.

Conocer el proceso productivo implica recopilar y compren-

der la información relativa a todos los aspectos del proceso que pueden tener incidencia en la exposición de los trabajadores implicados en él. Esta información incluye:

UNA BUENA ENCUESTA HIGIÉNICA SE INICIA RECOPILANDO INFORMACIÓN SOBRE EL PROCESO PRODUCTIVO

- a) El esquema funcional del proceso productivo.
- b) El inventario de las sustancias químicas utilizadas en el proceso o asociadas al mismo.
- c) Las fichas de datos de seguridad de los productos utilizados.
- d) El entorno físico en el que se encuentran los puestos de trabajo.
- e) Los riesgos para la salud debidos a las sustancias químicas asociadas al proceso.
- f) Las medidas de control implantadas en cada uno de los puestos de trabajo.
- g) El estado de salud de los trabajadores.
- h) Los resultados de evaluaciones anteriores.

Esquema funcional del proceso productivo

El esquema funcional de un proceso productivo se puede concretar en diagramas de proceso, planos de detalle o especificaciones de ingeniería; sin embargo, la información así presentada suele ser excesiva para las necesidades de una encuesta higiénica. En la mayor parte de los casos es suficiente un diagrama de bloques del proceso, con indicación de los puestos de trabajo en cada uno de ellos, y las tareas de cada puesto. La información imprescindible para evaluar riesgos higiénicos consiste en conocer los materiales que se manipulan o generan en cada puesto y la transformación que se hace en ellos.

SABER QUÉ MATERIALES SE UTILIZAN Y LA TRANSFORMACIÓN A LA QUE SE SOMETEN ES CLAVE PARA PODER DETERMINAR LOS POSIBLES RIESGOS EN CADA PUESTO DE TRABAJO

En ocasiones esta información se puede obtener mediante entrevistas con los responsables del proceso, la revisión de los inventarios de materiales, los registros de compras de productos y una revisión de la bibliografía técnica.

También es muy útil disponer de un plano con la distribución en planta de la maquinaria, zonas de almacenamiento de productos y ubicación de los puestos de trabajo fijos, en el que se podrán hacer anotaciones señalando los focos de emisión y las zonas mal ventiladas o en las que se aprecia contaminación, etc.

Inventario de sustancias y productos presentes

Disponer de una información completa sobre las propiedades tóxicas de todos los productos manipulados, producidos o generados en el proceso es imprescindible.

Un buen punto de arranque puede ser obtener la colección completa de las fichas de datos de seguridad de los productos manipulados en la empresa. Normalmente esta información debería estar disponible para todas las materias primas, suministrada por los proveedores, y para todos los productos acabados, preparada por la empresa para informar a sus clientes. Además, en algunos casos, se puede disponer de las fichas correspondientes a productos intermedios, y ya es más raro que existan fichas para los subproductos y los residuos. En todo caso sería un error no verificar la existencia en la empresa de la colección de fichas de datos de seguridad. Idealmente todo producto presente en la planta debe tener su ficha en la colección, y todas las fichas de la colección deben corresponder a productos presentes. Esta labor de mantenimiento es uno de los puntos débiles en la mayor parte de empresas, por ello la necesidad de revisión al realizar la encuesta.

AL HACER EL INVENTARIO DE PRODUCTOS
NO HAY QUE OLVIDAR LOS MINORITARIOS
NI LOS QUE SE GENERAN EN EL PROPIO
PUESTO DE TRABAJO

Otro defecto corriente al hacer el inventario de productos es centrar la atención en lo que son los productos mayoritarios o principales del proceso. El inventario debe incluir también las sustancias o productos que se encuentran a nivel de trazas, aunque no sean significativos para el proceso, ya que en no pocas ocasiones el riesgo es debido a estos componentes minoritarios.

Por otra parte, muchos de los contaminantes presentes en los puestos de trabajo se generan como consecuencia de la actividad en el propio puesto, y no forman parte de la lista de productos manipulados en la actividad, por ejemplo, los humos de soldadura, los productos de combustión, las emisiones de estufas o túneles de curado de pinturas o resinas, las emisiones de hornos de fusión de metales, los humos de taladrinas, etc. Es obvio que estos contaminantes también deben estar en la lista de contaminantes presentes, junto con sus propiedades tóxicas, que deberán obtenerse en la literatura técnica de Toxicología o Higiene Industrial.

Etiquetas y fichas de datos de seguridad

La comercialización de los productos químicos peligrosos está regulada por el RD 363/1995 y el RD 255/2003, relativos a sustancias y preparados peligrosos, respectivamente, y por el Re-

glamento europeo REACH, de aplicación en todos los países de la Unión Europea, y cuyo objetivo es someter a un mayor control los productos químicos peligrosos que se comercializan, intentando sustituirlos, en la medida de lo posible, por otros menos nocivos.

En esta legislación se especifican los criterios para la clasificación de un producto químico como peligroso, en función de los datos fisicoquímicos, toxicológicos y ecotoxicológicos disponibles. También se especifica el contenido que obligatoriamente debe tener la etiqueta de los envases y la ficha de datos de seguridad (FDS), que constituyen los dos documentos básicos para la identificación y comunicación del riesgo químico, tanto de aspectos de seguridad como de higiene. En la tabla se muestra el contenido de la FDS después de la modificación introducida por el reglamento REACH.

La etiqueta, que obligatoriamente debe llevar todo envase de un producto químico peligroso, constituye la primera información que recibe el usuario, y permite identificar el producto y sus riesgos. La etiqueta ha de estar escrita en el idioma oficial del Estado y debe contener:

- a) Nombre de la sustancia o preparado. En el caso de los preparados y en función de la peligrosidad y de la concentración de sus componentes, debe indicarse el nombre de alguno o algunos de ellos.
- b) Nombre, dirección y teléfono del responsable de la comercialización (fabricante, importador o suministrador).
- c) Símbolos e indicaciones de peligro.
- d) Frases R.
- e) Frases S.
- f) Número CE. Sólo se aplica a sustancias y se corresponde con el número EINECS (Inventario Europeo de Sustancias Comercializadas Existentes) o el número ELINCS (Lista Europea de Sustancias Comercializadas Notificadas).
- g) Etiqueta CE. Sólo se aplica a las sustancias incluidas en el Anexo I del RD 363/1995.
- h) Cantidad nominal. Sólo se aplica a los preparados y corres-

CONTENIDO DE UNA FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

1. Identificación del preparado
2. Identificación de los peligros
3. Composición/información sobre los componentes
4. Primeros auxilios
5. Medidas de lucha contra incendios
6. Medidas a adoptar en caso de vertido accidental
7. Manipulación y almacenamiento
8. Controles de la exposición / Protección individual
9. Propiedades físicas y químicas
10. Estabilidad y reactividad
11. Informaciones toxicológicas
12. Informaciones ecológicas
13. Consideraciones relativas a la eliminación
14. Informaciones relativas al transporte
15. Informaciones reglamentarias
16. Otras informaciones

EJEMPLO DE ETIQUETA

Identificación de peligros →

Descripción del riesgo (Frasas R) →

Medidas preventivas (Frasas S) →

<p>T</p>  <p>Tóxico</p>	<p>F</p>  <p>Fácilmente inflamable</p>
<p>R 11-23/25: Tóxico por inhalación y por ingestión</p> <p>S 7-16-24-45: Manténgase el recipiente bien cerrado Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar Evítese el contacto con la piel En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrele la etiqueta)</p>	

Identificación del producto
(Nombre químico de la sustancia o nombre comercial del preparado)

Composición
(Para los preparados relación de sustancias peligrosas presentes, según concentración y toxicidad)

Responsable de la comercialización
(Nombre, dirección y teléfono)

ABCDE-33 ←

Contiene ... ←

XXX, S.A
Av. ABY ...
Tel ... ←

ponde a la masa o volumen nominal del contenido ofrecido o vendido al público en general.

La FDS es una fuente de información más completa que la etiqueta y constituye una herramienta de trabajo muy útil para la prevención de riesgos laborales. Disponer de la FDS de los productos utilizados permite establecer procedimientos de trabajo seguros y tomar medidas para el control y reducción del riesgo, y facilita información y datos complementarios a los contenidos en la etiqueta.

Según la normativa vigente, la FDS debe facilitarse obligatoriamente con la primera entrega de un producto químico peligroso y constará de 16 apartados que recogerán la información disponible.

También existen colecciones genéricas, algunas de ellas muy extensas, de Fichas de Datos de Seguridad, como son las Fichas Internacionales de Seguridad Química, preparadas bajo los auspicios de ONU, OIT y OMS con la colaboración de la Comisión de la UE, en las que se recogen, entre otros datos relevantes en prevención de riesgos, los relativos a la toxicidad de la sustancia y a los límites de concentración tolerables.

Desde el punto de vista preventivo, los objetivos de las FDS son:

- Proporcionar datos que permitan identificar el producto y

el responsable de su comercialización, así como un número de teléfono donde efectuar consultas de emergencia.

- Informar sobre los riesgos y peligros del producto respecto a inflamabilidad, estabilidad y reactividad, toxicidad, posibles lesiones o daños por inhalación, ingestión o contacto dérmico, primeros auxilios y ecotoxicidad.
- Formar al usuario del producto sobre comportamiento y características del producto, correcta utilización (manipulación, almacenamiento, eliminación, etc.), controles de exposición, medios de protección (individual o colectiva) a utilizar en el caso de que el control no fuera del todo eficaz o en caso de emergencia, actuaciones a realizar en caso de accidente tales como la utilización de extintores adecuados, el control y neutralización de derrames, etc.

En el caso de los preparados, además, se facilitará la relación de sustancias que forman parte de su composición y que son responsables de su peligrosidad, incluyendo el rango aproximado de concentración en el producto.

Asimismo, la FDS permite que el usuario establezca sus propios criterios respecto a la peligrosidad de un producto a partir de los datos experimentales (físicoquímicos, toxicológicos y ecotoxicológicos) disponibles. Algunos de ellos son de fácil interpretación, como los que definen el estado físico y las características básicas del producto o los que hacen referencia a su inflamabilidad y a otras propiedades físicoquímicas. Otros son más complejos y precisan de personal especializado, como es el caso de la mayor parte de los datos toxicológicos y ecotoxicológicos.

Entorno físico en el que se encuentran los puestos de trabajo

En toda encuesta higiénica es imprescindible una visita a las instalaciones productivas para hacerse una idea lo más exacta posible de la situación, y, en particular, para identificar las posibles fuentes de contaminación. La mayor parte de las fuentes potenciales puede identificarse por observación visual, aunque es necesaria una cierta dosis de experiencia para identificar fuentes no evidentes. Mientras que la observación de una nube de polvo, un penacho de humo o la percepción de un olor característico, son síntomas evidentes de la existencia de una contaminación, la no observación de ellos no significa que no exista contaminación.

Al mismo tiempo se puede aprovechar la visita para anotar otros riesgos higiénicos debidos a agentes físicos, tales como ruido, vibraciones, calor o radiaciones, así como riesgos debidos a agentes biológicos.

Inventario de riesgos higiénicos

Al revisar los datos toxicológicos de los productos, tanto los obtenidos de las fichas de seguridad como por otros medios, conviene tener presente que “toxicidad” no es sinónimo de “riesgo”. Ya se ha explicado que “toxicidad” es la capacidad de una sustancia de producir un efecto perjudicial a la salud, mientras que “riesgo” es la posibilidad de que en un puesto de trabajo se materialice ese efecto. Una sustancia muy tóxica manipulada en un proceso cerrado, con sistemas redundantes de control de fugas, con procedimientos de trabajo bien establecidos, con supervisión eficaz de los trabajos y en unas instalaciones bien mantenidas puede presentar un riesgo despreciable, mientras que una sustancia poco tóxica, pero manipulada en un proceso abierto y con escasa ventilación, puede dar lugar a un riesgo elevado.

La naturaleza del proceso en el que se manipula o genera la sustancia, la posibilidad de reacción con otros agentes químicos o físicos presentes en el puesto, el método de trabajo, la ventilación del local y la eficacia de las medidas de control existentes, son factores ajenos a la toxicidad de la sustancia pero que condicionarán el riesgo en el puesto de trabajo.

EL INVENTARIO DE RIESGOS ES EL DOCUMENTO BASE PARA EL TRABAJO POSTERIOR DE EVALUACIÓN

La integración de los datos toxicológicos junto con los obtenidos en la visita a los puestos de trabajo debe dar una idea muy aproximada de la magnitud de los riesgos, y permitir una clasificación, al menos provisional, de las prioridades de evaluación y/o corrección.

Eficacia de las medidas de control

El procedimiento de conocimiento y familiarización con el proceso productivo que se está describiendo también incluye observar las medidas de control implantadas en el proceso y su eficacia aparente.

En esta etapa preliminar del proceso de evaluación de riesgos es posible hacer comprobaciones simples sobre la eficacia de los sistemas de ventilación o de extracción localizada, la hermeticidad de los elementos que deban ser estancos, la limpieza de las instalaciones, los procedimientos de trabajo que son manifiestamente incorrectos, etc. El objeto de estas observaciones debe ser sugerir la puesta en práctica efectiva de aquellas medidas de control ya implantadas pero que han caído en desuso, para evitar discusiones o falsas interpretaciones en el proceso posterior de evaluación de riesgos.

LA CORRECCIÓN DE LAS DEFICIENCIAS EVIDENTES EN EL CONTROL DE RIESGOS DEBE SER INMEDIATA, SIN NECESIDAD DE RECURRIR A UNA EVALUACIÓN PORMENORIZADA DE LOS MISMOS

Por supuesto, las correcciones o puestas al día que se ejecuten como consecuencia de estas observaciones preliminares deben formar parte de las conclusiones del informe de evaluación.

Por ejemplo, si se observa que un trabajo de soldadura se realiza lejos de la campana de extracción de humos dispuesta al efecto sin que haya causa que lo justifique, se debe corregir de inmediato esta mala práctica de trabajo, de forma que la evaluación posterior se haga en condiciones óptimas. Si no se hace así, y la posterior evaluación muestra un riesgo no tolerable, no será posible dilucidar si ello es debido a la mala práctica de trabajo, a la insuficiencia del sistema de aspiración o a ambas circunstancias a la vez. El resultado probable será propiciar discusiones y “búsquedas del culpable”, que no contribuyen en nada a una mejora de la prevención de riesgos. En el informe deben quedar reflejadas las circunstancias concretas en que se realizó la evaluación para evitar malentendidos posteriores.

Estado de salud de los trabajadores

El conocimiento del estado global de salud del conjunto de los trabajadores de una fábrica, taller o proceso es una fuente de información que frecuentemente no se tiene en cuenta. Incluso en empresas en las que los reconocimientos médicos y la comunicación de los resultados a los trabajadores a título individual son una práctica habitual, no se dispone de informes que describan los hallazgos o tendencias del estado de salud global de la población trabajadora. No obstante, cuando esta información está disponible, el higienista debe consultarla atentamente.

LA INFORMACIÓN SOBRE EL ESTADO DE SALUD DEL CONJUNTO DE LOS TRABAJADORES ES MUY ÚTIL PARA EVALUAR LOS RIESGOS

Como es lógico, no se trata de obtener, o evidenciar, relaciones causa-efecto aplicables a un trabajador, sino de obtener una “impresión” sobre síntomas comunes al grupo que pueden indicar una exposición no conocida o más intensa de lo que parece a primera vista. Por ejemplo, si en los registros médicos se observa una incidencia elevada de afecciones pulmonares de tipo irritativo es muy posible que exista una exposición incontrolada, o quizá desconocida, a algún producto irritante, y, si en el inventario de productos no hay ningún contaminante que justifique la observación, habrá que buscarlo.

Informaciones obtenidas en evaluaciones anteriores

Como elemento final relacionado con la etapa de conocimiento del proceso productivo y sus riesgos, se deben estudiar todos los informes anteriores relativos a evaluación de riesgos. La

comparación entre el contenido de los informes anteriores y los posibles riesgos detectados en las fases preliminares servirá para planificar el trabajo posterior. No tiene sentido ocupar mucho tiempo en evaluar un puesto de trabajo del que se dispone de información previa suficiente y bien documentada, a menos que haya nuevas informaciones o datos que lo aconsejen, mientras que se deberá dedicar toda la atención posible a nuevos puestos de trabajo, o a nuevas condiciones debidas a cambios en el proceso desde la última evaluación.

Identificación de los riesgos en cada puesto de trabajo

Después de obtener las informaciones citadas en los párrafos anteriores, debería ser posible realizar la lista de riesgos asociados a los puestos de trabajo que se pretenden evaluar. El resultado final tendrá forma de lista o tabla en la que para cada puesto de trabajo se relacionen los riesgos que se deben evaluar, los trabajadores que los ocupan y el perfil temporal de la exposición.

En esta lista de trabajadores que ocupan un puesto de trabajo está implícito el concepto de grupo de exposición similar (GES), en el que se incluye a todos los trabajadores cuya exposición es similar y, por tanto, es suficiente, al menos en teoría, evaluar la exposición de un miembro del grupo y aplicar la conclusión a todo el colectivo.

UNA DEFINICIÓN CORRECTA DE GRUPOS DE EXPOSICIÓN SIMILAR PUEDE SIMPLIFICAR MUCHO LAS TAREAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

Como parte de este proceso puede ser necesario consultar a los responsables del taller, a los mandos intermedios y a los propios trabajadores sus opiniones, que serán consideradas como información del puesto o que servirán para matizar las opiniones del técnico que está planificando la evaluación.

En esta fase previa no se pretende obtener ninguna conclusión, ni siquiera provisional, y conviene que quede claro a todas las personas involucradas que no se está prejuzgando ninguna situación, y que el único objetivo es elaborar una lista lo más exhaustiva posible, porque la experiencia muestra que la única forma de que ningún riesgo importante se olvide es considerar todos los riesgos, hasta los nimios.

Conviene recordar que el Reglamento de los Servicios de Prevención obliga a consultar con los representantes de los trabajadores acerca del procedimiento de evaluación, a tener en cuenta la información recibida de los trabajadores, e incluso prevé la posibilidad de que se puedan consensuar con ellos los criterios de valoración.

LA CONSULTA A LOS REPRESENTANTES DE LOS TRABAJADORES SOBRE EL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN ES OBLIGATORIA

La siguiente etapa del proceso de evaluación, una vez que ya se dispone de toda la información previa, es seleccionar el criterio de valoración para cada riesgo a evaluar. En la mayor parte de los casos el criterio será un valor límite ambiental, que puede estar complementado con un valor límite biológico.

No obstante, en este momento se presentan dos preguntas. ¿Qué hacer cuando no se dispone de un VLA? y, cuando se dispone de él, ¿hasta qué punto es fiable?, es decir, ¿en qué medida se puede afirmar que, cumpliendo con el VLA, se asegura que no aparecerán daños a la salud?

Está claro que si un VLA tiene la característica de “ser de obligado cumplimiento” porque así lo establece un reglamento, será imperativo medir la concentración y comprobar que se cumple con la obligación reglamentaria, independientemente de su calidad técnica o preventiva.

La calidad de los VLA es muy variable, algunos son el resultado de estudios epidemiológicos muy amplios, pero otros son simples extrapolaciones o analogías. Estas consideraciones se deberán tener en cuenta en el momento de realizar la medida cuantitativa de la exposición y la interpretación final de los resultados. Por ejemplo: frente a una exposición a octaclorovinilbenzeno que no tiene VLA asignado, y cuya información toxicológica es muy escasa, se recurrirá, en el mejor de los casos, a utilizar un valor límite por analogía con otros hidrocarburos aromáticos muy clorados. Este valor límite será una aproximación grosera muy poco fiable y, por tanto, se deberá interpretar con un espíritu muy restrictivo para tener un margen de seguridad adecuado. En estas condiciones no tiene sentido utilizar una metodología que permita medir la exposición con gran precisión.

La exposición ocasionada por la presencia de contaminantes químicos en el medio ambiente laboral se expresa cuantitativamente mediante el valor de las concentraciones de dichas sustancias en el ambiente durante el tiempo de exposición. La medición de la exposición comporta, en consecuencia, la determinación de las concentraciones ambientales de los contaminantes que la originan. Como estas concentraciones no suelen ser constantes a lo largo del tiempo, los valores que se determinen corresponderán en general a concentraciones medias referidas a un período de tiempo definido.

La medida de una exposición se expresa, así, mediante el valor de las concentraciones promediadas de unos contaminantes concretos, dadas en unidades de peso

Selección de criterios de valoración

Evaluación cuantitativa de riesgos

LA EVALUACIÓN DE UN RIESGO POR INHALACIÓN NECESITA DOS DATOS EXPERIMENTALES: LA CONCENTRACIÓN MEDIA DEL CONTAMINANTE EN AIRE Y EL TIEMPO DE EXPOSICIÓN

por volumen de aire o bien, si se trata de gases o vapores, en partes por millón en volumen. El promedio se refiere a un período de tiempo determinado, expresado en minutos, horas u otra unidad de tiempo. La forma correcta de indicar una exposición será, por ejemplo, 140 mg/m³ de tolueno durante 8 horas, o 75 ppm de metanol durante 15 minutos, o 4 mg/m³ de humos de soldadura durante una jornada laboral de 7 horas, y no simplemente un valor de concentración.

Procedimiento de evaluación

La evaluación de la exposición consistirá en comparar la exposición medida con un valor límite. Normalmente este proceso se realiza mediante la división de ambos valores, lo que lleva a un resultado que se denomina *Índice de exposición* (I). También se puede expresar en forma de porcentaje, en cuyo caso se denomina *porcentaje de la exposición máxima permisible* (% EMP). Un valor de I=1, o de % EMP=100% significa que la exposición es igual al límite. Cuanto más se acerca al valor nulo, más baja es la exposición, y cuanto mayor es, mayor es la exposición.

En términos matemáticos estos índices se definen como:

$$I = \frac{C_8}{VLA-ED} ; y$$

$$\% EMP = \frac{C_8}{VLA-ED} \cdot 100$$

donde VLA-ED indica el valor límite ambiental para la exposición diaria y C₈ indica el valor de la concentración promedio referido a la jornada estándar de 8 horas.

En el supuesto de exposiciones de corta duración, o de exposiciones de intensidad elevada, las expresiones de cálculo son:

$$I = \frac{C_{15}}{VLA-EC} ; y$$

$$\% EMP = \frac{C_{15}}{VLA-EC} \cdot 100$$

donde VLA-EC indica el valor límite ambiental para la exposición corta y C₁₅ indica el valor de la concentración promedio durante un periodo de 15 minutos.

Evaluación de la exposición simultánea a varios agentes químicos

Este sistema de evaluación basado en el uso de índices tiene la ventaja de permitir la toma en consideración de exposiciones simultáneas o sucesivas a varias sustancias.

Al exponer antes los mecanismos de acción de los tóxicos en el organismo ya se ha mencionado la dificultad que existe para conocer el efecto combinado de varias sustancias en el organismo y, por tanto, la evaluación de una exposición a varias sustancias debe hacerse con las reservas necesarias en cuanto a sus conclusiones.

Un procedimiento cuantitativo de evaluación de este tipo de exposiciones, bastante generalizado, se apoya en la hipótesis de aditividad de los efectos. Este criterio se puede enunciar diciendo que en caso de una exposición a varias sustancias, si todas ellas tienen un VLA-ED definido para proteger frente al mismo tipo de efecto, el índice de exposición total será la suma de los índices de exposición individuales, pero si los VLA-ED están definidos para diferentes efectos de deberá considerar cada uno de ellos por separado. Por supuesto, si hay sospecha, o evidencia, de que los efectos de las sustancias obedecen a un modelo de potenciación o sinergia, este procedimiento no es aplicable y se debe recurrir a otros métodos que tengan en cuenta los mecanismos concretos de acción de las sustancias.

En forma matemática la definición anterior se expresa:

$$I = \sum I_i ; \text{ o bien } \% \text{ EMP} = \sum \% \text{ EMP}_i$$

donde el subíndice "i" significa el valor del índice de exposición para la sustancia i-ésima.

Si el valor del índice global es superior a la unidad, se considera que se supera el límite, aunque cada uno de los términos individuales sea inferior a la unidad. Si los efectos no son aditivos, la superación del límite sólo ocurrirá si alguno de los índices individuales es superior a la unidad.

Estrategia de muestreo

Por estrategia de muestreo se identifican las consideraciones a tener en cuenta en el momento de planificar las mediciones que deben realizarse para evaluar exposiciones por inhalación de agentes químicos.

Cuando se sospecha que la exposición está muy por debajo o muy por encima del valor límite, se pueden utilizar, para confirmarlo, técnicas fáciles de aplicar aunque sean menos precisas (como pueden ser

SI LA EXPOSICIÓN ESTÁ MUY ALEJADA DEL LÍMITE (POR ENCIMA O POR DEBAJO) ES POSIBLE USAR TÉCNICAS SIMPLES PARA REALIZAR LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

mediciones realizadas cerca de la fuente de emisión o medidas en el caso más desfavorable), ya que si éstas son muy inferiores al valor límite, la exposición de los trabajadores también lo será. Inversamente se pueden realizar mediciones en las condiciones de menor exposición, ya que si éstas resultan por encima del valor límite, la exposición global también será superior al límite.

Pero cuando se sospecha que la exposición está cerca del valor límite, hay que realizar una investigación más detallada. En este caso hay que considerar dos aspectos:

- Selección de los trabajadores a medir.
- Selección de las condiciones de medida.

Selección de los trabajadores a medir

Una posibilidad para reducir el número de muestras necesario para realizar una evaluación es dividir a la población expuesta en “grupos homogéneos de exposición”, es decir, grupos de trabajadores o puestos de trabajo en los que se espera que la variación de la exposición entre ellos sea menor que en el total. Se debe muestrear, por lo menos, a un trabajador por cada diez del grupo, pero la frecuencia de las mediciones y el número de trabajadores a muestrear dependen de:

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

Si se sospecha que la exposición está próxima al valor límite, es conveniente tomar, al menos, seis medidas dentro del grupo. Si el número de trabajadores en el grupo es inferior a seis, se puede muestrear más de una vez al mismo trabajador.

Una vez obtenidas y analizadas las muestras de un grupo homogéneo, cuando la exposición de un miembro del grupo es menor que la mitad o mayor del doble que la media del grupo, hay que reconsiderar si se han confeccionado bien los grupos. No hay que olvidar que la característica definitoria de un grupo de exposición homogénea es que su exposición es similar y, por lo tanto, no es admisible que haya diferencias importantes en las exposiciones de cada miembro del grupo.

Si algún trabajador del grupo muestra una exposición superior al valor límite y no hay razón para reconsiderar la composición del grupo, la conclusión será que la exposición de todos los trabajadores del grupo supera el valor límite. En efecto, si el grupo es homogéneo y en una jornada se detecta que uno de sus individuos ha superado el valor límite, la consecuencia es que en otra jornada será otro individuo del grupo el que supere el valor límite.

Selección de las condiciones de medida

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 pueda desarrollar durante la misma, es decir, intentar que cada una de las muestras obtenidas en el mismo trabajador se corresponda con cada una de las tareas que realiza. Esto no siempre es práctico, pero a veces es necesario obtener información diferenciada por tareas para prever las medidas preventivas.

LAS MUESTRAS PERSONALES DE DURACIÓN EQUIVALENTE A LA DURACIÓN DE CADA TAREA SON EL PROCEDIMIENTO IDÓNEO DE MEDICIÓN

Si la exposición se caracteriza por la presencia de picos de concentración, hay que medir la concentración durante los periodos en que puedan presentarse estos picos para evaluarlos de acuerdo con los valores límite de corta duración.

Puede no ser necesario evaluar todas las tareas. Si se conoce la exposición de una cierta tarea, porque se haya evaluado en otra ocasión, se pueden utilizar los datos que se obtuvieron entonces.

Es importante tener en cuenta las variaciones que pueden deberse a diferentes turnos o épocas del año. Conviene recordar que, como norma general, la concentración promedio en una jornada referida a una duración de 8 horas no debe superar en ninguna jornada laboral el límite para exposición diaria (VLA-ED).

Cuando se tenga certeza de que la concentración durante un determinado periodo de la jornada no varía significativamente, no es necesario muestrear todo el periodo, es suficiente muestrear una parte del mismo que se considere suficiente para tener un valor representativo de la totalidad del periodo.

Finalmente la estrategia de muestreo se concretará en la definición de:

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

Cuando se hayan definido todos estos aspectos, se podrá proceder a la ejecución de las tomas de muestras y cálculos pertinentes.

Conclusión de la evaluación de la exposición laboral

Una vez comparada la concentración ambiental con el valor límite adecuado, de corta o de larga duración, se tiene que llegar a una de estas tres situaciones:

- La exposición está por encima del valor límite. Hay que identificar las causas por las que se excede la exposición, tomar medidas correctoras y repetir la evaluación de la exposición laboral.
- La exposición está muy por debajo del valor límite y presumiblemente seguirá así, debido a la estabilidad de las condiciones y el proceso de trabajo. En este caso no son necesarias mediciones periódicas.
- La exposición no entra en ninguna de las otras dos categorías. En este caso son necesarias mediciones periódicas.

La evaluación de una exposición no consiste simplemente en obtener un valor del Índice de exposición, o del % EMP. Tal como recoge la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, la evaluación debe suministrar la información necesaria para elaborar un plan

LA EVALUACIÓN DE RIESGOS DEBE SUMINISTRAR LOS DATOS NECESARIOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS

de medidas preventivas. Así, el punto final de la evaluación será la recomendación de las medidas preventivas a implantar, una de las cuales es precisamente el establecimiento de un programa de mediciones periódicas de la concentración.

Antes de decidir que una exposición es perfectamente aceptable y no requiere medidas preventivas, conviene tener presente que la exposición existe a partir del valor cero del Índice de exposición o del 0% EMP, y que la Ley de Prevención de Riesgos Laborales requiere reducir los riesgos al mínimo, lo que en nuestro caso es equivalente a reducir la exposición al mínimo.

LA REDUCCIÓN DEL RIESGO, AUNQUE ÉSTE SEA ADMISIBLE, ES UN IMPERATIVO LEGAL

Hay que evitar la simplificación de interpretar un índice menor que 1 (o un % EMP menor que 100%) como “no hay riesgo” y que, por lo tanto, se concluya que “no son necesarias medidas preventivas”.

La necesidad de repetir una evaluación al cabo de un periodo de tiempo, a pesar de que se haya obtenido un resultado inferior al valor límite, es consecuencia de la naturaleza del fenómeno analizado. En efecto, la concentración ambiental, o sea, la dosis recibida de un contaminante, siempre es una magnitud muy variable; además, el daño frente al que se pretende prote-

ger siempre se manifiesta después de un periodo largo de exposición. Por lo tanto, el hecho de que un día, o un conjunto de días próximos en el tiempo, haya dado un resultado de exposición inferior al límite admisible sólo es una garantía limitada de que a lo largo de un periodo de años todos los días la exposición será inferior al límite. En consecuencia, es imprescindible repetir la evaluación a intervalos regulares para tener una seguridad razonable de que la exposición está, y se mantiene, por debajo de los límites aceptables.

Hay que tener en cuenta que la comparación de la exposición con el valor límite sólo es posible hacerla con datos anteriores o actuales, mientras que la evaluación de la exposición laboral es una conclusión con efectos hacia el futuro, lo que implica una cierta incertidumbre que aumentará cuando:

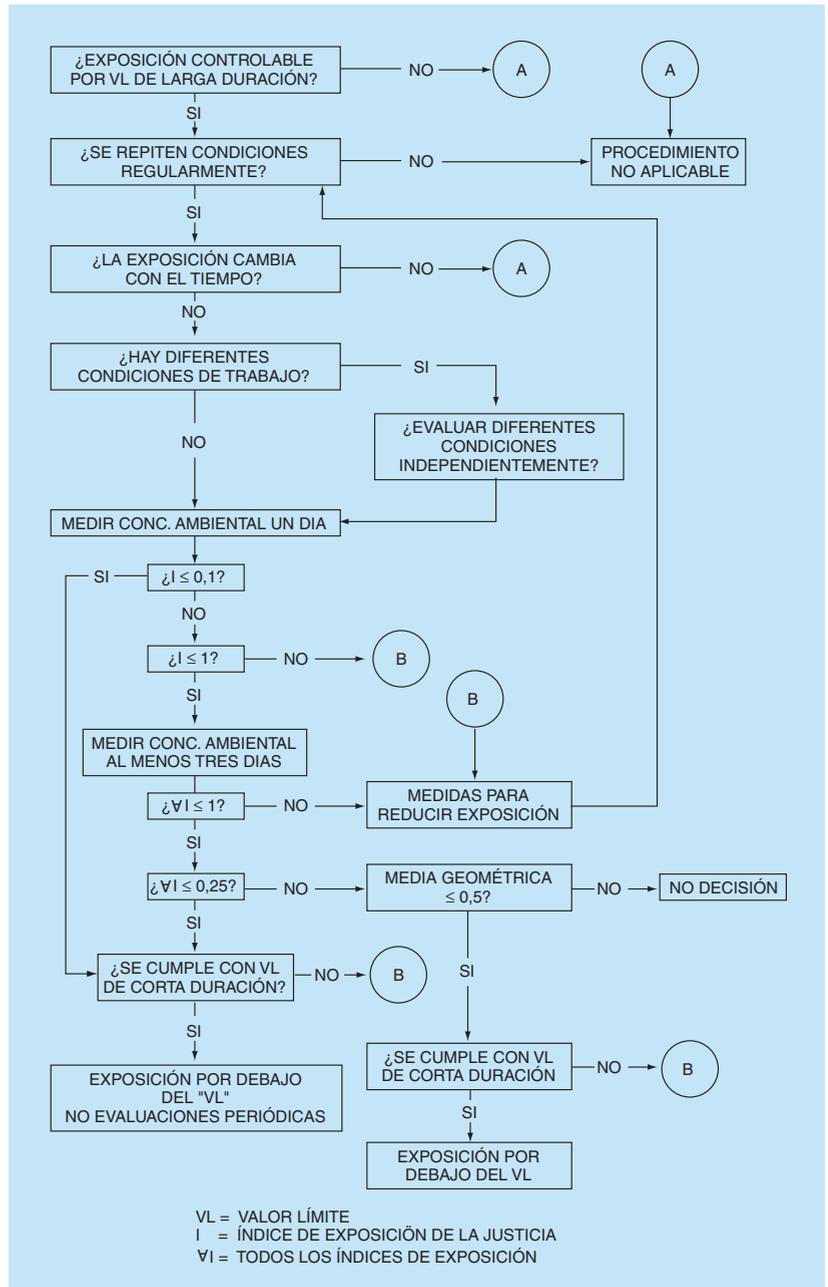
- la exposición se acerque al valor límite,
- aumente la cantidad de productos utilizados,
- aumente la presión o la temperatura del proceso,
- aumente el intervalo entre evaluaciones periódicas.

Sólo en el caso de que se compruebe que la exposición en un día es muy inferior al límite y de que la estabilidad en las condiciones de trabajo permita asegurar que se mantendrá ese estado con el paso del tiempo, se puede prescindir de una comprobación periódica de la exposición.

Ejemplo de aplicación de un procedimiento para la evaluación de la exposición laboral

El procedimiento que se describe a continuación es el presentado en el anexo C de la norma UNE-EN 689:1996, y puede ser utilizado como un procedimiento de rutina para evaluar exposiciones laborales a agentes químicos si se cumplen las condiciones que se indican en el propio procedimiento, que son:

- que la concentración promedio de la jornada de trabajo, ponderada en el tiempo y referenciada a una jornada de 8 horas, represente realmente la exposición laboral,
- que todos los Índices de exposición sean inferiores a la unidad,
- que las condiciones en el lugar de trabajo se repitan regularmente,
- que las características de la exposición no cambien con el tiempo,
- que las diferentes condiciones de trabajo se hayan evaluado por separado.



Los pasos a seguir son:

1. Se obtiene la concentración promedio para una jornada de 8 horas.
2. Se divide por el VLA-ED para obtener el Índice de exposición (I).

3. Si el valor de I es inferior a 0,1 se concluye que la exposición está por debajo del VLA-ED. Si, además, las condiciones no varían con el tiempo, no son necesarias evaluaciones periódicas.
4. Si no se cumple la condición $I < 0,1$ se obtienen los índices para dos jornadas más por lo menos.
5. Si los valores de I en varios días diferentes son todos inferiores a 0,25, la exposición está por debajo de VLA-ED. Si, además, las condiciones no varían con el tiempo, no son necesarias evaluaciones periódicas.
6. Si los valores de los índices I en varios días diferentes, son todos inferiores a 1, y su media geométrica es inferior a 0,5 se concluye que la exposición está por debajo de VLA-ED. Si, además, las condiciones no varían con el tiempo, no son necesarias evaluaciones periódicas.
7. Si algún valor de I es superior a 1, la exposición está por encima de VLA-ED.
8. En cualquier otro caso, el procedimiento conduce a la situación de “no decisión”.

Si se dan los casos 3, 5, 6 ó 7, la evaluación de la exposición laboral concluirá cuando se redacte el informe.

En la figura se muestra un esquema de este procedimiento, que no es el único aplicable. Entre otros, la misma norma UNE-EN 689:1996 describe otro procedimiento basado en el cálculo de la probabilidad de que se exceda el VLA-ED.

La evaluación de la exposición laboral termina cuando se redacta un informe con los resultados de la evaluación.

Un informe de evaluación es un documento con una doble finalidad. Por una parte, es el soporte para la comunicación a los interesados de los resultados de la evaluación de riesgos. Por otra parte, debe servir además para dejar constancia de todos los datos relevantes que se han utilizado para emitir las conclusiones de la evaluación, de forma que puedan ser comprendidos o utilizados en el futuro por una persona distinta a la que realizó la evaluación. Es evidente que el informe debe ser redactado tanto si el resultado indica una exposición tolerable como excesiva.

Contenido del informe de evaluación

Atendiendo a lo dispuesto en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, al Reglamento de los Servicios de Prevención y al RD 374/2001, el informe de evaluación contendrá por lo menos:

- Identificación del puesto de trabajo.

Informe de evaluación

- Relación nominal de trabajadores que ocupan el puesto.
- Riesgo o riesgos existentes. La identificación del riesgo debe incluir la relación de agentes químicos que los originan. Es incorrecto anotar “riesgo por inhalación”; es correcto anotar “riesgo por inhalación de polvo de plomo”.
- Referencia de los criterios y procedimientos de evaluación. Para los criterios y procedimientos normalizados es suficiente con referenciarlos. Por ejemplo, norma UNE-EN 689:1996, o Valores Límite Ambientales del INSHT. Si el procedimiento es propio de la empresa o de una fuente de acceso restringido se debe incluir en la documentación la descripción del procedimiento completo, además de la información complementaria necesaria para avalar su idoneidad.
- Referencia de los métodos de medida, análisis o ensayo utilizados, si es el caso.

Para los métodos de medida o análisis normalizados es suficiente con referenciarlos. Por ejemplo, Método MTM/xxx del INSHT o Método ABC/xx de NIOSH. Si el método es propio de la empresa o de una fuente de acceso restringido se debe incluir en la documentación una copia del método completo, además de la información complementaria de su validación.

CONTENIDO DEL INFORME DE EVALUACIÓN
Identificación y descripción del puesto de trabajo
Relación nominal de trabajadores que ocupan el puesto
Riesgos existentes
Fecha y hora del muestreo
Referencia de:
los criterios y procedimientos de evaluación
los métodos de medida, análisis o ensayo utilizados
los equipos utilizados
los laboratorios que han participado en el análisis de las muestras
Valor de las concentraciones ambientales medidas
Resultado de la evaluación de cada riesgo
Medidas preventivas a aplicar
Cualquier otro factor que se considere relevante

- Equipos de lectura directa o toma de muestras utilizados y laboratorios que han participado en el análisis de las muestras.
- Resultado de la evaluación de cada riesgo y medidas preventivas a aplicar, incluyendo los controles periódicos aconsejados, si es el caso. La necesidad de aplicar una medida de prevención requiere justificación basada en los resultados de la evaluación, excepto si se trata de medidas de prevención elementales u obvias. Si no se han realizado mediciones es necesario justificarlo, bien porque se demuestra por otros medios de evaluación cualitativos que el riesgo está controlado, bien porque se concluye que, antes de realizar cualquier medición, es imprescindible aplicar alguna medida de prevención.
- Identificación y cualificación de los técnicos de prevención que han efectuado la evaluación y fecha de la misma.

Además de estos mínimos reglamentarios es conveniente que el informe incluya la información sobre:

- características del lugar de trabajo, incluyendo las condiciones de trabajo cuando se realizó el muestreo,
- fecha y horario de los muestreos,
- las concentraciones ambientales encontradas,
- todos los factores que hayan podido afectar apreciablemente a los resultados.

El objetivo a alcanzar es, como ya se ha dicho, que el informe suministre información útil a un tercero en el futuro.

Como repetidamente se ha indicado, el final del informe debe estar dedicado a la propuesta de medidas preventivas.

El catálogo de medidas preventivas para evitar o reducir los riesgos higiénicos es muy amplio y la utilidad o eficacia de cada una de ellas depende en gran manera del entorno en el que deba aplicarse. Esta amplitud, y la importancia del *control de riesgos*, justifican dedicarle un capítulo específico de este texto. En este momento basta llamar la atención sobre el hecho de que un estudio detallado del proceso productivo y de las sustancias que intervienen, junto con una buena planificación de las mediciones, debería ser suficiente para evidenciar las causas y la magnitud de los riesgos y, en consecuencia, facilitar la selección y ejecución de las medidas preventivas más eficaces para cada caso estudiado.

La experiencia muestra que las evaluaciones de riesgos higiénicos mal planificadas sólo permiten concluir sobre la presencia de un riesgo pero no sobre sus causas, por lo que al intentar implantar medidas preventivas, o bien se trabaja “a ciegas” o bien hay que requerir nuevas mediciones, con la pérdida de recursos que ello implica.

Extensión del informe

Existe la creencia generalizada de que un informe debe ser corto, conciso y concreto, y por extensión se considera que un informe largo, amplio y genérico es un mal informe. En realidad un informe de evaluación de riesgos siempre debe ser concreto, pero el tamaño y la profundidad del informe dependen en gran medida del objetivo que persiga el autor y del interés del destinatario principal del informe. Si el objetivo es comunicar hallazgos o datos, es importante que el informe sea corto y conciso, pero, si el objetivo del autor es convencer al destinatario de la conveniencia o idoneidad de las opiniones propias, es imprescindible que los datos se acompañen de interpretaciones críticas y, por lo tanto, el informe será necesariamente más largo. Si el interés del destinatario principal simplemente es cono-

cer la situación de los riesgos higiénicos, y tiene “confianza ciega” en el técnico que los evalúa, el informe corto es el adecuado, pero, si el destinatario tiene “reservas” ante las opiniones del técnico, no está de más incluir los argumentos que sustentan esas opiniones.

De lo anterior se deduce una consecuencia a menudo olvidada: antes de redactar un informe es necesario definir el objetivo que se pretende (informar o convencer) y el destinatario principal del informe. El autor debe conocer de antemano las expectativas y conocimientos del destinatario y tener presente al redactar el informe lo que ya sabe y lo que le conviene saber.

Control de las exposiciones a agentes químicos

3

VISIÓN GLOBAL DE LAS TÉCNICAS DE CONTROL

Este capítulo está dedicado a las técnicas y procedimientos aplicables para evitar o disminuir la exposición de los trabajadores a agentes químicos, lo que habitualmente se conoce como control de las exposiciones. La expresión “control de las exposiciones” significa implantar o ejecutar acciones eficaces para prevenir riesgos y mantener esta situación a lo largo del tiempo y en cualquier circunstancia. La palabra “control” también tiene una acepción distinta, así en el capítulo anterior se ha hablado de “control ambiental” y “control biológico” y también se habla de “control médico”, en estos casos tiene el significado de vigilancia, observación o evaluación de una situación, que tiene poco que ver con el significado que se le da en este capítulo.

Un análisis de las situaciones de riesgo real o potencial parte de la idea de que siempre hay una sustancia química que se utiliza, o es producida, por una máquina o un proceso. Como este equipo puede emitir el agente en el ambiente de trabajo es común identificarlo como foco de emisión. El foco de emisión estará situado en un local o zona de trabajo que hará las funciones de medio de propagación del agente entre la emisión y la zona respiratoria del trabajador. Finalmente existirá una persona que trabajará en la instalación siguiendo un método de trabajo.

Este planteamiento permite clasificar las acciones de control atendiendo al elemento sobre el que actúan, es decir, el agente químico en sí mismo, el proceso o instalación, el local o zona de trabajo y el método de trabajo. En el método de trabajo se incluyen, además de los procedimientos operativos, que sería el

EL OBJETIVO DEL CONTROL ES IMPLANTAR
UNAS CONDICIONES DE TRABAJO SIN
RIESGO DE FORMA PERMANENTE Y BAJO
CUALQUIER CIRCUNSTANCIA

método en sentido estricto, los equipos de protección individual y otros elementos de los que depende la magnitud del riesgo y que están muy ligados al método como son el tiempo de exposición o la rotación de puestos. En algunos manuales las acciones de control aplicadas a elementos de tipo organizativo se agrupan bajo la denominación genérica de controles administrativos.

El planteamiento anterior permite una clasificación de las técnicas y métodos de control en cuatro grandes grupos: acciones sobre el agente químico, cuyo objetivo es evitar su presencia; acciones en el proceso, cuyo objetivo es eliminar o reducir la emisión al ambiente; acciones en el local o ambiente, cuyo objetivo es mantener la concentración ambiental del contaminante en un valor seguro; y acciones en el método de trabajo, cuyo objetivo es evitar el contacto directo entre el contaminante y el trabajador.

En el cuadro se muestran las técnicas de control en un orden de prioridad (de arriba hacia abajo) y para cada prioridad en orden de preferencia (de izquierda a derecha) basándose en que son preferibles los controles técnicos que los basados en la organización del trabajo debido a su mayor fiabilidad. En este capítulo se da una visión rápida de todas estas técnicas. Un tratamiento en profundidad de cada una de ellas puede encontrarse en los textos especializados y manuales de higiene industrial más extensos o específicos.

Prioridades en el control de riesgos

Los títulos de cada fila del cuadro indican el objetivo final que se alcanza con la aplicación de las acciones incluidas en la fila, de ahí el orden de prioridades por filas indicado antes, y que, por otra parte, es el que se deduce de lo establecido en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. El concepto de prioridad debe entenderse en sentido estricto: no es adecuado desde un punto de vista preventivo contemplar la posibilidad de aplicación de una técnica hasta que todas las técnicas de las filas superiores se han puesto en práctica o se han descartado por ser inviables técnica o económicamente.

Los conceptos de inviabilidad son relativos y deberían ser analizados en cada caso concreto. Por ejemplo, es posible que el desarrollo de una formulación de pintura sin disolvente sea inviable para un taller de reparación de chapistería, pero no para un fabricante de automóviles; robotizar una tarea de soldadura puede ser una inversión fuera del alcance de una empresa de montajes metálicos, pero perfectamente asumible por una empresa dedicada a fabricar grandes series de un mismo producto. No se pueden dar normas generales sobre la inviabilidad, lo que sí es exigible es que se estudie la posibilidad y se llegue a una conclusión basada en datos objetivos y no en opiniones.

TÉCNICAS DE CONTROL DE EXPOSICIONES				
Técnica de control	Acción sobre			
	Agente contaminante	Proceso/ Instalación	Local de trabajo	Método de trabajo
Eliminación	Sustitución total	Sustitución del proceso	Redistribución en planta	Automatización Robotización Control remoto
Reducción	Sustitución parcial Cambio de presentación	Modificación del proceso Mantenimiento preventivo	Orden y limpieza	Buenas prácticas de trabajo Información Formación Motivación Supervisión
Aislamiento		Cerramiento o Separación Cabinas de seguridad	Segregación de departamentos sucios	
Ventilación		Extracción localizada. Extracción tipo push-pull.	Ventilación por dilución Duchas de aire Cortinas de aire	Herramientas con extracción local incorporada
Impedir la exposición			Cabinas para los trabajadores	Horarios reducidos.
Protección individual				EPI de vías respiratorias Guantes Ropa de trabajo

Eliminación

La eliminación implica la desaparición física del agente químico, del proceso o máquina que lo emite al ambiente, de la organización del taller en el que ocurre o del procedimiento de trabajo, reemplazándolo por otro producto, proceso, distribución o método de trabajo. Ocupa el nivel más alto de la jerarquía entre las acciones de control, ya que el resultado es la desaparición del riesgo.

Generalmente el nuevo producto, proceso o método tendrá riesgos, aunque menores, y por lo tanto es normal tener que prever otras medidas de un nivel más bajo de jerarquía para el nuevo producto, proceso o tarea.

Reducción

Las acciones de reducción implican la disminución de la velocidad de generación o de la cantidad del agente químico emitido en el ambiente de trabajo. Como en el caso anterior este tipo de acciones puede aplicarse en el agente, en el proceso, en el ambiente general del taller o en el diseño de las tareas, y también como en el caso anterior son preferibles las acciones en las que su eficacia no depende, o es poco dependiente, de la intervención humana.

Aislamiento

Por aislamiento se entiende la interposición de una barrera física entre la zona de generación de la contaminación y la zona respiratoria de los trabajadores.

Si, a pesar de la puesta en práctica de las acciones de eliminación, reducción o aislamiento, no se consigue que los riesgos higiénicos sean de una magnitud tolerable será el momento de pensar en ventilación, controles administrativos o equipos de protección individual.

Ventilación

Las técnicas de ventilación, entendiéndose por tal la renovación del aire de un local o recinto, son el recurso más citado cuando se detecta un problema de exposición a agentes químicos.

En la práctica son muy eficaces y es posible que esta eficacia sea una trampa. En efecto, no es sencillo conseguir que los técnicos destinen tiempo y esfuerzo a pensar en soluciones de eliminación, reducción o aislamiento cuando están convencidos de que se podrá recurrir a una ventilación para solucionar cualquier problema que pueda presentarse, pero la ventilación tiene limitaciones y además no es un método de control tan seguro como los anteriores, ya que el agente sigue presente y se sigue emitiendo y cualquier fallo o cambio no previsto puede dar lugar a exposiciones. Una buena estrategia de control debe contemplar la ventilación como lo que es, una técnica eficaz a tener en cuenta cuando otras técnicas más eficaces no son factibles.

LA VENTILACIÓN ES UNA TÉCNICA EFICAZ, PERO NO ES LA PRIORITARIA. SE LLEGA A ELLA TRAS DESCARTAR LAS POSIBILIDADES DE LAS TÉCNICAS DE ELIMINACIÓN, REDUCCIÓN O AISLAMIENTO

Impedir la exposición

El siguiente escalón de prioridad lo ocupan las técnicas que impiden la exposición de los trabajadores a un ambiente conta-

minado pero sin modificarlo; estas técnicas sólo son aplicables en el ambiente general de trabajo o en el método de trabajo.

Protección Individual

Como último eslabón en la cadena de prioridades quedan los equipos de protección individual (EPI), lo que significa que sólo deben ser contemplados como técnica para el control de riesgos higiénicos cuando todas las demás posibilidades son inviables. Por ejemplo, es posible que para realizar ciertas tareas de limpieza, o para algunas intervenciones en situación de emergencia, no haya más posibilidad que implantar el uso de EPI.

Los EPI también pueden utilizarse como auxiliares o complementos a otras acciones de control, es decir, se utilizan como medida de protección suplementaria, no como técnica de control. Por ejemplo, en una operación de limpieza de un depósito, aunque el control del riesgo esté basado en la ventilación previa, es aconsejable el uso de EPI. En este caso la eficacia del control no depende del EPI, sino de la ventilación, y el hecho de que se utilicen EPI no autoriza a que la ventilación del depósito no se haga o se haga de forma deficiente.

Para el control de los riesgos debidos a la exposición a agentes químicos los EPI aplicables son los equipos de protección de las vías respiratorias, los guantes de protección y la ropa de trabajo. Con estos equipos se pretende evitar el contacto del agente con el trabajador por cualquier vía sin necesidad de modificar ni el ambiente ni el tiempo ni la forma de exposición.

ACCIONES PARA EL CONTROL DE RIESGOS

El control de las exposiciones a los agentes químicos debe lograrse mediante acciones coordinadas sobre el proceso en el que se emplean, los métodos de trabajo y el local de trabajo.

Además de las normas reglamentarias que prohíben o limitan el uso de ciertos productos (casos del benceno, el amianto, ciertos metales y algunos otros agentes, principalmente cancerígenos y mutágenos), la experiencia muestra que en gran medida los avances en la prevención de riesgos higiénicos basados en la sustitución o modificación de productos son consecuencia de la presión de los usuarios que exigen a sus proveedores productos que entrañen menos riesgos durante su utilización. En el ámbito laboral, la acción del técnico de prevención de una empresa usuaria es decisiva en este aspecto, ya que de otra forma es difícil que un fabricante de productos se preocupe por los riesgos para los trabajadores de su cliente.

Acciones sobre el agente químico

Sustitución total de productos

Revisando la historia reciente es fácil encontrar ejemplos de sustitución total de ciertos productos por otros menos tóxicos, por ejemplo, la sustitución de PCB en los transformadores eléctricos, eliminación del benceno en los disolventes, sustitución del amianto por otros tipos de materiales aislantes.

En todos los casos se apreció una resistencia inicial al cambio, alegando la imposibilidad de que los sustitutos mantuvieran las propiedades tecnológicas de los sustituidos, pero a pesar de ello la sustitución se ha producido. La conclusión es clara: frases del tipo “este producto no es posible reemplazarlo” hay que pensarlas mucho antes de decirlas.

En los casos particulares también resulta evidente que en muchos procesos industriales se puede plantear la sustitución total de productos sin necesidad a esperar que una norma legal obligue a ello; por ejemplo: pinturas sin metales tóxicos, pegamentos sin disolventes orgánicos, limpieza de piezas por medios mecánicos o con productos menos tóxicos para el trabajador, etc. La casuística es enorme y en cierta forma es el campo de actuación donde más se puede desarrollar la imaginación en la búsqueda de ideas útiles para evitar los riesgos. No está de más recordar que por encima de la evaluación de riesgos

LA POSIBILIDAD DE SUSTITUCIÓN DE PRODUCTOS SIEMPRE DEBE SER INVESTIGADA. SU EFICACIA PREVENTIVA ES MÁXIMA

la Ley de Prevención de Riesgos Laborales impone la obligación de evitar los riesgos, es decir, esta necesidad de búsqueda de alternativas es un imperativo legal. En la normativa específica de agentes químicos, la sustitución es la medida prioritaria para el control del riesgo, y en la de cancerígenos se establece que debe recurrirse a ella “*siempre que sea técnicamente posible*”.

En todo caso la sustitución de un producto debe respetar algunos criterios para evitar que el nuevo producto sea simplemente un cambio de riesgos en vez de una eliminación de riesgos. En la tabla se indican los elementos a considerar cuando se plantea una sustitución de producto. Se consideran críticas las características que obligatoriamente debe reunir el producto candidato a ser utilizado, mientras que el resto de elementos han de ser analizados para prever las acciones complementarias necesarias en caso de que finalmente se decida proceder a la sustitución.

Sustitución parcial

Como paso intermedio hacia la sustitución total de un producto tóxico es habitual pasar por una serie de fases en las que se disminuye progresivamente su proporción en los productos manipulados. Por ejemplo, antes de llegar a la desaparición to-

ASPECTOS A ANALIZAR EN EL CAMBIO DE PRODUCTOS	
CRÍTICOS	Disponibilidad de información toxicológica suficiente
	Sin efectos cancerígenos, mutagénicos o teratogénicos conocidos
	Sin efectos sensibilizantes conocidos
	No genera otros agentes de mayor toxicidad
	No tiene efectos aditivos o sinérgicos con otros productos presentes en el proceso
	No incrementa el peligro de incendio o explosión
RECOMENDABLES	Permite el cerramiento del proceso
	Permite manipularlo por vía húmeda
	Mayor facilidad de limpieza
	Mayor facilidad en la medida de la concentración en aire
	Permite el control biológico de las exposiciones
OTROS	Modificaciones de las instalaciones de almacenamiento
	Modificaciones de las condiciones de transporte
	Implicaciones en las emisiones atmosféricas
	Implicaciones en la gestión de los residuos

tal del amianto aparecieron productos intermedios en los que la proporción de amianto fue disminuyendo progresivamente; algo similar ocurre actualmente con el contenido en metales pesados de las pinturas; también se observa una tendencia a utilizar disolventes menos volátiles.

Desde un punto de vista preventivo no es correcto rechazar una sustitución parcial alegando que hasta que no sea total no vale la pena. Si se obtiene una reducción de la exposición de los trabajadores, el efecto es inmediato en la mejora de las condiciones de trabajo y por tanto debe implantarse.

Cambio de presentación

Una alternativa al uso de agentes químicos pulverulentos para lograr una menor emisión de contaminación es manejarlos en forma de pastas, o gránulos compactados o por vía húmeda. Con ello se reducen de forma significativa las emisiones de polvo y se simplifican las tareas de limpieza.

Acciones en el proceso o instalación

Cambio de proceso

Un cambio de proceso productivo es una acción radical que en la práctica suele hacerse buscando una mejora en la calidad y en los costes de producción. Para que estos cambios tengan además un aprovechamiento preventivo es necesario que los requisitos de prevención se tengan en cuenta desde el principio en el proceso de diseño de la nueva instalación.

Cualquier medida preventiva añadida cuando la instalación ya está en marcha suele ser menos efectiva y más cara que si se hubiera contemplado desde la fase de proyecto, lo que hubiera permitido integrarla en la construcción sin tener que recurrir después a las soluciones más o menos ingeniosas decididas sobre la marcha. Un método cada vez más utilizado es incorporar desde el inicio del proyecto a los que en el futuro serán los “usuarios” de la instalación, es decir, a quienes trabajarán en ella, a fin de que su experiencia permita poner de manifiesto y dar soluciones a los problemas que los proyectistas, desde sus despachos, suelen olvidar.

La historia de la tecnología, y de las empresas, está repleta de ejemplos que demuestran que los cambios con mejoras significativas, en lo que respecta a condiciones de exposición a agentes químicos, son posibles. Por ejemplo, en vez de soldar piezas de carrocería de automóvil, unir las mediante pestañas o

con resinas (aunque esto puede plantear problemas de dermatitis), sustituir el chorro de arena por otras técnicas menos agresivas para los trabajadores, desengrasar en fase vapor con cubas diseñadas a tal fin en vez de desengrasado manual, etc.

En la tabla se indica una lista de las características de un proceso que, de forma general, se pueden considerar favorables para una buena prevención de riesgos.

CONTROL DE RIESGOS MEDIANTE ACCIONES SOBRE EL PROCESO

Procesos cerrados

Trabajo a menor temperatura y/o presión

Evitar agitación o borboteos en depósitos abiertos

Manipulación por vía húmeda

Introducir modificaciones importantes en un proceso que ya está en funcionamiento suele ser una acción que implica costes elevados y resistencias aún mayores. Los técnicos que lo diseñaron no suelen aceptar con facilidad que, en el proyecto, no se tuvieron en cuenta determinados riesgos que luego la realidad ha hecho evidentes, y el argumento del coste desmesurado siempre está a mano para apoyar las posiciones de quienes defienden que ningún cambio importante es posible.

Aunque en muchos casos los cambios importantes de proceso pueden ser realmente inviables, ello no obsta para que se puedan emprender modificaciones parciales o ajustes que pueden ser muy efectivos para la protección de los trabajadores.

Por ejemplo: reducir la altura de la caída en las transferencias de materiales pulverulentos; modificar la velocidad de agitación de los mezcladores; minimizar la presión del aire en el pintado aerográfico; o utilizar un sistema "air-less"; pulverizar agua en forma de niebla en zonas de generación de polvo como las transferencias en cintas transportadoras, las brocas de perforación de roca, los martillos picadores, etc. En este campo también la imaginación y capacidad de inventiva de los responsables de conducir una instalación puede encontrar un filón de ideas eficaces para evitar o reducir riesgos.

MODIFICAR UN PROCESO COMPORTA DIFICULTADES TÉCNICAS Y ORGANIZATIVAS, PERO NO ES ALGO IMPOSIBLE Y PUEDE REPORTAR VENTAJAS IMPORTANTES

Mantenimiento preventivo

Es un axioma que cualquier instalación dejada a su evolución natural siempre va de mal en peor. Este axioma también se cumple en lo que se refiere a las emisiones de contaminantes al ambiente, por ello un buen plan de mantenimiento preventivo es importante.

En la prevención de riesgos por exposición a agentes químicos, el mantenimiento es una técnica "pasiva". Si se hace bien no se nota, sólo se aprecian sus fallos. Un mantenimiento mal planeado aumenta la posibilidad de fugas y derrames en juntas, uniones, estopadas, etc. Las operaciones de mantenimiento mal ejecutadas son en sí mismas un foco de contaminación tanto para los trabajadores que las ejecutan como para los trabajadores del proceso. Los residuos que pueden quedar en el lugar, si no se ha planeado su recogida, también pueden convertirse en un foco de contaminación.

Es importante que los técnicos de mantenimiento reconozcan que pequeñas averías o ligeros defectos de funcionamiento, cuya incidencia en la capacidad de producción no es significativa, pueden ser muy importantes en lo que se refiere a la exposición de los trabajadores del proceso, y deben darle la importancia que se merecen.

LAS INSTALACIONES DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN LOS PUESTOS DE TRABAJO TAMBIÉN HAN DE INCLUIRSE EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO

Al hablar de instalaciones que precisan mantenimiento no hay que olvidar las instalaciones no directamente productivas ligadas a la protección de la salud como son las de ventilación. Una instalación de extracción localizada, o de ventilación general del taller, tiene que tener el mismo tratamiento que una instalación productiva o ligada directamente a la producción.

Cerramiento del proceso

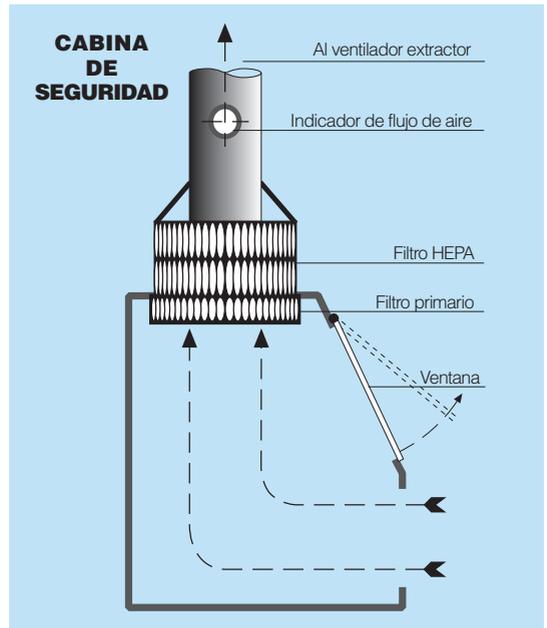
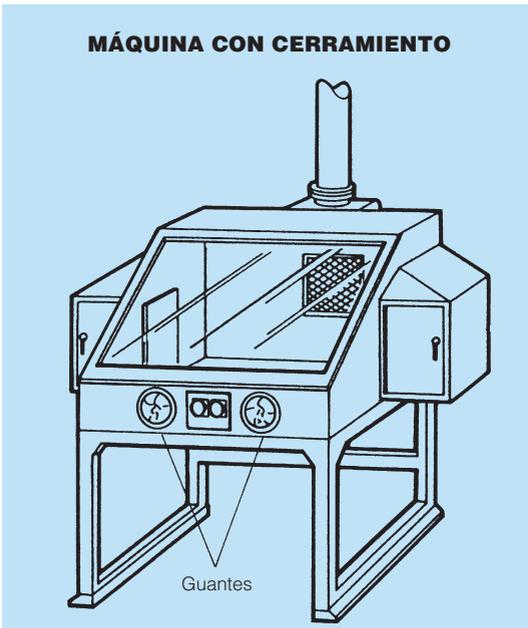
Trabajar en proceso cerrado significa, en teoría, que no hay contacto entre el agente químico y el ambiente, por ello la técnica de cerrar un proceso abierto es muy utilizada cuando se pretende evitar riesgos. Los ejemplos típicos de cerramiento de proceso los constituyen las cabinas construidas para contener una máquina, o una instalación de dosificación y mezcla, las cubiertas de cintas transportadoras y aplicaciones similares.

El cerramiento puede ser total o parcial, y en muchas ocasiones se acompaña de una extracción localizada para mejorar la eficacia de la contención de los contaminantes.

Cabinas de seguridad

Un caso particular de aislamiento del proceso muy utilizado en laboratorios es el trabajo en cabinas de seguridad. La instalación o aparato que genera la contaminación se sitúa en el interior de un recinto dotado de aspiración y el trabajador se sitúa fuera del mismo. Para trabajos corrientes con materiales de baja o media toxicidad el cerramiento es parcial y se puede manipular en el interior a través de la ventana de acceso. La contención queda asegurada por la aspiración de aire.

Para trabajos con materiales de elevada toxicidad el cerramiento es completo y la manipulación en su interior se realiza mediante manipuladores telecomandados o con guantes acoplados a la propia cabina.



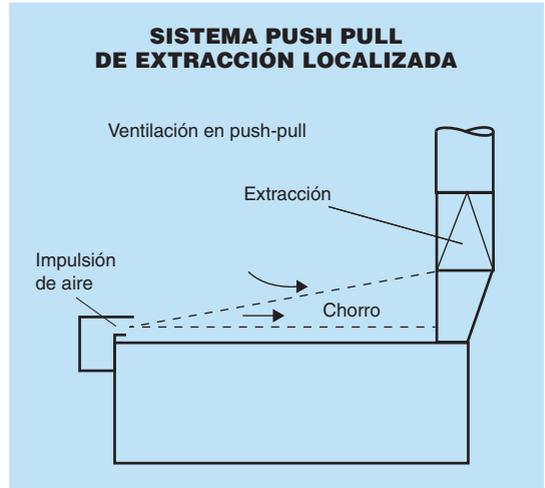
Extracción localizada

En esencia consiste en situar, próxima al lugar donde se produce la emisión del contaminante, una campana de aspiración de aire con el objetivo de que la corriente de aire creada por la aspiración arrastre el contaminante hacia la campana evitando su dispersión al ambiente.

Es una técnica muy utilizada y por ello se le dedica un apartado completo en este capítulo.

Ventilación en push-pull

Es un caso particular de extracción localizada que consiste en combinar una impulsión de aire con una aspiración. El chorro de aire induce el movimiento del aire contaminado hacia la campana de aspiración evitando la dispersión en el ambiente.



Rediseño de la distribución en planta

También es posible eliminar las fuentes de contaminación cambiando la distribución en planta de la maquinaria, de los circuitos de transporte interno de materiales y de los lugares de transferencia. En muchas fábricas la distribución en planta y las operaciones auxiliares de transporte interno y almacenamiento no son consecuencia de un análisis lógico del proceso de producción, sino el resultado histórico de las sucesivas ampliaciones y modificaciones.

Ideas tales como mantener en circulación la mínima cantidad posible de materiales, simplificar las líneas de transporte interno y evitar los almacenamientos de productos intermedios son las reglas de oro para evitar una manipulación excesiva de los productos que degenerará previsiblemente en emisiones innecesarias de contaminantes al ambiente.

LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DEBE HACERSE CON CRITERIOS DE MINIMIZAR LAS MANIPULACIONES Y EL TRANSPORTE INTERNO DE PRODUCTOS Y MATERIALES

Acciones en el local de trabajo

Limpieza de instalaciones y maquinaria

La limpieza es una medida preventiva importante siempre, pero muy especialmente cuando se trabaja con contaminantes particulados. Algunas de las partículas emitidas en el ambiente se depositan en el suelo, las máquinas o las estructuras y, desde allí, pueden pasar de nuevo al ambiente. Esta emisión secundaria puede ser debida a las corrientes de aire que provocan los sistemas de ventilación o el desplazamiento de objetos o perso-

nas. Todas las guías o recomendaciones de buenas prácticas mencionan la limpieza como un factor necesario para mantener un ambiente de trabajo sin contaminación.

En general es muy importante mantener un perfecto estado de limpieza cuando se trabaja con sustancias pulverulentas de elevada toxicidad. Una limpieza cuidadosa debe extenderse también a la ropa de trabajo, en la que este tipo de contaminantes puede acumularse y, desde allí, pasar al ambiente a causa de los roces que provoca el movimiento del propio trabajador.

La limpieza debe hacerse con métodos húmedos, con sistemas de aspiración con filtración adecuada o una combinación de ambos. En cualquier caso el material debe ser recogido y tratado de acuerdo con su peligrosidad; lamentablemente son frecuentes los accidentes y las intoxicaciones ocurridas como consecuencia de manipular los materiales recogidos en operaciones de limpieza de talleres como si se tratara de polvo doméstico.

El simple riego del suelo o el soplado con aire comprimido sólo cambia de sitio el polvo y no tiene eficacia preventiva.

Las acciones de limpieza tienen una función decisiva en el caso de derrames o vertidos accidentales tanto de sólidos como de líquidos. Los líquidos se evaporan y generan contaminación y, si se trata de disoluciones, al evaporarse el disolvente quedan en el lugar los sólidos disueltos en forma de polvo fino. Un método muy eficaz de recoger líquidos consiste en utilizar productos absorbentes que empapan el líquido o que forman geles facilitando la recogida completa del líquido derramado.

Segregación de zonas

Un método empleado frecuentemente es el del aislamiento de la operación u operaciones potencialmente contaminantes en un recinto específico separado del resto. Así es posible aplicar a este local medidas preventivas particulares, más efectivas y económicas que si estas operaciones se realizaran junto a otras en una nave común; al mismo tiempo, esto permite minimizar el número de personas expuestas, que se limita a quienes permanecen o trabajan en el local en cuestión.

Un ejemplo típico lo constituyen las cocinas de colores de la industria textil, o los cuartos para formulación de mezclas.

Ventilación general

Por ventilación general se entiende la renovación del aire del local para reemplazar el aire sucio o contaminado con aire fresco. La utilidad de esta acción, en cuanto a la prevención de exposiciones, es evidente, y por ello es normal que cuando se ha-

bla de lugares de trabajo contaminados se alegue la falta de ventilación como origen del problema.

Pero además de esta aplicación preventiva frente a los riesgos por exposición a agentes químicos la ventilación de los locales tiene otras funciones y aplicaciones tales como aportar el oxígeno necesario para la respiración, eliminar los bioefluentes generados por las personas, evitar condiciones de temperatura o humedad extremas que hacen que cualquier local, independientemente de su uso o su contenido, deba disponer de ventilación. Así, es lógico que el RD 486/1997 que fija las condiciones mínimas de seguridad y salud que deben reunir los lugares de trabajo establezca mínimos de ventilación. Estos valores mínimos legales hay que considerarlos como lo que son: mínimos de ventilación de aplicación universal en todos los lugares de trabajo y no son valores que aseguren un ambiente sin contaminar en cualquier trabajo.

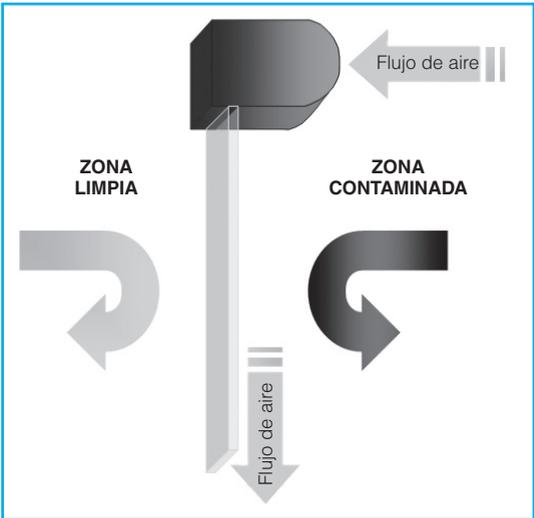
Si en un caso particular se decide utilizar la ventilación general como técnica para evitar o reducir exposiciones a agentes químicos, el criterio de eficacia no debe ser el cumplimiento estricto de los mínimos establecidos en el Reglamento de lugares de trabajo sino reducir la exposición.

Duchas y cortinas de aire

Las duchas de aire consisten en proyectar sobre la zona ocupada por el trabajador una corriente de aire fresco a baja velocidad para evitar molestias, pero suficiente para evitar que el aire contaminado pueda llegar a su zona respiratoria. Aunque en la literatura se describen algunos ejemplos, la aplicación práctica es muy limitada ya que exige que los trabajadores ocupen un lugar fijo y un local en el que no haya corrientes de aire que puedan alterar el chorro de la ducha de aire. También se ha descrito un sistema en forma de pequeño chorro de aire portátil soportado por un soldador y colocado de forma que proyecta la pluma de humos de soldadura fuera de la zona respiratoria.

LA VENTILACIÓN GENERAL ES UN PRINCIPIO GENERAL DE PREVENCIÓN QUE DEBE ESTAR PRESENTE EN TODO PUESTO DE TRABAJO. BAJO DETERMINADAS CIRCUNSTANCIAS PUEDE UTILIZARSE TAMBIÉN COMO TÉCNICA DE CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS

PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS POR EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS LOS CRITERIOS DE VENTILACIÓN DEL REGLAMENTO DE LUGARES DE TRABAJO NO SON ADECUADOS, Y DEBERÁN VERSE INCREMENTADOS



Las cortinas de aire son un sistema alternativo a las barreras físicas, consisten en la creación de chorros de aire verticales con impulsión y aspiración alrededor de una máquina o proceso con el objeto de evitar la dispersión de los contaminantes generados al resto del local, se trata de una barrera invisible como las utilizadas en las entradas de los grandes almacenes para evitar la fuga de aire acondicionado por la puerta e impedir la entrada de aire exterior no tratado.

En todo caso el uso de chorros de aire, en sus diferentes modalidades, no es una técnica que tenga muchos adeptos para el control de exposiciones a agentes químicos. Su principal inconveniente reside en que no evita la contaminación, simplemente la dirige hacia otro lugar donde pueda ser controlada o donde no haya personas, y siempre tiene el riesgo de que un mal funcionamiento accidental o no previsto provoque una falta de control de la exposición. Su utilización combinada con otras medidas puede ser lo más eficaz.

Cabinas de control

En algunos casos puede acudir a la ubicación de los trabajadores en un recinto anexo al de producción debidamente protegido. Así se hace, por ejemplo, cuando una maquinaria contaminante requiere una supervisión que puede efectuarse normalmente a distancia. En este caso, cuando los trabajadores salen del recinto protegido deben emplear EPI.

Acciones sobre los métodos de trabajo

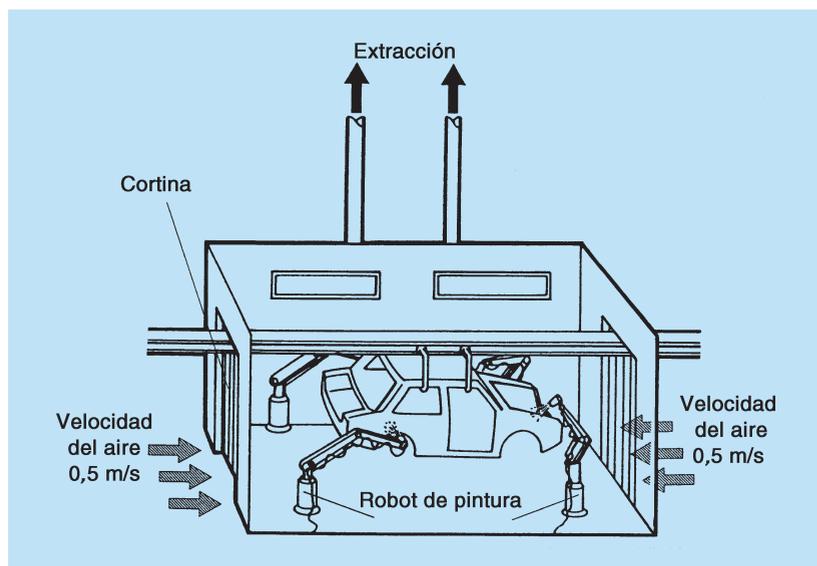
Los procedimientos de trabajo que entrañan peligro pueden eliminarse mediante automatización, robotización o control remoto.

Automatización

De hecho muchas mejoras en las condiciones de trabajo obtenidas en los últimos años se deben a este tipo de acciones. La robotización de las operaciones de soldadura y pintura en la industria del automóvil es el ejemplo típico, pero también lo son la automatización de los procesos de dosificación y mezcla de componentes o los brazos manipuladores para la carga y extracción de piezas en los procesos de moldeo o extrusión de plásticos y muchos otros.

El problema reside en que el robot o la automatización también tienen riesgos, quizá no de exposición a agentes químicos pero sí de seguridad o ergonomía, que deben ser analizados y corregidos.

LA AUTOMATIZACIÓN DE TAREAS NORMALMENTE CONLLEVA LA ELIMINACIÓN DE EXPOSICIONES A AGENTES QUÍMICOS, AUNQUE PUEDE OCASIONAR OTROS RIESGOS



Buenas prácticas de trabajo

Trabajar de forma que se eviten emisiones es algo que parece natural y lógico. Las buenas prácticas de trabajo en este contexto significan comportamientos tales como mantener los recipientes cerrados, utilizar los instrumentos adecuados para evitar derrames en los trasvases, realizar las operaciones en las cabinas o en el radio de acción de las aspiraciones dispuestas a tal fin, mantener cerradas las tapas de depósitos o baños cuando no es imprescindible que estén abiertas y comportamientos similares. No obstante, la observación cotidiana de muchos lugares de trabajo indica que eso que parece natural y lógico quizá no lo sea.

CUANDO SE DISEÑAN PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO LA FASE CLAVE ES LA PUESTA EN PRÁCTICA. LOS PROCEDIMIENTOS QUE NO SE PRACTICAN NO SON PROCEDIMIENTOS BIEN DISEÑADOS

La primera condición a exigir a un procedimiento de trabajo es que sea seguro. Si se detecta que un procedimiento de trabajo lleva a exposiciones peligrosas, o simplemente innecesarias, debe ser modificado. El defecto más habitual al elaborar procedimientos de trabajo es olvidar la aplicabilidad; no es suficiente disponer de un procedimiento de trabajo escrito, la fase clave es ponerlo en práctica, y para ello es necesario un proceso de información, formación y motivación. El trabajador debe ser consciente de los riesgos asociados a su trabajo, debe saber cómo puede evitarlos, someterse a un periodo de aprendizaje y conocer las consecuencias de no usar los medios preventivos puestos a su disposición.

Formación e información

Las acciones de formación e información son imprescindibles en este campo como en tantos otros, y no sólo en lo referente al aprendizaje de buenas prácticas de trabajo.

Las exposiciones a agentes químicos son en muchos casos indetectables mediante los órganos de los sentidos: no se oyen, no se ven, no se notan y, en muchos casos, no se huelen. Tampoco tienen un efecto apreciable inmediato (nadie aprecia los primeros daños que sufre el hígado o el cerebro al inicio de cualquier exposición). Sólo el trabajador informado puede por tanto reconocer la importancia de las medidas preventivas.

La obligatoriedad de la información (junto con la de consulta y participación de los trabajadores) está claramente establecida en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, y en particular, en el RD 374/2001 sobre la prevención de los riesgos derivados de la presencia de agentes químicos en el lugar de trabajo.

LA LEGISLACIÓN ESTABLECE QUE LOS AGENTES QUÍMICOS DEBEN ESTAR CORRECTAMENTE ETIQUETADOS EN TODO MOMENTO Y QUE LOS TRABAJADORES DEBEN TENER ACCESO AL CONTENIDO DE LAS FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Esta información ha de concretarse, al menos, en dos medidas específicas:

En primer lugar, los productos químicos han de recibirse etiquetados según la normativa vigente, es decir, indicando claramente los riesgos y las medidas preventivas a adoptar.

En segundo lugar, han de entregarse a los trabajadores las hojas de seguridad de cada producto, hojas en las que se amplía la información que, debido a la falta de espacio, sólo puede estar resumida en la etiqueta. Esta información debe suministrarla el fabricante o el comercializador del producto.

La formación es tan necesaria como la información. No es suficiente conocer cuáles son los riesgos, hay que saber cómo actuar frente a ellos. La Ley de Prevención de Riesgos Laborales también lo establece claramente en el artículo 19: *“...el empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación teórica y práctica, suficiente y adecuada, en materia preventiva, tanto en el momento de su contratación, cualquiera que sea la modalidad o duración de ésta, como cuando se produzcan cambios en las funciones que desempeñe o se introduzcan nuevas tecnologías o cambios en los equipos de trabajo...”*.

Convendría recordar que el objetivo de la formación entendida como técnica preventiva no es impartir conocimientos (eso es informar), sino lograr un cambio de comportamiento. Conseguir este objetivo requiere, además de las acciones de los expertos en formación, el compromiso de los mandos para vigi-

lar y exigir el cumplimiento de las normas y también la actitud de los mandos para identificar y reconocer que en muchas ocasiones el incumplimiento de normas o procedimientos no es consecuencia de una desidia inherente al trabajador sino que las normas y procedimientos de trabajo que se pretende aplicar son difíciles de cumplir, por su contenido o debido a los condicionantes del entorno.

EL OBJETIVO DE LA FORMACIÓN COMO TÉCNICA PREVENTIVA ES LOGRAR UN CAMBIO DE ACTITUDES

Mantener vigentes normas incumplibles y empeñarse en recordar su cumplimiento puede ser útil para identificar a los culpables cuando ocurre un hecho no deseado, pero su eficacia preventiva es nula y, por tanto, deben ser modificadas.

Reducción del tiempo de exposición

Puesto que reduciendo el tiempo de exposición, a igualdad de todo lo demás, se reduce el riesgo, teóricamente es posible recurrir a la rotación de puestos de trabajo. En la práctica esta solución no suele funcionar demasiado bien: nadie quiere compartir un “mal puesto”, y aparecen otro tipo de problemas. Por otra parte, la posibilidad de distribuir un trabajo entre varias personas es más teórica que real, siempre hay bajas o permisos que cubrir, incidencias en la producción que obligan a programar horas extras, cambios de turnos inducidos por los propios trabajadores, etc. Si el control de las exposiciones se basa en una rotación de puestos o en una disminución de horario, paralelamente han de ponerse en marcha los sistemas de control administrativo que aseguren que el reparto del tiempo de exposición va a producirse realmente para que el control sea eficaz.

La visión global de las técnicas de control de riesgos higiénicos que se han expuesto hasta aquí pretendía citar todo el conjunto de posibilidades dando unos criterios de aplicabilidad muy generales. Ya se ha señalado que la implantación de cualquiera de las técnicas citadas requiere, normalmente, la colaboración de especialistas de ramas muy diversas y procedimientos de trabajo que pueden ser complejos, por ello no se ha pretendido profundizar en cada técnica de forma individual.

No obstante hay tres técnicas que son actualmente de uso muy frecuente y por ello se considera conveniente exponerlas con más detalle, ante la seguridad de que cualquier técnico de prevención de riesgos laborales deberá acometer la aplicación de alguna de ellas para solucionar un problema de control de riesgos higiénicos. Estas técnicas son: la ventilación general, la extracción localizada y los equipos de protección individual.

Consideración final

VENTILACIÓN GENERAL

Cuando en una nave industrial se observa en el aire la presencia de humos, polvo u otros contaminantes, es frecuente recurrir a la instalación de “extractores” en las paredes o el techo. A este tipo de ventilación se le denomina “ventilación general”, porque pretende reducir el nivel de contaminación renovando globalmente el aire del local.

El fundamento físico de esta técnica consiste en mezclar el aire contaminado presente en las proximidades del foco de generación con aire limpio, con la finalidad de obtener concentraciones más bajas. Por este motivo también se identifica esta técnica con el nombre de “ventilación por dilución”. Es evidente que un sistema de estas características no permite controlar con exactitud la concentración de contaminante que habrá en los distintos puestos de trabajo y, por ello, no se recomienda su empleo cuando el contaminante en cuestión es muy tóxico.

La ventilación general debe considerarse adecuada únicamente en aquellos casos en que los contaminantes son de baja toxicidad, su generación ocurre en muchos puntos del local y se encuentran en pequeñas concentraciones. Es, pues, el método a emplear en aquellos locales en los que se pretende básicamente eliminar el aire viciado, como en oficinas, talleres de confección, etc.

LA VENTILACIÓN GENERAL ES ADECUADA EN AQUELLOS LOCALES EN LOS QUE SE PRETENDE BÁSICAMENTE ELIMINAR EL AIRE VICIADO Y NO CONTAMINANTES DE ELEVADA TOXICIDAD

El Reglamento de lugares de trabajo establece que la renovación mínima del aire en los locales de trabajo será de 30 metros cúbicos de aire limpio por hora y trabajador, en el caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco, y de 50 metros cúbicos por hora y trabajador en los demás casos a fin de evitar el aire viciado y los olores desagradables.

Por otra parte el Reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE) contiene recomendaciones sobre las tasas de ventilación necesarias para distintos locales destinados a usos sociales (restaurantes, cocinas, gimnasios, escuelas, teatros, etc.).

Hay que tener presente que ambos reglamentos tienen sus ámbitos de aplicación y que por lo tanto las cifras que indican, aparte de ser de obligado cumplimiento, son valores mínimos y no valores que aseguren ausencia de contaminación en cualquier circunstancia. Es tarea del técnico prevencionista decidir si la ventilación general es una técnica adecuada en un caso concreto y en ese supuesto indicar cuál es el valor correcto de la tasa de ventilación para lograr un objetivo predeterminado, que en

nuestro caso es la ausencia de riesgo por exposición a agentes químicos.

Cuando se proyecta una ventilación general con el objetivo de controlar exposiciones a agentes químicos se deben respetar unos principios básicos que, si no son tenidos en cuenta, la hacen completamente ineficaz como técnica de control. Son los que se exponen a continuación.

Control de exposiciones con ventilación general

Entradas de aire

Ha de preverse el sistema a través del cual el aire que se extrae será sustituido por aire limpio. En otras palabras, han de instalarse entradas y salidas de aire. De no hacerse así, los extractores pierden gran parte de su eficacia y, aunque giren y hagan ruido, mueven menos aire del previsto.

Esta premisa tiene más importancia de la que aparenta. Es muy habitual que durante la época fría se cierren puertas y ventanas de los talleres para evitar bajas temperaturas en el local, con la consecuencia de impedir una ventilación correcta. La frase “cierra la puerta que hay corriente” describe muy bien la situación, pero con la puerta cerrada no hay ventilación, se evita el frío pero se incrementa la exposición a agentes químicos. Resulta obvio que no se trata de una elección entre exposición o frío, es un problema de falta de calefacción o, dicho en términos más técnicos: el uso de ventilación general para evitar un riesgo de exposición a agentes químicos implica prever los costes de calefacción y puede resultar muy cara.

CUANDO SE EXTRAE AIRE DE UN LOCAL DEBE PREVERSE LA ENTRADA DE AIRE QUE COMPENSE EL CAUDAL DE SALIDA

Una regla aplicable para la disposición más habitual (ventiladores que extraen aire del local y entradas a través de superficies abiertas) es que el tamaño total de las aberturas en metros cuadrados debe ser superior al caudal de aire expresado en metros cúbicos por hora dividido por 4.000, y que estas aberturas deben permanecer abiertas continuamente para asegurar una correcta ventilación.

CUANDO SE DISEÑA UNA VENTILACIÓN GENERAL HAY QUE PREVER LA POTENCIA DE CALEFACCIÓN O DE FRÍO NECESARIA

Situación de los extractores

Los extractores han de distribuirse más o menos uniformemente por todo el local, al igual que las entradas de aire. Si no se hace así, unas zonas estarán mucho más ventiladas que otras (quizá incluso en exceso, provocando corrientes de aire molestas).

Caudal de ventilación

Cuando se pretenda reducir la concentración de un contaminante específico, debe tenerse en cuenta que el caudal de aire a extraer ha de ser función de la cantidad de contaminante que se genera, es decir, la cantidad de contaminante que pasa al aire en forma de vapor o aerosol. Las cantidades de aire recomendadas son muy variables según el contaminante de que se trate. En el caso de disolventes, dichas cantidades oscilan entre 400 y 5.000 metros cúbicos de aire a extraer por cada litro de disolvente evaporado, siendo necesario consultar cada caso concreto.

El cálculo del caudal necesario para controlar exposiciones a agentes químicos puede efectuarse empleando la siguiente expresión:

$$Q = K \frac{G}{C}$$

siendo

Q: el caudal de ventilación a emplear en m³/h.

G: la cantidad de contaminante que se genera (disolvente evaporado, por ejemplo) en mg/h.

C: la concentración admisible en el ambiente, en mg/m³.

K: el coeficiente cuyo valor oscila entre 1 y 10. El valor concreto a emplear depende de la duración del proceso, la proximidad de los trabajadores al foco de contaminación, la situación de las entradas y salidas del aire, etc.

Como se puede observar el caudal de ventilación es directamente proporcional a la velocidad de generación de contaminante e inversamente proporcional a la concentración deseada, que son las dos variables que condicionan el proceso de dilución.

Para la aplicación de esta fórmula al caso de disolventes es conveniente hacer un cambio de unidades. Normalmente la concentración deseada se expresa en ppm y no en unidades másicas, y para determinar la velocidad de generación es más fácil disponer del dato de volumen de disolvente líquido evaporado. Con estos cambios la ecuación anterior se transforma en:

$$Q = V \cdot K \frac{d \cdot 24 \cdot 10^6}{M \cdot VL}$$

siendo

Q: el caudal de ventilación a emplear en m³/h.

K: tiene el mismo significado que en la expresión anterior.

V: la velocidad de evaporación del disolvente (l/h).

D: la densidad del líquido (kg/l).

24: el volumen molar del vapor a 20 °C (l/mol).

M: el peso molecular de la sustancia (g/mol).

VL: el valor límite de la sustancia (ppm)

En la tabla se indican los algunos valores de Q/(VK) que representan el volumen de aire necesario en m³ por cada litro de disolvente evaporado para conseguir la concentración que se indica. Estos valores se deben multiplicar por los litros de disolvente evaporado por hora y por el factor K para obtener el caudal necesario de ventilación.

Sustancia	Valor límite (ppm)	Cantidad de aire necesaria (m ³) para diluir un litro de disolvente evaporado
Acetona	500	660
Tolueno	50	4.500
Xileno	50	3.900
Alcohol etílico	1.000	420
Dietiléter	100	2.300

En caso de existir más de un contaminante la estimación del caudal requiere tener en cuenta este hecho. La regla a seguir es:

- estimar el caudal necesario para cada contaminante en función de sus velocidades de generación,
- si los contaminantes tienen efectos aditivos, el caudal necesario será la suma de los valores individuales,
- si los contaminantes tienen efectos independientes, se elegirá el mayor de todos ellos.

CUANDO DOS O MÁS CONTAMINANTES TIENEN EFECTOS ADITIVOS, EL CAUDAL TOTAL NECESARIO SERÁ LA SUMA DE LOS CAUDALES REQUERIDOS PARA CADA COMPONENTE

Situación de las tomas de aire y descargas

Es necesario asegurar que el aire contaminado que se extrae no vuelve a introducirse en el local a través de las aberturas de admisión de aire fresco, y que las tomas de aire exterior están ubicadas en zonas no contaminadas.

Distribución del aire

Los puntos de extracción y admisión de aire deben estar situados de tal forma que el aire pase a través de la zona conta-



minada. El trabajador debe estar situado entre la entrada de aire y el foco contaminante.

¿Caudal o renovaciones por hora?

Una incorrección muy habitual es especificar la ventilación de un local en términos de renovaciones por hora, que es el número de veces que se cambia todo el aire contenido en el local en una hora. Numéricamente equivale al cociente de dividir el caudal de aire limpio (m^3/h) por el volumen del local (m^3). Es un procedimiento intrínsecamente incorrecto, la cantidad de aire necesaria para eliminar de un local el producto químico presente en el ambiente depende de la cantidad de producto químico generado, no del volumen total de aire que pueda haber en el local. Por ello la forma correcta de indicar una tasa de ventilación es en unidades de volumen de aire por unidad de tiempo y por unidad de generación de contaminante: $\text{m}^3/(\text{h y persona})$ o $\text{m}^3/(\text{h y litro evaporado})$, nunca por unidad de volumen del local.

LA FORMA DE EXPRESAR LA TASA DE VENTILACIÓN EN RENOVACIONES POR HORA ES INCORRECTA. LA TASA DE VENTILACIÓN DEBE INDICARSE EN UNIDADES DE VOLUMEN POR UNIDAD DE TIEMPO Y POR UNIDAD DE GENERACIÓN DE CONTAMINANTE

Por ejemplo, en un taller dedicado a la restauración de cuadros en el que se estima que la evaporación de tolueno (disolvente) es de 2 l/h, y donde atendiendo a los factores del local se aconseja un valor para el coeficiente K de 6, el caudal de ventilación necesario será de:

$$Q = \frac{24 \cdot 10^6 \cdot 0,87 \cdot 2}{92,1 \cdot 50} = 54.400 \cdot \text{m}^3/\text{h}$$

independientemente de cuál sea el volumen del taller. Si el taller tiene un volumen de 1.800 m^3 , la cifra anterior implica 30 renovaciones por hora, cifra muy superior a los valores recomendados por los manuales que todavía manejan esta incorrección (suelen aconsejar entre 10 y 20 renovaciones por hora para talleres); pero si el local tuviese 18.000 m^3 entonces se tendrían 3 renovaciones por hora, que en criterio de esos manuales es un valor muy bajo. Tanto en un caso como en otro el caudal de ventilación es el correcto (ni excesivo, ni escaso), siguiendo recomendaciones poco serias se habría aconsejado en el mejor de los casos 20 renovaciones por hora (o sea $36.000 \text{ m}^3/\text{h}$) para el local pequeño, que es insuficiente y por tanto con poca eficacia preventiva, o bien de 10 renovaciones por hora (o sea $180.000 \text{ m}^3/\text{h}$) en el local grande que resulta excesivo y por tanto con un derroche de energía innecesario.

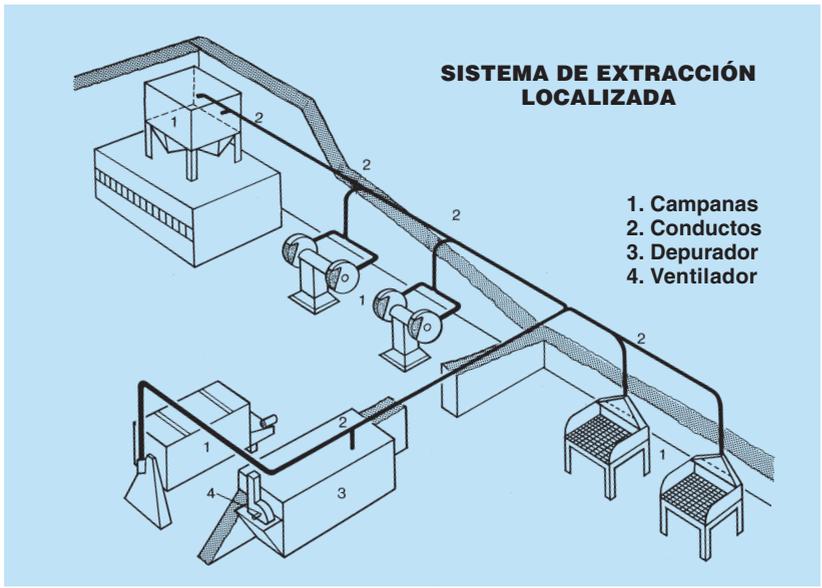
EXTRACCIÓN LOCALIZADA

La ventilación localizada, también llamada extracción localizada, tiene como objetivo captar el contaminante en la vecindad inmediata del punto donde se ha generado (el foco contaminante), evitando así que se difunda al ambiente general del local.

Los sistemas de extracción localizada constan de cuatro elementos principales:

- a) Campana: es la parte del sistema a través de la cual son efectivamente captados los contaminantes. Aunque su forma puede ser muy diversa, a todas se les da el nombre genérico de “campanas”.
- b) Conductos: desde la campana, el aire extraído cargado de contaminante circula a través de una serie de conductos hasta llegar al depurador.
- c) Depurador: Aunque no siempre se instala, la protección del medio ambiente exige que todo sistema de extracción localizada disponga de un depurador que separe el contaminante del aire y expulse únicamente al exterior aire limpio.
- d) Ventilador: Como es evidente, para que el aire circule a través de la campana, los conductos y el depurador, es necesario que en el sistema exista un ventilador (extractor) que proporcione la energía necesaria para ello.

UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA ES EFICAZ CUANDO ALREDEDOR DEL FOCO DE GENERACIÓN LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTE NO SUPERA UN DETERMINADO NIVEL PREVIAMENTE ESTABLECIDO



Decir que un sistema de extracción localizada funciona correctamente equivale a decir que, en las inmediaciones del foco del cual se pretende captar el contaminante emitido, la concentración del contaminante se encuentra al nivel que había previsto el diseñador. Se dice entonces que el sistema de extracción es eficaz.

Campanas de extracción

La mayor o menor eficacia de un sistema de extracción localizada depende de su capacidad para producir una corriente de aire suficientemente elevada en los puntos donde se genera el contaminante. Si esta velocidad es demasiado pequeña, parte del contaminante será arrastrado por las corrientes de aire que existen en todo local de trabajo y dispersada hacia el medio ambiente. Si, en cambio, la velocidad es demasiado elevada, la eficacia será grande, pero a costa de consumir demasiada energía, generar un ruido excesivo y, quizá, provocar corrientes de aire molestas.

Dinámica de los contaminantes

Cuando un agente químico pasa al aire en forma de vapor o de partículas su comportamiento dinámico es algo diferente al que se puede esperar de forma intuitiva.

La mayoría de gases y vapores son más pesados que el aire cuando se encuentran en estado puro. Una mezcla de aire y vapor en condiciones de saturación, como la que puede existir sobre la superficie de un tanque abierto, es posible que sea más pesada que el aire y que tenga tendencia a dirigirse hacia el suelo por la acción de la gravedad. Sin embargo, los fenómenos de mezcla y dilución con el aire hacen que, tan pronto como se aleja de la fuente de generación, la mezcla de aire y vapor tenga una densidad muy parecida a la del aire y por tanto los efectos de la gravedad sean despreciables. En la tabla se indican las densidades relativas con respecto al aire puro de diferentes sustancias contaminantes.

Algo similar ocurre con las partículas sólidas y líquidas, la impresión intuitiva dice que deben caer por la acción de la gravedad. No obstante, cuando se trata de partículas de pequeño tamaño (del orden de micras de diámetro), la fuerza de arrastre del aire es mucho mayor que la fuerza de la gravedad y la consecuencia es que las partículas se mueven siguiendo las corrientes de aire, y la acción de la atracción terrestre es despreciable. Un ejemplo conocido por todos son los penachos de humo que están constituidos por partículas suspendidas en aire, estos penachos son ascendentes debido al arrastre del flujo de aire caliente más ligero que el aire ambiente. En la tabla se indican los valores relativos de la fuerza de atracción de la gravedad y de la

Sustancia	DENSIDAD RESPECTO AL AIRE			
	Vapor puro	Mezcla saturada a 20°C	Concentración en aire de 1000 ppm	Concentración en aire de 100 ppm
Acetona	2	1,2434	1,0010	1,0001
Tolueno	3,2	1,0637	1,0022	1,0002
n-hexano	3	1,3132	1,0020	1,0002
Xileno	3,7	1,0355	1,0027	1,0003
Tricloroetileno	4,5	1,2763	1,0035	1,0004

fuerza de arrastre de una corriente de aire para partículas de densidad 2.700 kg/m³ (polvo ordinario) y 7.200 kg/m³ (polvo metálico) en la que se puede observar el efecto descrito.

Velocidad de captura

Es la velocidad necesaria para conseguir el arrastre del aire contaminado hacia la campana de aspiración. Su valor depende de las condiciones en que se genera el contaminante y el estado de movimiento del aire en esa zona. Lógicamente cuanto mayor sea la agitación del aire mayor deberá ser la velocidad de captura, ya que tiene que “dominar” al movimiento de aire existente para conseguir el efecto de arrastre.

NORMALMENTE, LOS CONTAMINANTES, TAL Y COMO SE PRESENTAN EN EL AMBIENTE (PARTÍCULAS FINAS, GASES O VAPORES), NO TIENEN MOVIMIENTO PROPIO Y SIGUEN EL MOVIMIENTO DE LAS CORRIENTES DE AIRE DEL LOCAL

Un factor que, aunque parezca paradójico, tiene poca influencia para decidir sobre la velocidad de captura es la toxicidad del contaminante. Si se analiza el comportamiento de una extracción localizada esta consecuencia es lógica, ya que el efecto de arrastre vendrá condicionado por las propiedades físicas del contaminante (densidad, forma, tamaño) y del movimiento del

DENSIDAD DE LA PARTÍCULA 2.700 kg/m ³				
Fuerza de arrastre/fuerza gravedad				
Tamaño (micras)	Velocidad del aire (m/s)			
	0,2	0,5	1	2
1	5,4	13,5	54,3	217,4
5	1,1	2,7	10,7	43,4
10	0,5	1,3	5,4	21,7

DENSIDAD DE LA PARTÍCULA 7.200 kg/m ³				
Fuerza de arrastre/fuerza gravedad				
Tamaño (micras)	Velocidad del aire (m/s)			
	0,2	0,5	1	2
1	2,0	12,7	50,9	203,8
5	0,4	2,5	10,1	40,7
10	0,2	1,2	5,1	20,3

LA VELOCIDAD NECESARIA PARA ARRASTRAR EL AIRE CONTAMINADO HACIA LA CAMPANA DE EXTRACCIÓN DEPENDE DE LOS MOVIMIENTOS DEL AIRE EN LA ZONA Y DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CONTAMINANTE, Y NO DE SU TOXICIDAD

aire en la zona y no por sus propiedades químicas o toxicológicas. En otras palabras: si una campana de aspiración es capaz de captar una niebla de vapor de agua también captará, y con la misma eficacia, una niebla de ácido crómico. También este hecho tiene sus implicaciones en el diseño, ya que una extracción localiza-

da diseñada para captar el polvo que se genera en un molino determinado tendrá la misma eficacia tanto si se muele piedra caliza como si es óxido de plomo.

La eficacia es el único aspecto en que interviene la toxicidad del contaminante. Si el contaminante del que se pretende proteger es muy tóxico, es obligado recurrir a diseños más eficaces, lo que en términos de velocidad de captura significa valores más elevados tal como se indica en la tabla.

VELOCIDADES DE CAPTURA RECOMENDADAS	
Condiciones de generación del contaminante	Velocidad de captura m/s
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo. <i>Ejemplos: Evaporación desde depósitos, desengrase, etc.</i>	0,25 – 0,5
Liberado a baja velocidad en aire con movimiento moderado. <i>Ejemplos: Cabinas de pintura, llenado intermitente de recipientes, transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad, soldadura, pasivado, recubrimientos superficiales.</i>	0,5 – 1
Liberado con velocidad en aire con movimiento. <i>Ejemplos: Cabinas de pintura poco profundas, llenado de barriles, carga de cintas transportadoras, machacadoras.</i>	1 – 2,5
Liberado a alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire. <i>Ejemplos: Desbarbado, chorreado abrasivo, desmoldeo en fundiciones.</i>	2,5 – 10 (requiere análisis particulares)

Diseño de la campana

La forma, el tamaño y la situación de la campana respecto al punto o zona en la que se genera la contaminación son aspectos que condicionan de forma decisiva la eficacia de todo el sistema de captación. Los criterios a tener en cuenta para diseñar una campana son:

- a) La campana debe tener un tamaño comparable al del foco

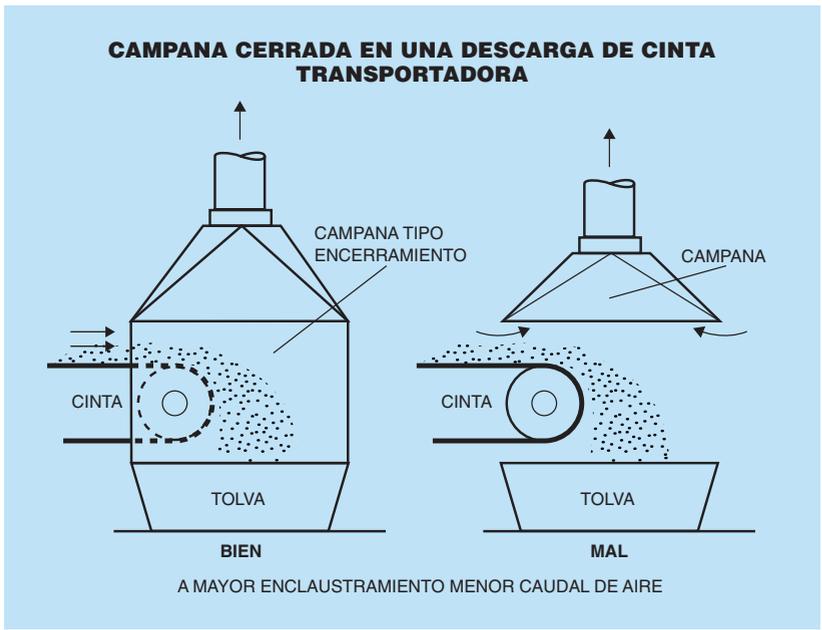
de generación y rodear al foco el máximo posible compatible con la tarea a realizar.

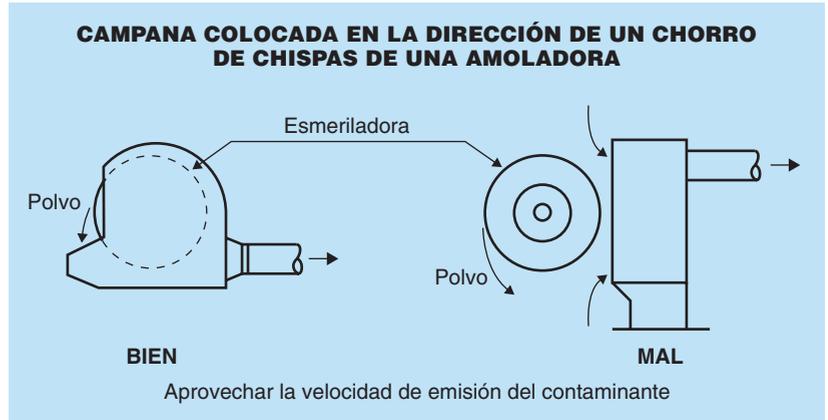
b) Si ello no es posible, la campana puede estar apartada del foco pero la distancia debe ser la menor posible. Por lo general es muy difícil conseguir campanas eficaces si la distancia al foco de generación es superior a la dimensión de la campana. Por ejemplo, no es razonable suponer que una campana de 20 por 20 cm pueda ser eficaz a distancias mayores de 20 cm.

c) Si en el foco de generación existe una corriente de aire dominante, es conveniente situar la campana en esa dirección. Por ejemplo, si el foco está a temperatura elevada es conveniente situar la campana por encima del foco para aprovechar el flujo ascendente, o si el contaminante es proyectado (caso de una muela o una sierra de cinta), es conveniente situar la campana en la dirección de la proyección.

UNA CAMPANA DE EXTRACCIÓN DEBE ENCERRAR EL FOCO AL MÁXIMO, O ESTAR SITUADA CERCA DE ÉL, Y TENER UN TAMAÑO PARECIDO AL DEL FOCO

d) El caudal de aspiración debe ser el suficiente para generar la velocidad de captura. La combinación de tamaño de la campana, distancia al foco y velocidad de captura determinan el caudal a utilizar. La integración de todos estos factores lleva a la consecuencia de que el parámetro de diseño, y de control, más significativo de una campana es el caudal de aspiración y no la velocidad medida en la entrada a la campana.





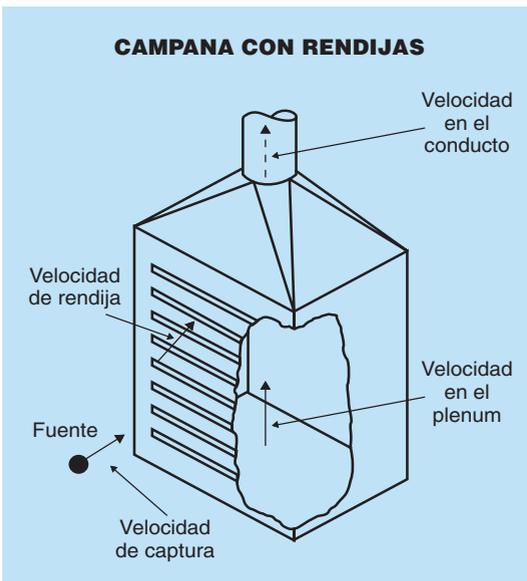
En los manuales especializados se pueden encontrar formas y diseños de campanas especialmente pensadas para los procesos y máquinas habituales en los talleres de producción, tales como cabinas para pintura, vitrinas de laboratorio, maquinaria de molturación, transporte y envasado de materiales sólidos, operaciones con metal y madera, etc.

En la tabla se indican las fórmulas de cálculo del caudal recomendadas para campanas simples.

Distribución de la aspiración

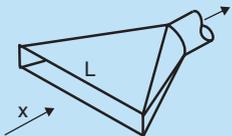
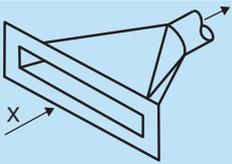
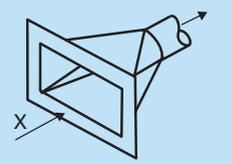
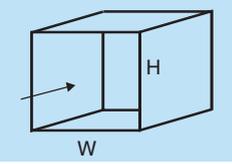
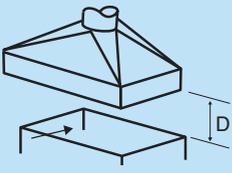
Para que una campana funcione correctamente es necesario que el aire aspirado se distribuya de la forma más uniforme posible en toda la superficie de aspiración. Lograr este resultado es complicado en campanas de gran tamaño (superiores a 1 m) a menos que se adopten precauciones especiales. La solución más habitual es disponer algún tipo de obstrucción al paso del aire en la entrada, generalmente en forma de rendijas u orificios, para forzar

una velocidad elevada seguido de una zona en la que el aire circula a menos velocidad, llamada pleno. La combinación de rendijas y pleno sólo tiene el efecto de distribuir el aire aspirado en toda la superficie de aspiración, pero no modifica el caudal necesario en la campana para lograr la captación.



Conductos

El aire aspirado por la campana o campanas se conduce a través de una red de conductos hasta el ventilador. Los criterios para seleccionar los conductos son de tipo mecánico (resisten-

TIPOS DE CAMPANAS Y FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL			
Tipo de campana	Descripción	Razón W/L	Caudal
	Rendija	0,2 o menos	$Q = 3,7 LVX$
	Rendija rebordeada ⁽¹⁾	0,2 o menos	$Q = 2,8 LVX$
	Abertura plana	0,2 o más y redonda	$Q = V (10 X^2 + A)$ A = Superficie de la cara
	Abertura plana ⁽¹⁾	0,2 o más y redonda	$Q = 0,75 V (10 X^2 + A)$
	Cabina	Según trabajo	$Q = VA = VWH$
	Campana de techo	Según trabajo	$Q = 1,4 PDV$ P = Perímetro D = Altura

⁽¹⁾ Anchura baffles 10 — 12 cm

cia frente a los agentes químicos presentes, resistencia mecánica a la abrasión, solidez y durabilidad) y funcionales. En este segundo grupo se incluyen las consideraciones relativas al tamaño y al mantenimiento.

Tamaño de los conductos

El tamaño de un conducto se selecciona atendiendo a un compromiso entre coste de instalación y coste de funcionamien-

to. Puesto que el caudal que debe circular por el conducto es un dato conocido (es el caudal que se aspira en la campana), se puede optar entre un conducto de pequeño diámetro en el que el aire circule a gran velocidad o bien un conducto de mayor diámetro pero con menor velocidad del aire. La primera opción tiene la ventaja del menor coste, menor ocupación de espacio y mayor facilidad de montaje y mantenimiento, pero el inconveniente de un mayor consumo de energía durante el funcionamiento. La segunda opción tiene las ventajas e inconvenientes opuestos. Además, en el caso de que el aire vehicule materia particulada (polvo, fibras o nieblas) hay que tener presente que una velocidad baja propiciará la acumulación de partículas en el interior obligando a limpiezas más frecuentes. Este conjunto de consideraciones ha llevado a una serie de recomendaciones aplicables a la velocidad del aire en los conductos que se indican en la tabla.

VELOCIDADES EN CONDUCTO RECOMENDADAS	
Tipo de contaminación del aire	Velocidad en el conducto (m/s)
Gases y vapores	Cualquiera. La velocidad óptima económica suele ser entre 5 y 10 m/s
Humos	10 – 12,5 m/s
Polvo muy fino y nieblas	12,5 – 15 m/s
Polvo industrial ordinario	15 – 18 m/s
Polvo grueso y pesado	18 – 22 m/s

Mantenimiento de la red de conductos

Independientemente de que se diseñen adecuadamente, los conductos se ensucian y sufren deterioros con el paso del tiempo. Ello lleva a la necesidad de una revisión y limpieza periódicas que implica la existencia de puertas de inspección y la previsión de los accesorios necesarios para la limpieza (puertas de acceso, utensilios o instrumentos para limpiar, sistema de recogida del polvo, grifos de drenaje para purga de líquidos, etc.). Todos estos accesorios son fáciles de construir y montar cuando se hace la instalación, pero casi imposible cuando una instalación ya está construida. La previsión es el concepto clave. Lo normal es que una instalación en la que no se ha previsto la limpieza no se limpie nunca y tenga grandes dificultades de fun-

LA REVISIÓN PERIÓDICA PARA DETECTAR ROTURAS Y LA LIMPIEZA SON OPERACIONES OBLIGADAS PARA MANTENER EN BUEN USO LA RED CONDUCTOS DE ASPIRACIÓN

do se hace la instalación, pero casi imposible cuando una instalación ya está construida. La previsión es el concepto clave. Lo normal es que una instalación en la que no se ha previsto la limpieza no se limpie nunca y tenga grandes dificultades de fun-

cionamiento que pueden llegar a la inoperatividad al cabo de pocos años.

Contrariamente a lo que a veces se imagina, un ventilador no es una máquina que, una vez en marcha, aspire un cierto caudal fijo de aire. A esta creencia errónea contribuye sin duda el hecho de que los fabricantes coloquen en el ventilador una placa de características en la que, normalmente, se indica el caudal máximo. Éste es el caudal que el ventilador es capaz de dar cuando se pone en marcha sin tener conectada ninguna tubería. Cuando se conecta a una conducción, el caudal es tanto menor cuanto mayor sea la resistencia que oponga la conducción al paso del aire. Seleccionar un ventilador requiere conocer el caudal que debe vehicular y la resistencia que debe vencer que se conoce como la pérdida de carga de la conducción.

Los procedimientos detallados para estimar o medir las pérdidas de carga de una conducción exceden de los límites de este texto, pero lo que es intuitivo es que la pérdida de carga aumenta si aumenta la longitud de la conducción, si aumenta la velocidad a la que circula el aire por la conducción y si los cambios de dirección son más bruscos. Para un mismo caudal una pérdida de carga mayor se traduce en un mayor consumo de energía en el ventilador, de ahí el interés en diseñar la red de conductos de forma que presente la menor resistencia posible, es decir, con una longitud lo menor posible, a la velocidad menor compatible con un buen funcionamiento, con los codos de gran radio de giro, uniones y cambios de sección graduales, etc.

Ventilador

UN VENTILADOR ES UNA MÁQUINA "A MEDIDA DE LA INSTALACIÓN" Y SU SELECCIÓN ES UNA DE LAS TAREAS CRÍTICAS DEL DISEÑADOR DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA

El grado de eficacia de un sistema de extracción localizada no es algo que se pueda juzgar sin disponer de instrumentos de medida. Lo que sí debe exigírsele es que consiga concentraciones seguras en el puesto de trabajo. Sin embargo, existen unas cuantas reglas sencillas que permiten detectar cuándo un sistema es probable que sea ineficaz. Y son:

- a) Un sistema debe ser diseñado y construido por un técnico competente. La mayor parte de empresas no disponen del mismo en su plantilla, por lo que el recurso a una empresa exterior es imprescindible en la mayor parte de los casos.
- b) Al encargar el proyecto, debe especificarse la concentración ambiental que se desea conseguir en cada puesto de trabajo. Si no se hace así, y lo que se especifica, por ejemplo, es el caudal a extraer, no podrán exigirse después al proveedor

Evaluación de la eficacia

las modificaciones necesarias si el sistema no tiene la eficacia debida.

c) Los codos y uniones de conductos deben ser “suaves”, sin brusquedades. La existencia de estas brusquedades es síntoma de mal diseño o construcción.

d) Si se emplea un tubo generador de humo en cualquiera de los puntos donde se libera el contaminante, el humo debe ser aspirado claramente hacia la campana. Si se observan volutas o “rebufos” que no se dirigen hacia la campana, es probable que la cantidad de aire que se aspira sea insuficiente para arrastrar todo el contaminante que se produce.

e) Los técnicos de la empresa deben verificar periódicamente que el sistema sigue funcionando con la misma eficacia que cuando era nuevo. Es muy frecuente que los sistemas de ventilación no sean mantenidos con el mismo esmero que el resto de máquinas e instalaciones y cuando su eficacia disminuye nadie se da cuenta. Un procedimiento muy útil para esta función es disponer manómetros de medida de la presión en lugares seleccionados de la instalación (campanas y entrada al ventilador); las lecturas de estos manómetros y, sobre todo, su variación a lo largo del tiempo, proporcionan una información muy útil para saber si el sistema sigue funcionando como el primer día o ha experimentado alteraciones.

f) Cuando a un sistema ya construido y que funciona correctamente se le añaden nuevas conducciones para eliminar la contaminación producida por una nueva máquina o proceso, lo probable es que no funcione correctamente ni la parte nueva ni la antigua. Una ampliación requiere un replanteo de todo el sistema de ventilación y no debe realizarse si no es bajo la supervisión de un experto en ventilación.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Un Equipo de Protección Individual (EPI) es cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que lo proteja de uno o varios riesgos, que puedan amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin. Se excluye la ropa de trabajo corriente, pero no la que ofrece protección.

La excepcionalidad del uso del EPI se expresa en el RD 773/1997, donde figura que *“los EPI deberán utilizarse cuando los riesgos no se puedan evitar o no puedan limitarse suficientemente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas, métodos o procedimientos de organización del trabajo”*. Esta dis-

posición impide el uso de EPI como sistema de control de aplicación indiscriminada y le da validez para operaciones y tareas típicas de mantenimiento y reparación, o localizadas en lugares donde el espacio o el proceso no permiten la adaptación de sistemas de prevención colectiva, como por ejemplo limpieza ocasional y trabajos en espacios confinados. También es admisible la utilización de EPI como complemento de otras medidas de prevención colectivas, ya existentes.

LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI) SON ADECUADOS PARA PROTEGER EN SITUACIONES ESPORÁDICAS, DE CORTA DURACIÓN O EN CASOS DE EMERGENCIA

Las sustancias químicas pueden penetrar en el organismo, fundamentalmente, a través de las vías respiratorias o por absorción dérmica. Por este motivo, las protecciones personales respiratorias, los guantes y los trajes de protección frente a sustancias químicas son los tipos de EPI que se describen en este apartado.

Para garantizar la idoneidad y la calidad de los EPI el RD 1407/1992, exige *“que garantice la salud y la seguridad de los usuarios sin poner en peligro la salud ni la seguridad de las demás personas”* para lo que deberán identificarse con la marca CE, que el fabricante colocará sobre ellos y en su embalaje. Asimismo el fabricante tiene la obligación de entregar al usuario un folleto informativo donde se expliquen las prestaciones del equipo y la correcta utilización y conservación del equipo.

TODO EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL DEBER TENER LA MARCA CE

Los EPI de vías respiratorias tienen como finalidad evitar que el contaminante presente en el aire pueda llegar al trabajador por la vía respiratoria. Pueden ser independientes o dependientes del medio ambiente.

EPI de vías respiratorias

Los equipos independientes del medio suministran aire respirable proveniente de depósitos portátiles (autónomos) o a través de una línea de suministro o mangueras (semiautónomos). Cuando no está garantizado que el aire del ambiente de trabajo contenga oxígeno suficiente para la respiración o cuando la concentración ambiental del contaminante es próxima o supera el valor IPVS, es imprescindible el uso de EPI de vías respiratorias independientes del medio. Estos equipos también deben utilizarse en operaciones que impliquen exposiciones, aunque sean de corta duración, a productos cancerígenos.

Los equipos dependientes del medio ambiente filtran el aire reteniendo el

UN EPI DE VÍAS RESPIRATORIAS DEPENDIENTE DEL MEDIO SÓLO ELIMINA LOS CONTAMINANTES DEL AIRE Y NO PROTEGE CONTRA LA DEFICIENCIA DE OXÍGENO

contaminante de forma que la concentración de éste en el aire que respira el trabajador sea mínima.

Los fabricantes suelen indicar en los folletos informativos el factor de protección de cada equipo concreto. Este factor es la cifra por la que se debe multiplicar el valor límite de la sustancia para obtener la concentración ambiental máxima a la que se puede usar el equipo. Normalmente son cifras obtenidas en ensayos y por tanto la eficacia real será generalmente inferior a la indicada.

Elementos de un EPI de vías respiratorias

En su diseño más habitual los EPI de vías respiratorias tienen un adaptador facial cuya misión es ajustarse a la nariz y la boca, logrando la separación física completa entre la zona respiratoria del trabajador y el medio ambiente. El adaptador facial se denomina máscara cuando cubre además de las vías respiratorias parte de la cara y los ojos, se denomina mascarilla o semimáscara cuando sólo cubre nariz y boca, y se denomina

EL ADAPTADOR FACIAL PROPORCIONA LA ESTANQUEIDAD NECESARIA ENTRE LAS VÍAS RESPIRATORIAS Y EL MEDIO AMBIENTE

boquilla cuando la respiración se produce a través de un sistema que sólo se ajusta a la boca y dispone de una pinza para evitar la respiración nasal.

El adaptador facial no siempre está presente, existen EPI cuyo diseño se basa en cascos o capuchas con suministro de aire respirable a través de una línea de aire comprimido o que disponen de un sistema de aporte de aire filtrado.

Los EPI de vías respiratorias dependientes del medio disponen no sólo del adaptador facial, sino también de un sistema de filtrado del aire (filtros y accesorios). Algunos EPI constituyen en una sola pieza el adaptador facial y el sistema de filtrado (mascarillas autofiltrantes).

Los EPI de vías respiratorias independientes del medio están constituidos por el adaptador facial y el sistema de generación, almacenaje y suministro de aire respirable.

Clasificación de los EPI de vías respiratorias

Los EPI dependientes del medio se clasifican, atendiendo a la clase de filtrado del aire que proporcionan, en los siguientes tipos, que se muestran en la tabla.

En general los equipos independientes proporcionan mayor protección que los dependientes ya que los defectos de estanqueidad son menos probables y además existe la garantía de un suministro de aire. A cambio tienen los problemas debidos a su mayor complejidad. Es importante cuidar que el suministro de

CLASIFICACIÓN DE LOS EPI DE VÍAS RESPIRATORIAS

DEPENDIENTES DEL MEDIO AMBIENTE	Equipos filtrantes contra partículas	Filtro contra partículas + adaptador facial
		Mascarilla autofiltrante contra partículas
		Equipo filtrante contra partículas asistido por ventilador
	Equipos filtrantes contra gases y vapores	Filtro para gases + adaptador facial
		Mascarilla autofiltrante contra gases y vapores
	Equipos filtrantes contra partículas, gases y vapores	Filtro combinado + adaptador facial
Mascarilla autofiltrante contra partículas, gases y vapores		
INDEPENDIENTES DEL MEDIO AMBIENTE	Semiautónomos	De manguera: sin asistencia, manualmente asistidos, asistidos con ventilador
		De aire comprimido: de flujo continuo, a demanda, a demanda de presión positiva
	Autónomos	De circuito abierto: de aire comprimido, de aire comprimido a demanda con presión positiva
		De circuito cerrado: de oxígeno comprimido, de oxígeno líquido, de generación de oxígeno

aire sea respirable, es decir, que provenga de botellas de aire comprimido para uso como aire respirable o de compresores diseñados específicamente para producir aire respirable (compresores sin aceite). La norma UNE-EN-132:1999 “Definiciones de términos y pictogramas en equipos de protección respiratoria”, define la composición del aire respirable.

Eficacia de los filtros para partículas

La norma UNE-EN 143:2001 “Equipos de protección respiratoria. Filtros contra partículas. Requisitos, ensayos, marcado”, describe los requisitos y ensayos a que deben someterse los filtros contra partículas y establece una clasificación en tres categorías denominadas P1, P2 y P3, de menor a mayor eficacia de filtración, que se muestra en la tabla.

Denominación	Tipo de partículas	Retención	Tamaño aproximado de las partículas retenidas
P1	Partículas sólidas	80%	>1 µm
P2	Partículas sólidas y líquidas	94%	0,3-1 µm
P3	Partículas sólidas y líquidas	99,95%	<0,3 µm

La eficacia de filtración indica el porcentaje de retención del filtro cuando se hace pasar a su través un aerosol de partículas de un tamaño definido en el ensayo, y no es una indicación de la eficacia frente a cualquier aerosol de cualquier tamaño. En la práctica la eficacia global de un EPI no depende sólo del filtro: la estanqueidad del adaptador facial, las penetraciones de aire a través de las válvulas o de los elementos de unión de las piezas y el ajuste a la cara del individuo son factores que afectan a la eficacia global del protector.

Una regla práctica puede ser la siguiente:

- En el supuesto de concentraciones ambientales no demasiado elevadas con respecto al valor límite (hasta 10 veces):
 - Frente a un aerosol de polvo ordinario (partículas generadas por disgregación mecánica) es suficiente un filtro tipo P1.
 - Si el aerosol es de gotas (nieblas) conviene usar un filtro tipo P2.
 - Finalmente frente a humos (partículas extremadamente finas generadas en un proceso térmico) es conveniente usar un filtro P3.
- Si la concentración es elevada (hasta 20 veces el valor límite) se debe usar el filtro de eficacia superior.
- Para concentraciones superiores el uso de equipos dependientes del medio no es recomendable. En todo caso conviene estudiar las indicaciones del folleto informativo.

Eficacia de los filtros para gases y vapores

La norma UNE-EN 14387:2004 sobre *Equipos de protección respiratoria contra gases y filtros combinados. Requisitos, ensayo, marcado*, define los requisitos y ensayos aplicables a los filtros para gases y vapores, y los clasifica atendiendo a dos criterios: las sustancias que eliminan y su capacidad de retención. Hay que tener en cuenta que a diferencia de los filtros contra partículas, que son inespecíficos, los filtros contra gases son específicos, es decir, un filtro sólo elimina determinado tipo de sustancias. Los tipos de filtro se muestran en la tabla.

Los filtros de tipo A, B, E y K se clasifican, según su capacidad, en clase 1, 2 o 3 de menor a mayor capacidad, tal y como se muestra en la siguiente tabla. La capacidad es una medida de la cantidad de contaminante que el filtro es capaz de retener antes de alcanzar la saturación. En principio cuanto mayor es la clase de un filtro mayor es la protección que proporciona, aunque también en este caso es necesario recurrir a las informaciones proporcionadas por el fabricante para disponer de datos fiables de un filtro concreto.

TIPOS DE FILTROS PARA PARTÍCULAS, GASES Y VAPORES

Tipo	Color	Eficacia frente a:
P	Blanco	Gases y vapores orgánicos de punto de ebullición > 65 °C ¹
A	Marrón	Gases y vapores orgánicos de punto de ebullición > 65 °C ¹
AX	Marrón	Gases y vapores orgánicos de punto de ebullición < 65 °C ¹
B	Gris	Gases y vapores inorgánicos ¹
E	Amarillo	SO ₂ y otros gases y vapores ácidos ¹
K	Verde	NH ₃ y derivados del NH ₃ ¹
NO-P3 ²	Azul-blanco	Óxidos de nitrógeno
Hg-P3 ²	Rojo-blanco	Mercurio (tiempo máximo de uso: 50 min)
SX, marcado con el nombre del compuesto químico	Violeta o violeta-blanco (si se combina con filtro de partículas)	Filtros frente a sustancias específicas ¹

¹La indicación "según especificación del fabricante" se refiere al hecho de que el fabricante debe especificar para qué sustancias o compuestos concretos es indicado el filtro.

²La indicación P3 en los filtros contra óxidos de nitrógeno y mercurio se debe a que estos filtros siempre tienen que llevar incorporado un filtro de partículas de eficacia P3.

CLASE	CAPACIDAD		
	Denominación	Protección	Máxima concentración (ppm)
1	Baja	10-VLA	100
2	Media	100-VLA	5.000
3	Alta	1.000-VLA	10.000

Normativa técnica de los EPI de vías respiratorias

El funcionamiento o utilización incorrecta de los EPI de vías respiratorias puede poner en peligro la vida o la salud de los usuarios. Por este motivo está considerado como EPI de clase 3 y su fabricación, control de calidad y comercialización está sometida a certificación por un organismo acreditado.

Para prevenir el contacto con sustancias o productos químicos evitando tanto los daños inmediatos al contacto como la posible absorción dérmica de las sustancias químicas, se utilizan guantes, ropas de protección y pantallas o gafas.

EPI contra riesgos de contacto o penetración dérmica

Guantes de protección

No todos los materiales con los que se confeccionan los guantes son impermeables a todas las sustancias, debido a esto debe elegirse el guante en función de los compuestos químicos que se manipulan. En la tabla, se muestra el nivel de protección de 6 tipos de guantes frente a diversos agentes químicos.

La certificación y marcado CE exigen que los guantes ofrezcan una determinada resistencia a la tracción y perforación además de la resistencia al paso de la sustancia química.

La normativa técnica existente al respecto clasifica los guantes contra productos químicos con un "Índice de protección" en una escala del 1 al 6 (1 es la menor y 6 la mayor) según la resistencia que proporciona el guante a la permeación de un producto químico determinado. Como es lógico los Índices de Protección se indican para un mismo guante frente a distintas sustancias o familias de sustancias y no tienen porqué ser iguales.

Gafas y pantallas

Un caso particular de la protección dérmica es la protección ocular y facial. Cuando el protector sólo protege los ojos se habla de gafas de protección. Si además de los ojos, el equipo protege parte o la totalidad de la cara u otras zonas de la cabeza se habla de pantallas de protección.

En la actualidad se dispone de una serie de Normas Europeas Armonizadas para los EPI de protección ocular y facial. Aunque todas ellas hacen referencia a los requisitos mecánicos y ópticos, no lo hacen a la protección frente a salpicaduras de productos químicos. Conviene consultar las Normas UNE-EN165:2006 y 166:2002 ("Protección individual de los ojos. Vocabulario y Especificaciones", respectivamente), en las que se describen los diferentes tipos de gafas y pantallas así como los significados de las marcas de seguridad.

Los riesgos de tipo higiénico que pueden protegerse con estos EPI son básicamente los de salpicaduras de productos químicos. Si el riesgo es debido a la presencia en el ambiente de gases o aerosoles irritantes de las mucosas, el EPI adecuado será uno de protección de vías respiratorias con adaptador facial tipo máscara.

Para proteger adecuadamente frente a salpicaduras las gafas deben ser de montura integral o de cazoleta para que proteja también de las salpicaduras laterales. Los oculares deben ser ópticamente neutros y con resistencia mecánica adecuada. Para la mayor parte de casos es suficiente un EPI con resistencia mecánica incrementada (marca S según norma UNE-EN 166:2002) o con resistencia a impactos de baja energía (marca F).

CARACTERÍSTICAS DE LOS GUANTES DE PROTECCIÓN**COMPOSICIÓN DE LOS GUANTES**

COMPUESTO QUÍMICO	COMPOSICIÓN DE LOS GUANTES					
	Caucho natural o látex	Neo-preno	Buna-n (nitrilo)	Butilo	PVC	PVA
Ácidos inorgánicos						
Ácido crómico	M	R	R	B	B	M
Ácido clorhídrico 38%	B	E	B	B	E	M
Ácido fluorhídrico 48%	B	E	B	B	B	M
Ácido fosfórico	B	E	B	B	B	M
Ácido nítrico 70%	M	B	I	B	R	M
Ácido nítrico fumante (Humos rojos)	NC	I	I	NC	I	M
Ácido nítrico fumante (Humos amarillos)	NC	I	I	NC	I	M
Ácido sulfúrico 95%	E	E	R	B	R	M
Ácidos orgánicos						
Ácido acético	E	E	B	B	B	M
Ácido fórmico	E	E	R	B	E	I
Alcoholes						
Alcohol butílico	E	E	B	B	B	R
Alcohol etílico	E	E	B	B	B	R
Alcohol metílico	E	E	B	B	B	R
Aldehidos						
Acetaldehido	B	E	B	B	B	R
Benzaldehido	R	R	R	B	R	B
Formaldehido	E	E	B	B	B	I
Cáusticos						
Hidróxido de amonio	E	E	B	B	E	M
Hidróxido de potasio 50%	E	E	B	B	B	M
Hidróxido de sodio 50%	E	E	B	B	B	M
Aminas						
Anilina	R	R	B	B	B	R
Dietilamina	R	B	E	NC	R	R
Hidracina	B	R	B	NC	B	M
Disolventes aromáticos						
Benzol	M	I	B	NC	I	E
Destilados de alquitrán de hulla	M	R	B	NC	R	E
Estireno	M	R	B	NC	I	E
Tolueno	M	M	E	M	B	E
Xileno	M	I	B	R	M	E

Continúa en la página siguiente

COMPUESTO QUÍMICO	COMPOSICIÓN DE LOS GUANTES					
	Caucho natural o látex	Neo-preno	Buna-n (nitrilo)	Butilo	PVC	PVA
Disolventes acetonas						
Acetona	E	B	I	B	I	R
Metil etil cetona	E	B	R	B	M	E
Metil isobutil cetona	E	B	R	B	R	B
Disolventes clorados						
Cloroformo	M	B	B	R	M	E
Cloruro de metilo	R	B	B	NC	M	E
Percloroetileno	M	M	B	M	M	E
Tetracloruro de carbono	M	R	B	M	R	E
Tricloroetileno t.c.e.	M	B	B	NC	M	E
Disolventes derivados del petróleo						
Hexano	M	R	E	NC	R	E
Keroseno	M	B	E	M	R	E
Pentano	R	B	E	M	M	E
Disolventes varios						
Acetato de etilo	I	B	B	B	M	I
Acetato de propilo	B	B	B	B	I	B
Acilonitrilo	B	B	R	B	I	E
Bromuro de metilo	R	B	B	NC	M	E
Disolventes de pintura	R	B	B	NC	R	E
Freón 11, 12, 21, 22	M	B	I	NC	R	E
Otros productos						
Aceite de corte	I	E	B	M	B	R
Baños electrolíticos	E	E	B	I	E	M
Barniz para madera (tung oil)	M	B	B	NC	R	E
Decapantes para pintura y barnices	R	B	B	NC	M	B
Diisocianato de tolueno	B	R	B	NC	M	B
Disulfuro de carbono	M	R	B	M	R	E
Etilenoglicol	E	E	B	B	B	B
Glicerina	E	B	B	B	E	R
Grasas animales	E	B	B	NC	B	E
Peróxido de hidrógeno 50% (Agua oxig.)	B	B	B	B	R	I
Resinas de époxi	E	E	B	B	E	E
Tintas de imprimir	B	E	E	NC	I	E
Trinitrotolueno	B	B	B	B	E	E
Trementina	M	B	E	M	B	E
E = excelente R = regular M = malo B = bueno I = inferior NC = no comprobado						

Ropas de protección

Conviene no confundir la ropa o uniforme de trabajo con un EPI. La ropa de trabajo proporcionan una protección muy limitada frente a los productos químicos, mientras que los EPI están fabricados con materiales impermeables y cuidando la estanqueidad de las costuras y de los cierres.

Al igual que en el caso de los guantes, un traje o prenda de protección es específico para una sustancia o familia de sustancias y para cada combinación prenda/sustancia se define un Índice de protección entre el valor 1 (menor protección) hasta el 6 (mayor protección) basado en la resistencia a la permeación del material utilizado en la confección de la prenda.

Para los trajes de protección existe además una clasificación basada en la hermeticidad del traje que no debe confundirse con la anterior. Esta clasificación de tipo se indica mediante un número que va desde el tipo 1, aplicable a trajes de confección completamente hermética incluso para gases y vapores, hasta el tipo 6, aplicable a trajes no herméticos con protección limitada frente a salpicaduras de productos químicos líquidos. Hay que señalar que este orden de numeración de tipos de traje es inverso al de la protección frente a la permeación, siendo el traje de tipo 1 el que más protege y el de tipo 6 el que menos.

Toda la normativa técnica actualizada sobre equipos de protección individual respiratoria, guantes, gafas, pantallas y ropas de protección se puede consultar en la página *web* del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (www.mtas.es/insh).

La utilización de los EPI requiere una cierta organización desde su adquisición hasta su desecho y sustitución, que se podría resumir en las siguientes acciones:

Utilización de los EPI

Comprobación de su calidad (marcado CE)

Los EPI de protección de vías respiratorias son de clase 3 y los de protección de piel, cara y ojos son de clase 2. Esto significa que todos ellos deben estar sometidos a un proceso de certificación por parte de un organismo independiente acreditado de acuerdo con las disposiciones de RD 1407/1992. Los fabricantes de EPI de clase 3 deben además someter su proceso de fabricación o los equipos fabricados a un control de calidad externo. El cumplimiento de estos requisitos se manifiesta mediante el marcado CE que deben incluir los fabricantes en sus productos y sus embalajes. No está permitida la comercialización de EPI que no dispongan de este marcado.

REQUISITOS DE CERTIFICACIÓN Y MARCADO (RD 1407/1992)

a) Para todas las categorías:

Antes de comercializar el EPI, el fabricante debe:

- a) reunir la documentación técnica que se indica en el Anexo III,
- b) elaborar declaración de conformidad de la producción según modelo del Anexo VI,
- c) marcado "CE" y folleto explicativo obligatorios.

b) Para categoría 1:

Autocertificación del fabricante.

c) Para categorías 2 y 3:

Precisan certificado CE de tipo, expedido por un organismo de control.

d) Para categoría 3:

La fabricación del EPI está sometida a la adopción por parte del fabricante de uno de los dos sistemas de garantía de calidad CE que se exponen en el art. 9 del Real Decreto 1407/1992.

Desde el punto de vista del comprador y/o usuario de un EPI lo más significativo de esta regulación es la obligación que tienen los fabricantes de incluir un folleto informativo en el que se especifiquen las prestaciones del equipo y las normas de uso, comprobación y mantenimiento. Este folleto es el documento base para poder planificar el uso del EPI.

Un EPI protege de determinados riesgos, no de todos, y es obligación del usuario conocer los riesgos existentes y decidir sobre la idoneidad de un EPI determinado. Por ejemplo, un EPI de vías respiratorias dependiente del medio es posible que no sea adecuado para realizar trabajos de limpieza en lugares confinados ya que no está garantizado que el contenido en oxígeno sea suficiente. También es posible que un filtro no ofrezca el grado de protección suficiente para realizar un trabajo en un lugar muy contaminado.

Consulta con los destinatarios o sus representantes

Es imperativo consultar con los usuarios o sus representantes la adquisición de un determinado EPI y las condiciones de uso del mismo. Además de esta obligación formal el hecho de establecer una consulta tiene una componente preventiva importante; en efecto, para que un EPI proteja es imprescindible que se use y es más fácil evitar el rechazo al uso si en el proceso de selección se hace intervenir al usuario que si se establece su uso por la vía de la imposición.

EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE UN EPI
DEBE INCLUIRSE LA CONSULTA A LOS
TRABAJADORES O SUS REPRESENTANTES

Obligatoriedad del uso

Conviene recordar que, cuando se planifica que la protección frente a un riesgo sea proporcionada por un EPI, el uso del EPI es obligatorio y que el empresario debe velar por el uso efectivo del EPI, no se trata en estas circunstancias de un acto voluntario, ni de un derecho al que se pueda renunciar.

Esta circunstancia obliga a que se especifique claramente en qué puestos o en qué tareas se debe usar un EPI, y esta información debe llegar a todos los posibles afectados por la medida y también a los trabajadores de empresas ajenas que puedan

verse afectados. El uso de señalización es obligatorio y puede ayudar en este sentido, pero no basta: el objetivo es que todo trabajador que deba usar un EPI para protegerse sea consciente de ello y lo use.

EL EMPRESARIO DEBE VELAR POR EL USO EFECTIVO DE LOS EPI CUANDO ES UN ELEMENTO DECISIVO EN LA PROTECCIÓN DE LA SEGURIDAD O SALUD DEL TRABAJADOR

Formación sobre el modo de usar los EPI

Los usuarios deben ser entrenados sobre la forma de usar el equipo. Colocarse correctamente una máscara requiere cierta habilidad, así como reemplazar un filtro. Incluso los guantes, que parece que no tienen truco, ya que todo el mundo sabe ponerse unos guantes, pero no todos saben quitárselos sin tocarlos con las manos.

Almacenamiento entre usos

Un defecto muy habitual es guardar los EPI en el mismo lugar de trabajo, sin adoptar ninguna medida especial. La consecuencia es que el EPI puede contaminarse y convertirse en un foco de contacto en vez de un medio de protección. Los guantes sucios por dentro, los mandiles empapados de aceite, las máscaras llenas de polvo, son ejemplos de EPI que han dejado de serlo y con el inconveniente de que el usuario piensa que está protegido.

El folleto informativo del fabricante contiene instrucciones sobre el procedimiento a seguir para la limpieza y almacenamiento del EPI entre usos, pero como reglas generales se pueden citar:

- Hay que limpiar los EPI después de cada uso fuera de los lugares de trabajo.
- Para la limpieza no se deben usar métodos o productos agresivos que los puedan dañar.
- Se deben guardar en cajas o bolsas limpias en lugares no contaminados.

Mantenimiento de los EPI

Como todo equipo un EPI tiene una vida limitada que depende de su tipo y de su uso. Los fabricantes dan indicaciones para determinar cuándo un EPI ha llegado al final de su vida útil. También es una buena práctica conservar un EPI original sin usar con el que se puedan comparar otros para determinar su deterioro de forma visual; este método es muy útil para los guantes, no tanto para los filtros de protección de vías respiratorias.

El fin de la vida útil de un filtro de partículas se detecta cuando el esfuerzo necesario para respirar es excesivo. Los fil-

tros contra gases y vapores orgánicos pueden tener indicadores colorimétricos para señalar su agotamiento y en muchos casos se puede detectar este hecho porque los vapores y gases se detectan por el sentido del olfato, de forma que, al apreciarse la más leve presencia del contaminante, el filtro debe ser sustituido.

Se pueden hacer ensayos para comprobar la estanqueidad de un adaptador facial, por ejemplo, nebulizar una solución azucarada frente al usuario, y si éste detecta un sabor dulce es indicativo de que el adaptador no es hermético o de que el filtro está dañado.

Los EPI de vías respiratorias independientes del medio son, por su propia naturaleza, más complejos, y su mantenimiento, comprobaciones periódicas y cuidados deben encargarse a un especialista.

Si se tiene en cuenta que del buen estado del EPI depende en muchas ocasiones la seguridad de una persona es evidente que el capítulo de comprobación periódica y mantenimiento de los EPI es algo muy importante.

Agentes cancerígenos y mutágenos

4

CÁNCER LABORAL: ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El cáncer como enfermedad profesional se conoce desde hace más de 200 años. El primer antecedente del que se tiene constancia data de 1775. Sir Percival Pott, un médico inglés, observó un incremento de cáncer de escroto entre los deshollinadores de chimeneas de Londres. Describió que tal enfermedad podía ser debida a la exposición al hollín. Hoy en día, se conoce que los hidrocarburos aromáticos policíclicos, presentes en la composición del hollín, son sustancias carcinógenas.

A este primer hallazgo de cáncer de origen laboral le han seguido otros hasta la actualidad. Se describió cáncer de escroto en trabajadores de fundiciones en París en el año 1822, presumiblemente debido a exposición a arsénico; cáncer de piel en trabajadores de una refinería en Escocia en el año 1876 (expuestos a aceites minerales), y una larga lista de estudios u observaciones referentes a cáncer de pulmón (exposición a amianto en una industria textil americana en 1935, un proceso de gasificación del carbón en una industria japonesa en 1936, exposición a arsénico en una fábrica inglesa en 1948, etc.). En la tabla de la página siguiente se muestran diversos agentes responsables de producir determinados tumores y el año de establecimiento de tal asociación.

Un episodio más reciente (1974) fue la aparición de varios casos de un tumor hepático, denominado angiosarcoma (de muy baja frecuencia en la población general), en trabajadores de la misma industria, dedicada a la producción de policloruro de vinilo. El proceso fue investigado y se llegó a la conclusión, apoyada por experimentación en laboratorio, de que la exposi-

**TIPOS DE CÁNCER (localizaciones),
AGENTES ASOCIADOS (sustancias o procesos químicos)
Y AÑO EN QUE FUE DESCRITA LA ASOCIACIÓN POR PRIMERA VEZ**

Vejiga urinaria	Aminas aromáticas (1895) Hidrocarburos aromáticos policíclicos (1989) Fabricación electrolítica de aluminio (1995) Refino del petróleo (1982)
Cavidad nasal	Formaldehído (1992) Nieblas de ácido sulfúrico (1952) Níquel y sus compuestos (1933) Zapateros e industria del calzado (1970)
Hígado	Cloruro de vinilo monómero (1974) Bifenilos policlorados (1974)
Laringe	Amianto (1935) Gas mostaza (1955) Nieblas de ácido sulfúrico (1952)
Neoplasias linfoides	1,3-Butadieno (1987) Benceno (1904) Industria del caucho (1960) Óxido de etileno (1979) Refino del petróleo (1982)
Mesoteliomas	Amianto (1935)
Piel	Aceites minerales (1922) Aceites de esquisto (1876) Arsénico (1822) Bifenilos policlorados (1974) Alquitranes y breas (1875) Hollín (1775) Refino del petróleo (1922)
Pulmón	Acrlonitrilo (1978) Amianto (1935) Arsénico (1822) Berilio y sus compuestos (1979) Bisclorometil-éter (1973) Cadmio y sus compuestos (1976) Cromo hexavalente (1948) Fabricación de vidrio (1987) Escapes de motores diesel (1983) Fundiciones (1977) Gas mostaza (1935) Gasificación carbón (1936) Minería subterránea de hematites (1956) Nieblas de ácido sulfúrico (1952) Pesticidas no arsenicales (1979) Pintores (1976) Producción aluminio (1981) Producción de coque (1971) Radón (1879) Sílice (1986) Talco asbestiforme (1979)

ción al monómero (cloruro de vinilo) era la causante de los tumores. Esta sustancia se encuentra en la actualidad clasificada como carcinógeno de acuerdo con la asociación demostrada con el angiosarcoma hepático.

Sin embargo, no siempre ha sido posible establecer relaciones causales de forma tan concluyente, bien porque un mismo tumor puede estar causado por distintos agentes o combinaciones de ellos, o bien porque la asociación, pese a existir, es mucho más débil (o, en otros términos: la dosis o tiempo de exposición necesarios para la manifestación del efecto son mucho mayores). Por este motivo, de todas las sustancias, familias químicas, procesos específicos o sectores de actividad que en algún u otro momento han sido sospechosos de causar cáncer, pocos están reconocidos indudablemente como carcinógenos. El proceso de evaluación que sigue a las sospechas iniciales sobre un carcinógeno es largo y requiere pruebas incontestables.

LA CLASIFICACIÓN COMO CARCINÓGENO DE UNA SUSTANCIA, COMPUESTO O ACTIVIDAD SÓLO ES POSIBLE DESPUÉS DE UN EXHAUSTIVO PROCESO DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL MISMO

En la actualidad, afortunadamente, no se dispone de grupos de trabajadores masivamente expuestos, como en los casos que se han citado antes, y la investigación sobre sustancias carcinógenas se encuentra proyectada hacia los ensayos con animales, estudios estructura-actividad y estudios epidemiológicos con niveles de exposición moderados. En el apartado “investigación sobre carcinogenicidad química” de este capítulo se comentarán algunos aspectos importantes sobre estos métodos.

El diccionario de la Real Academia Española considera válidos los términos cancerígeno y carcinógeno. El primero está compuesto de raíz latina y sufijo griego, mientras que el segundo es enteramente de origen griego. El Real Decreto 363/1995 sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, utiliza los dos términos indistintamente, mientras que el RD 665/1997 sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo (modificado por el RD 1124/2000 y por el RD 349/2003), utiliza exclusivamente el término cancerígeno.

PATOGÉNESIS DEL CÁNCER

En este apartado se describen simplificadaamente las teorías sobre el origen del cáncer y sus mecanismos de desarrollo (*pathos*: enfermedad, *genesis*: formación).

Los procesos cancerosos son el resultado de la interacción

entre el individuo y el entorno o, lo que es lo mismo, la interacción entre factores genéticos y factores externos al individuo pero estrechamente relacionados con él (dieta, hábitos tóxicos, exposiciones laborales, exposiciones medioambientales, etc.). Se estima que las causas genéticas del cáncer constituyen un 20% del total de cánceres, aunque su cuantificación es difícil teniendo precisamente en cuenta el papel de la interacción genético-ambiental. Por lo que se refiere a cáncer laboral, un estudio de 1981 ofreció una primera estimación sobre el porcentaje que representaría sobre el total de cánceres, el 5%. Otras estimaciones más recientes sugieren que esta cifra puede ser incluso mayor.

Los agentes carcinógenos son aquéllos capaces de producir tumores cancerosos, también denominados neoplasias. La complejidad de estos procesos es muy elevada y es objeto permanente de la investigación médica oncológica. Para comprender, de forma simplificada, en qué consiste el cáncer como enfermedad, así como los mecanismos de actuación de las sustancias que pueden provocarlo, es necesario referirnos a la estructura del material genético, punto de partida de todos los tumores cancerosos.

Estructura del material genético: ADN, genes y cromosomas

El ADN (ácido desoxirribonucleico) es una molécula que se encuentra dentro de las células de los seres vivos. Está constituida por una larga secuencia de nucleótidos (alrededor de 6.400 millones). Los nucleótidos, a su vez, están formados por cuatro moléculas denominadas bases nitrogenadas. La combinación de estas cuatro bases nitrogenadas (citosina, guanina, timina y adenina) determina secuencias específicas que tienen como misión codificar proteínas, unidades esenciales para todas las funciones celulares. En estas secuencias las unidades funcionales reciben el nombre de genes. En cada molécula de ADN existen millones de genes, aunque no todos contienen información útil. Los cromosomas son la estructura que adquiere el ADN cuando se “empaqueta” (de

EL ADN ES UNA MOLÉCULA CAPAZ DE DUPLICARSE, CONSTITUYENDO ESTA PROPIEDAD LA BASE DE LA REPRODUCCIÓN CELULAR

otro modo no cabría dentro de las células por ser una cadena tan larga). La molécula de ADN está constituida por dos cadenas enrolladas entre sí. Tiene la capacidad de duplicarse o copiarse, puesto que las bases nitrogenadas están emparejadas del modo adenina/timina y citosina/guanina y, por lo tanto, cuando las dos cadenas se separan cada una de ellas puede sintetizar su complementaria. Esta característica constituye la base de la duplicación celular.

Cuando una secuencia del ADN de un gen se ve alterada, se producen defectos en el ser vivo en la función específica que el gen codificaba. Las alteraciones pueden ser reversibles o irreversibles y, dentro de las irreversibles, pueden ser transmisibles genéticamente o no.

LOS MAYOR PARTE DE AGENTES CARCINÓGENOS PRODUCEN ALTERACIONES EN EL ADN (GENOTÓXICOS) POR LO QUE AFECTAN A LA REPRODUCCIÓN CELULAR Y PUEDEN GENERAR UN TUMOR

Los daños en el ADN pueden ser alteraciones de la secuencia (mutaciones puntuales, inserción de secuencias nuevas, eliminaciones de secuencias e intercambio de posición de secuencias) o bien alteraciones en el proceso de duplicación del ADN. Los agentes que provocan daños en el ADN se denominan agentes genotóxicos. Cuando estos cambios se producen en las células germinales son transmisibles hereditariamente. Los agentes que las producen se denominan mutagénicos. En consecuencia, los genotóxicos que provocan cambios en las células germinales (las encargadas de la reproducción de los seres vivos) son, más específicamente, agentes mutagénicos. La mayor parte de agentes mutagénicos son también carcinógenos y viceversa.

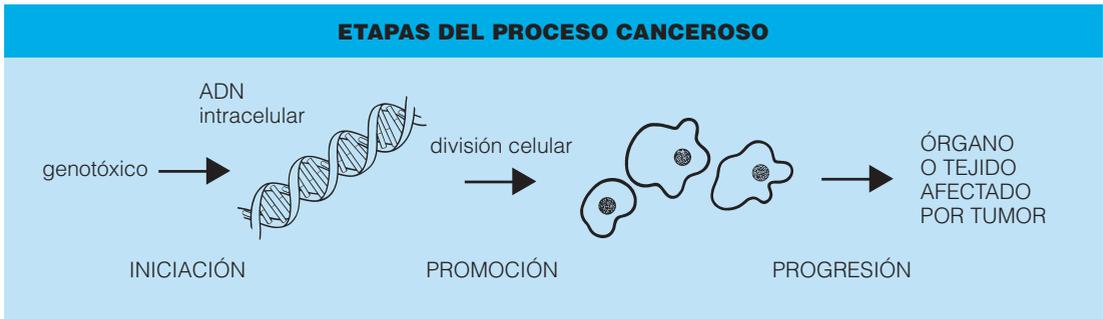
Los tóxicos para la reproducción (tóxicos para la fertilidad y tóxicos para el desarrollo) pueden actuar por mecanismos genotóxicos, esto es, induciendo modificaciones en los genes.

La acción carcinogénica de las sustancias puede proceder tanto mediante el daño a un gen normal que al verse alterado se transforma en un oncogén (activación de proto-oncogenes), o bien mediante la acción sobre un anti-oncogén (genes encargados de suprimir tumores).

Actualmente está aceptado que el cáncer es un proceso que se desarrolla en varias etapas, que de forma simplificada son:

Etapas del proceso canceroso

- *Iniciación*: se produce un daño en el ADN de una o varias células. Se trata de un proceso genotóxico e intracelular.
- *Promoción*: el daño se transmite mediante la reproducción



celular. Se trata de un proceso epigenético, puesto que el nivel de actuación es la célula como unidad y no los genes.

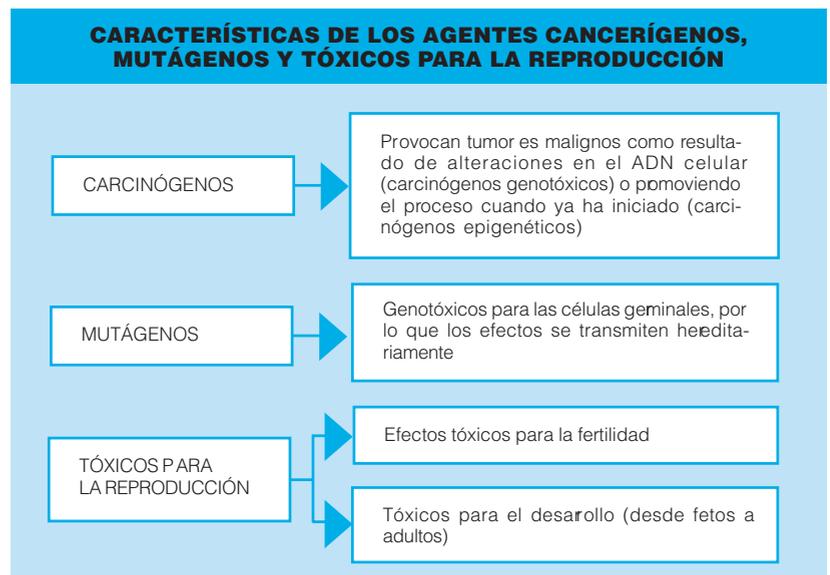
- *Progresión*: el proceso pasa del ámbito celular a su manifestación en los tejidos y órganos, con expansión física del tumor, capacidad invasiva y posible manifestación a distancia del punto de origen (metástasis).

Las tres etapas tienen un cierto grado de reversibilidad, que depende de muchos factores (tipo de genotóxico, tipo de enlace químico, acción simultánea de otros agentes). La etapa de iniciación, en general, muestra menor reversibilidad que la de promoción.

CARCINOGENESIS QUÍMICA Y SUS MECANISMOS DE ACTUACIÓN

De acuerdo con lo indicado en el apartado anterior, se pueden distinguir dos tipos de agentes carcinógenos según actúen en la primera o en la segunda fase del proceso de formación de un tumor:

- *Carcinógenos genotóxicos*: tóxicos para los genes, es decir, para el ADN. Actúan como iniciadores del proceso carcinogénico.
- *Carcinógenos epigenéticos*: provocan alteraciones de la regulación celular sin producir necesariamente una alteración de la secuencia de ADN. Actúan como promotores del proceso carcinogénico.



Los agentes que actúan solamente en una de las dos etapas se denominan *carcinógenos incompletos*, mientras los que lo hacen en las dos se denominan *carcinógenos completos*. Como ejemplo de la primera categoría se puede citar la familia química de las dioxinas, que actúan únicamente como promotores. Hasta hace poco se conocía solamente la capacidad promotora del amianto, puesto que en presencia de un iniciador (como el humo del tabaco) podía conducir a la aparición de mesotelioma pleural. Las pruebas *in vitro* no mostraban genotoxicidad. Sin embargo, actualmente la capacidad genotóxica del amianto se encuentra demostrada, por lo que es considerado un carcinógeno completo. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son otro ejemplo de carcinógenos completos puesto que se comportan como iniciadores y como promotores. Se denominan *agentes procarcinógenos* (o *carcinógenos secundarios*) aquellos que requieren modificaciones durante su metabolización para rendir una sustancia carcinógena, en contraposición a los *carcinógenos primarios*, que desarrollan sus efectos directamente sin necesidad de sufrir ninguna transformación bioquímica.

En la *fase de iniciación*, cuando se ha producido la unión del genotóxico con el ADN celular, las células afectadas pueden evolucionar de 4 formas distintas:

- El enlace químico entre el genotóxico y la molécula de ADN se destruye (es poco probable puesto que se trata de una etapa con bajo grado de reversibilidad).
- Los enlaces permanecen pero el enclave de ADN afectado no es determinante del inicio de un tumor (cabe recordar que aproximadamente el 95% del ADN no contiene información útil para codificar proteínas; es el denominado ADN basura).
- El enlace permanece pero el carcinógeno es además citotóxico y las células, a pesar de haber sido iniciadas, mueren por ser defectuosas.
- No se da ninguno de los casos anteriores. Las células iniciadas se reproducen y el proceso evoluciona hacia la fase de promoción.

En la *fase epigenética*, los mecanismos son muy diversos y complejos, siendo muchos de ellos desconocidos. Se sabe que un carcinógeno epigenético, tras exposición repetida y previa participación de un iniciador, es capaz de producir un tumor canceroso (promoción). Es el caso del “fenómeno del cuerpo extraño”, en el que una pieza de polímero o de fibra de vidrio implantada subcutáneamente puede generar una neoplasia, de iniciación espontánea o por la acción de un carcinógeno iniciador. Las inflamaciones crónicas de tejidos pueden desembocar también en procesos neoplásicos por mecanismos semejantes.

Los carcinógenos epigenéticos pueden clasificarse en:

- *Mitógenos*: estimulan la reproducción celular sin ser citotóxicos, por ejemplo: DDT (diclorodifeniltricloroetano), HCB (hexaclorobenceno), TCDD (2,3,7,8-tetraclorodibenzodioxina).
- *Citotóxicos*: producen estimulación para reemplazar las células, por ejemplo: CCl₄, tricloroetileno y tetracloroetileno.
- *Inmunosupresores*: su acción contribuye a la promoción del tumor, por ejemplo: PCBs (bifenilos policlorados).

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN DOSIS-RESPUESTA PARA AGENTES CARCINOGENÉTICOS

En el capítulo 2 se han descrito las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta para agentes químicos. Ambas relaciones describen una curva que expresa un aumento de la intensidad del efecto y de la respuesta, respectivamente, cuando la dosis se incrementa.

La evaluación de la *dosis-efecto de los carcinógenos* es un aspecto que ha sido ampliamente discutido en Toxicología e Higiene Industrial. El desarrollo de un cáncer es un efecto sobre la salud que no posee intensidad. Pueden darse solamente dos situaciones: el proceso se inicia o bien no se inicia, sin que exista un efecto intermedio. La interacción de una sola molécula de genotóxico con el enclave adecuado de una molécula de ADN supone la posibilidad de que el proceso canceroso se inicie. Por lo tanto, se dice que la iniciación de un tumor es un fenómeno probabilístico. Cuanta mayor sea la dosis suministrada, mayor es la probabilidad de que inicie el proceso (es decir, de que el genotóxico interactúe con el sitio adecuado de la molécula de ADN). No obstante, el efecto es el mismo independientemente de la dosis: el inicio de un proceso canceroso.

La implicación inmediata de este comportamiento probabilístico de la relación dosis-efecto es que la carcinogenicidad no dispone de un valor umbral para genotóxicos (o iniciadores). Esto imposibilita la recomendación de valores límite seguros. Los organismos que publican listas de carcinogenicidad lo hacen en relación con los efectos no-carcinógenos de las sustancias y simplemente asignan una notación específica a las sustancias cuando además producen o se sospecha que producen efectos carcinogénicos.

DEBIDO AL CARÁCTER PROBABILÍSTICO DE LA RELACIÓN DOSIS-EFECTO DE LOS CARCINOGENOS INICIADORES, NO EXISTE UN VALOR UMBRAL DE EXPOSICIÓN SEGURA

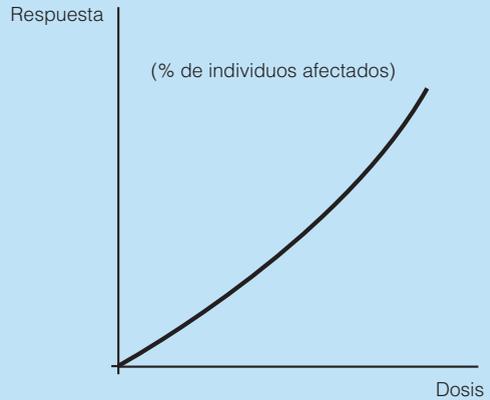
Actualmente existe consenso en la comunidad científica acerca de la no existencia de valor umbral para los carcinógenos iniciadores. Sin embargo, el acuerdo no es tan claro respecto a los carcinógenos epigenéticos. Parece ser que en esta fase del proceso carcinógeno sí se observa un incremento del efecto al incrementar la dosis (el fenómeno progresa proporcionalmente a la dosis suministrada). La elucidación de los mecanismos de acción epigenéticos es todavía objeto de investigación científica. Por ello, este apartado se ciñe únicamente a genotóxicos.

La relación dosis-respuesta de los carcinógenos es análoga a la definida para los agentes químicos generales: cuando aumenta la dosis aumenta el porcentaje de individuos afectados. Dentro de una población, la respuesta nos indica el porcentaje de individuos que desarrollan un cáncer habiendo estado expuestos a distintas dosis de sustancia tóxica. La respuesta aumenta (un número mayor de individuos desarrollan el tumor) cuando la exposición es más elevada mientras que, a bajas dosis, pocos individuos manifestarán un determinado tumor. Cabe destacar que sólo en ausencia del agente, la probabilidad de aparición de la enfermedad debida a exposición a ese agente es nula (aunque obviamente pueda aparecer por otras causas).

Otro factor importante a tener en cuenta en la respuesta de los individuos expuestos a un carcinógeno es su susceptibilidad genética. Algunos individuos, debido a características intrínsecas impresas en su material genético y previas a cualquier exposición, mostrarán una mayor predisposición a contraer una determinada enfermedad. Supongamos que un determinado cáncer se desarrollará solamente cuando concurren dos mutaciones específicas de forma simultánea. Un individuo con una de esas mutaciones presentes en sus genes no desarrollará de entrada la enfermedad, pero sí lo hará si un genotóxico actúa produciendo la segunda mutación. La misma exposición no bastará a un individuo sin ninguna de las dos mutaciones en sus genes, puesto que después de la exposición presentaría una sola mutación, insuficiente para desarrollar la enfermedad.

Los marcadores genéticos están siendo cada vez más usa-

DOSIS-RESPUESTA PARA CARCINÓGENOS



LA SUSCEPTIBILIDAD GENÉTICA ES UN FACTOR DETERMINANTE PARA LA APARICIÓN DE DETERMINADOS TIPOS DE CÁNCER

EL TIEMPO DE LATENCIA PARA LA APARICIÓN DE UN CÁNCER ES VARIABLE, DEPENDIENDO DE FACTORES COMO LA LOCALIZACIÓN, EL AGENTE CAUSANTE, EL TIPO DE EXPOSICIÓN, LAS CARACTERÍSTICAS DEL INDIVIDUO,...

dos para predecir la susceptibilidad genética de los individuos frente a determinadas enfermedades. Deben ser pruebas realizadas a petición de los sujetos y con finalidades preventivas en salud pública, puesto que la información derivada de este tipo de pruebas podría suponer una grave discriminación para los individuos

con determinadas características.

Finalmente, hay que destacar que el cáncer es una enfermedad que presenta tiempos de latencia variables (según su origen, localización, etc.) pudiendo llegar a ser extremadamente elevados. Por ejemplo, en el caso del mesotelioma pleural debido a exposición a amianto, los tiempos de latencia pueden llegar hasta los 30 años. Por el contrario, se cree que algunos tipos de leucemia pueden manifestarse antes de un año de haber sufrido la exposición.

INVESTIGACIÓN SOBRE CARCINOGENICIDAD QUÍMICA

De idéntica forma a como se procede para evaluar la toxicidad de agentes químicos, existen diversos métodos para estudiar los efectos carcinogénicos. Se plantea siempre, en mayor o menor medida según el tipo de ensayo o estudio, el problema de la extrapolación de los datos experimentales a los humanos.

A continuación se describen los tipos de estudios.

Ensayos a corto plazo con células *in vitro*

Este tipo de ensayos tiene como objetivo la evaluación de la genotoxicidad de las sustancias mediante el estudio de alteraciones en la secuencia del ADN de células *in vitro* de distintas especies incluida la humana: mutaciones (inserciones, deleciones, intercambios de secuencias, etc.), así como defectos en el proceso de duplicación del ADN (intercambio de cromátidas hermanas, síntesis de ADN no programada, uniones covalentes de tóxicos con el ADN, etc.). Una de las principales limitaciones de estos ensayos es que las células *in vitro* pueden metabolizar las sustancias de distinta forma a como lo hacen las células *in vivo*, así como la limitación que supone asumir que no existen diferencias en la estructura y organización del ADN y la de los cromosomas entre especies cuando, en realidad, pueden existir.

Ensayos a largo plazo con animales

El diseño de este tipo de ensayos está sujeto a protocolos establecidos para la protección de los animales y controlados por comités dedicados específicamente a ello. Se trata de pruebas que predicen bien el comportamiento de los tóxicos en humanos (tanto

más cuanto más cercana a los humanos se encuentre evolutivamente la especie sobre la que se experimenta). Sin embargo, deben enfrentarse a problemas como la restricción en el número de animales a utilizar y el tipo de pruebas y dosis a las que pueden ser sometidos, por los problemas éticos que ello plantea, además de resultar costosos económicamente.

LA NUEVA POLÍTICA SOBRE AGENTES QUÍMICOS REPRESENTADA POR EL REGLAMENTO REACH, PRETENDE REDUCIR AL MÍNIMO INDISPENSABLE EL USO DE ENSAYOS CON ANIMALES PARA INVESTIGAR LA TOXICIDAD DE LOS AGENTES QUÍMICOS

Los estudios epidemiológicos son de gran importancia para la consideración de carcinogenicidad de las sustancias, puesto que se basan en humanos y, por lo tanto, no presentan los problemas derivados de la extrapolación entre especies o entre células *in vivo* o *in vitro*. Sin embargo, la estimación de la dosis, al no tratarse de una variable controlada experimentalmente, es siempre un dato aproximado.

Estudios epidemiológicos

Existen dos diseños principales de estudios epidemiológicos: estudios de casos y controles y estudios de cohortes.

En el primer diseño, se seleccionan sujetos con la patología que se desea estudiar (casos) y sujetos sin la patología (controles). Después se estudia retrospectivamente las diferencias en la exposición sufrida por ambos grupos.

LOS ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS ESTÁN BASADOS EN POBLACIONES HUMANAS Y POR ELLO SON DE GRAN VALOR PARA ESTABLECER LA CARCINOGENICIDAD DE SUSTANCIAS O PROCESOS

Los estudios de cohortes (especialmente las industriales) han sido muy importantes en la investigación de la carcinogenicidad de sustancias y procesos industriales. Aquí se seleccionan individuos con una exposición común y se siguen en el tiempo, evaluando al cabo de un determinado período cuántos de ellos han desarrollado la enfermedad que se desea estudiar.

La Epidemiología Laboral ha sido capaz de descubrir riesgos de gran magnitud referentes a exposiciones sufridas en el lugar de trabajo (amianto, cloruro de vinilo, arsénico, etc.). Sin embargo, en la actualidad, la exposición profesional está controlada y no se dispone de cohortes expuestas a altos niveles de contaminantes. Las dosis son mucho menores y esto dificulta la obtención de resultados estadísticamente significativos, por lo que los estudios epidemiológicos deben apoyarse en los otros tipos de ensayos comentados.

Este método estudia las analogías moleculares entre sustancias reconocidas como carcinógenas y las sustancias bajo estudio, realizando predicciones sobre su carcinogenicidad. Se basa en cálculos teóricos llevados a cabo mediante potentes herra-

Análisis estructural-actividad

mientas informáticas y resulta atractivo por requerir una menor infraestructura que los métodos citados anteriormente. A diferencia de los anteriores no se trata de ensayos utilizados para demostrar las evidencias existentes con respecto a la carcinogenicidad de los compuestos. Resulta útil para formular hipótesis sobre nuevas sustancias y para describir los mecanismos de reacción de los tóxicos debido al exhaustivo conocimiento que comporta sobre su estructura molecular.

CLASIFICACIONES DE CARCINOGENICIDAD

Existen distintas organizaciones que publican listas de sustancias carcinogénicas (ver tabla adjunta).

Los criterios para la clasificación están basados en las propiedades toxicológicas de las sustancias, su metabolismo y sus efectos específicos sobre la salud, obtenidos a partir de datos experimentales *in vitro*, *in vivo* y estudios epidemiológicos. Pueden existir discrepancias entre las clasificaciones de las distintas organizaciones debido a las sustancias que han sido sometidas a estudio por cada organización, a pequeñas diferencias en la definición de las categorías y, finalmente, a la distinta información considerada para clasificar una sustancia en uno u otro grupo.

LAS CLASIFICACIONES DE CARCINOGENICIDAD SE BASAN EN EL GRADO DE EVIDENCIA DE SU ASOCIACIÓN CON EL CÁNCER (PROBADA/PROBABLE/POSIBLE) SEGÚN EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO DISPONIBLE

Respecto a la definición de las categorías, y excepto en el caso de la legislación estatal de Suecia y Noruega, en que se define un nivel de potencia carcinogénica de las sustancias (baja/media/alta), las clasificaciones consisten en la categorización del grado de evidencia de carcinogenicidad en humanos (carcinógenos probados, probables carcinógenos y posibles carcinógenos). La mayor parte de clasificaciones hacen hincapié en la fuente de procedencia de la información: si están basados en estudios con humanos (estudios epidemiológicos) o bien en estudios a largo plazo con animales.

Algunas de las clasificaciones se publican anualmente junto con los valores límite de exposición ambiental, como la de la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), mientras que otras simplemente incluyen o cambian la categoría de las sustancias de acuerdo con los progresos en el conocimiento científico que de ellas se posee, por ejemplo la de la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC), perteneciente a la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En el ámbito reglamentario español la clasificación de carci-

CLASIFICACIONES DE CARCINOGENICIDAD DE SUSTANCIAS SEGÚN DISTINTOS ORGANISMOS

ORGANISMO O PAÍS	CATEGORÍAS DE CARCINOGENICIDAD
Unión Europea	1: carcinógeno comprobado en el hombre mediante estudios epidemiológicos. 2: carcinógeno comprobado en el hombre generalmente mediante estudios con animales. 3: posible efecto carcinogénico en el hombre.
Alemania	A: sustancias inequívocamente carcinogénicas en el hombre. A1: sustancias capaces de inducir tumores malignos según estudios epidemiológicos. A2: sustancias capaces de inducir tumores malignos según estudios en animales. B: sustancias con sospecha justificable de potencial carcinogénico que requieren más investigación.
Suecia	A. Productos tóxicos: carcinógenos comprobados en el hombre mediante estudios epidemiológicos, estudios con animales y otra información toxicológica. B. Productos nocivos: los mismos que en categoría A pero con resultados no concluyentes.
Noruega	1: suficiente evidencia de carcinogenicidad mediante estudios epidemiológicos, estudios con animales y otra información toxicológica. 2: evidencia limitada de carcinogenicidad (ídem que categoría 1 sin resultados concluyentes).
EPA ¹	A. Carcinógenos probados en humanos mediante estudios epidemiológicos. B. Probable carcinógeno en humanos. B1. Probable según estudios epidemiológicos pero concluyentes respecto a estudios con animales. B2. Falta de información o información no adecuada en estudios epidemiológicos pero concluyente respecto a estudios con animales. C. Posibles carcinógenos en humanos. D. No clasificable como carcinógeno en humano. E. No carcinógeno en humanos.
NTP ²	Evidencia de actividad carcinogénica. Evidencia limitada de actividad carcinogénica. Evidencia equívoca de actividad carcinogénica. Estudios inadecuados de actividad carcinogénica. Ausencia de evidencia de actividad carcinogénica.
ACGIH ³	A1. Carcinógenos confirmados en los humanos. A2. Sospechos de carcinogenicidad en humanos. A3. Sospechos de carcinogenicidad en animales. A4. No clasificados como carcinógenos en humanos. A5. No sospechosos de ser carcinógenos en humanos.
IARC ⁴	1. Carcinógenos para el hombre (agentes, mezclas, actividades). 2A. Probables carcinógenos para el hombre (agentes, mezclas, actividades). 2B. Posibles carcinógenos para el hombre (agentes, mezclas, actividades). 3. No puede ser clasificado respecto a su carcinogenicidad en el hombre. 4. Probablemente no carcinógeno para el hombre.

¹ Environmental Protection Agency

² National Toxicology Programme

³ American Conference of Governmental Hygienists

⁴ International Agency for the Research on Cancer

A MEDIDA QUE PROGRESA EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO SOBRE LAS SUSTANCIAS Y SUS EFECTOS, LAS CLASIFICACIONES VAN CAMBIANDO

nogenicidad viene definida por el anexo VI del RD 363/1995 que aprueba el reglamento relativo a la notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, en el capítulo denominado “efectos específicos sobre la salud”. En el anexo VI del RD 363/1995 se incluyen las categorías y criterios de clasificación descritos a continuación.

Hay que destacar que las sustancias incluidas en la tercera categoría no tienen la consideración legal de cancerígenas o mutágenas, puesto que no están incluidas en el ámbito de aplicación del RD 665/1997.

Sustancias cancerígenas

La clasificación en categorías que efectúa el RD 363/1995 responde a las evidencias existentes respecto a la potencia de cada sustancia como cancerígena.

Primera categoría

Sustancias que se sabe son carcinógenas para el hombre. Se dispone de elementos suficientes para establecer una relación causa-efecto entre la exposición del hombre a tales sustancias y la aparición del cáncer.

Segunda categoría

Sustancias que pueden considerarse carcinógenas para el hombre. Se dispone de suficientes elementos para suponer que la exposición del hombre a tales sustancias puede producir cáncer. Dicha presunción se fundamenta generalmente en:

- Estudios a largo plazo con animales.
- Otro tipo de información pertinente.

Tercera categoría

Sustancias cuyos posibles efectos carcinogénicos en el hombre son preocupantes, pero de las que no se dispone de una información suficiente para realizar una evaluación satisfactoria. Hay algunas pruebas procedentes de análisis con animales, pero que resultan insuficientes para incluirlas en la segunda categoría. Comprende 2 subcategorías:

- a) Sustancias sobre las que se ha investigado pero de las que no hay suficientes pruebas sobre la inducción de tumores para incluirlas en la segunda categoría, y no es probable que con más experimentos se pueda obtener la información necesaria para su clasificación.
- b) Sustancias sobre las que no se ha investigado bastante. Los datos disponibles son inadecuados, pero preocupantes en

relación con el hombre. La clasificación es provisional y se requieren más experimentos antes de adoptar una decisión definitiva.

El etiquetado de estas sustancias está regulado por el RD 363/1995 anteriormente citado. A las sustancias clasificadas en la primera y en la segunda categorías de carcinogenicidad se les asignará el símbolo T (Tóxico) y las frases de riesgo R45 (Puede causar cáncer) o R49 (Puede causar cáncer por inhalación), mientras que a las sustancias clasificadas en la tercera categoría se les asignará el símbolo Xn (Nocivo) y la frase de riesgo R40 (Posibles efectos cancerígenos), frase que se utiliza igualmente para otras sustancias con determinados efectos adversos no cancerígenos.

Al igual que en el caso de los cancerígenos, el RD 363/1995 clasifica los mutágenos en tres categorías.

Sustancias mutagénicas

Primera categoría

Sustancias que, se sabe, son mutagénicas para el hombre. Se dispone de pruebas suficientes para establecer una relación causa-efecto entre la exposición del hombre a tales sustancias y la aparición de alteraciones genéticas hereditarias.

Segunda categoría

Sustancias que pueden considerarse como mutagénicas para el hombre. Se dispone de suficientes elementos de juicio para suponer que la exposición del hombre a tales sustancias puede producir alteraciones genéticas hereditarias. Dicha presunción se basa generalmente en:

- Estudios apropiados en animales.
- Otro tipo de información pertinente.

Tercera categoría

Sustancias cuyos posibles efectos mutagénicos en el hombre son preocupantes. Los resultados obtenidos en estudios de muta-

ETIQUETADO DE CANCERÍGENOS, MUTÁGENOS Y TÓXICOS PARA LA REPRODUCCIÓN

	Primera categoría	Segunda categoría	Tercera categoría
CANCERÍGENOS	T, R45 o R49	T, R45 o R49	Xn, R40
MUTÁGENOS	T, R46	T, R46	Xn, R68
TÓXICOS PARA LA REPRODUCCIÓN	T, R60 o R61	T, R60 o R61	Xn, R62 o R63

génesis apropiados son insuficientes para clasificar dichas sustancias en la segunda categoría.

A las sustancias mutagénicas de primera y segunda categorías se les asignará el símbolo T (Tóxico) y la frase de riesgo R46 (Puede causar alteraciones genéticas hereditarias), mientras que a las sustancias mutagénicas clasificadas en la tercera categoría se les asignará el símbolo Xn (Nocivo) y la frase de riesgo R68 (Posibilidad de efectos irreversibles).

Sustancias tóxicas para la reproducción

Pese a que esta categoría de peligrosidad no se encuentra bajo el ámbito de aplicación del RD 665/1997, se incluye aquí puesto que el RD 363/1995 la incorpora junto a los cancerígenos y mutágenos dentro de los “efectos específicos para la salud humana”.

Primera categoría

Sustancias de las que se sabe que perjudican la fertilidad de los seres humanos: Se dispone de pruebas suficientes para establecer una relación entre la exposición de los seres humanos a la sustancia y los problemas de fertilidad.

Sustancias de las que se sabe producen toxicidad para el desarrollo de seres humanos: Se dispone de pruebas suficientes para establecer una relación entre la exposición de los seres humanos a la sustancia y la aparición posterior de efectos tóxicos para el desarrollo de la descendencia.

Segunda categoría

Sustancias que deben considerarse como perjudiciales para la fertilidad de los seres humanos: Se dispone de elementos suficientes para suponer firmemente que la exposición de los seres humanos a la sustancia puede producir problemas para la fertilidad a partir de:

- Pruebas claras de estudios con animales de problemas para la fertilidad en ausencia de efectos tóxicos, o bien pruebas de problemas para la fertilidad que se presentan aproximadamente a los mismos niveles de dosis que otros efectos tóxicos pero no pueden considerarse como consecuencia inespecífica de los otros efectos tóxicos.
- Otros datos pertinentes.

Sustancias que deben considerarse como tóxicas para el desarrollo de los seres humanos para las que se dispone de elementos suficientes para suponer firmemente que la exposición de seres humanos a la sustancia puede producir toxicidad para el desarrollo, generalmente a partir de:

- Resultados claros en estudios con animales adecuados en que se hayan observado efectos en ausencia de signos de toxicidad.

dad marcada para la madre, o a los mismos niveles de dosis aproximadamente que otros efectos tóxicos, pero sin que se trate de una consecuencia secundaria inespecífica de los otros efectos tóxicos.

- Otros datos pertinentes.

Tercera categoría

Sustancias preocupantes para la fertilidad humana. Esta preocupación se basa generalmente en:

- Resultados en estudios con animales adecuados que proporcionan pruebas suficientes para suponer firmemente la presencia de problemas para la fertilidad en ausencia de efectos tóxicos, o bien pruebas de problemas para la fertilidad presentes a, aproximadamente, los mismos niveles de dosis que otros efectos tóxicos, pero sin que se trate de una consecuencia secundaria inespecífica de los otros efectos tóxicos, y sin que las pruebas sean suficientes para clasificar la sustancia en la categoría 2.
- Otros datos pertinentes.

Sustancias preocupantes para los seres humanos por sus posibles efectos tóxicos para el desarrollo. Esta preocupación se basa generalmente en:

- Resultados de estudios con animales adecuados que proporcionan pruebas suficientes para suponer firmemente la presencia de toxicidad para el desarrollo en ausencia de signos de toxicidad marcada para la madre, o bien a, aproximadamente, los mismos niveles de dosis que otros efectos tóxicos pero sin que se trate de una consecuencia secundaria inespecífica de los otros efectos tóxicos, y sin que las prueba sean suficientes para clasificar la sustancia en la categoría 2.
- Otros datos pertinentes.

A las sustancias tóxicas para la reproducción de primera y segunda categorías se les asignará el símbolo T (Tóxico) y las frases de riesgo R60 (Puede perjudicar la fertilidad) o R61 (Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto), mientras que a las sustancias clasificadas en la tercera categoría se les asignará el símbolo Xn (Nocivo) y la frase de riesgo R62 (Posible riesgo de perjudicar la fertilidad) o R63 (Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto).

Lo expuesto hasta ahora se refiere a sustancias. Cuando se desea conocer la toxicidad de preparados (mezclas de dos o más sustancias) la normativa aplicable es el RD 255/2003. Las categorías que establece son las mismas que para las sustancias y están basadas en la clasificación de los componentes por sepa-

rado y en el porcentaje presente de cada uno de ellos en el preparado.

El documento Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España, elaborado anualmente por el INSHT, contiene una lista de los agentes químicos cancerígenos y mutágenos de las categorías 1 y 2.

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A CARCINÓGENOS

LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A CARCINÓGENOS SE BASA EN EL ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE QUE LA EXPOSICIÓN TENGA LUGAR

En el capítulo 2 se destacó que la evaluación a agentes químicos se basaba en la medición de las concentraciones ambientales a las que están expuestos los trabajadores. Debido a la naturaleza probabilística de la relación dosis-efecto para los cancerígenos, la evaluación de la exposición a estos agentes en el lugar de trabajo se orienta al estudio de las posibilidades de que la exposición tenga lugar, más que a las concentraciones ambientales de las sustancias.

El objetivo, pues, es determinar si existe o no presencia de tales sustancias en el puesto de trabajo. Los procesos a evaluar, cuando se encuentran en condiciones normales, deben evitar intrínsecamente la exposición a carcinógenos. Sin embargo, existe la posibilidad de que el trabajador entre en contacto con ellos bajo determinadas circunstancias, como por ejemplo:

- Operaciones de toma de muestra del proceso que impliquen extracción de un circuito cerrado.
- Operaciones de limpieza y/o mantenimiento de los equipos.
- Circunstancias accidentales o anómalas (fugas, derrames,...), etc.

En consecuencia, uno de los puntos clave para la evaluación del riesgo de exposición a carcinógenos es el análisis exhaustivo y global de los procedimientos de trabajo, equipos, instalaciones y procesos en los que la sustancia esté presente, así como la existencia de medidas preventivas y de seguridad en caso de que la exposición tenga lugar. El resultado permitirá valorar el grado de probabilidad de que la exposición acontezca y adoptar las medidas preventivas pertinentes.

El RD 665/1997 hace énfasis en la exposición dérmica a agentes cancerígenos y mutágenos, puesto que es una vía de entrada que, en ocasiones, puede pasar desapercibida fácilmente (contacto con ropas o superficies contaminadas, deposición de partículas sobre la piel, etc.).

También menciona específicamente a los trabajadores espe-

cialmente sensibles, cuya presencia debe contemplar obligatoriamente la evaluación de riesgos y de la que deben derivarse medidas de prevención adecuadas.

PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES FRENTE A AGENTES CANCERÍGENOS

En el citado RD 665/1997 se define como agente carcinógeno la sustancia o preparado que cumpla los criterios de clasificación como carcinógeno de primera o segunda categoría recogidos en el RD 363/1995 sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias y preparados peligrosos (ya comentados en el apartado sobre clasificación) y añade unas actividades específicas clasificadas como carcinogénicas, que se muestran en la tabla. Los mutágenos se definen de manera análoga.

Los antecedentes reglamentarios en materia de prevención de riesgos laborales frente a agentes carcinogénicos, son los reglamentos sobre el amianto (Orden de 31.10.1984), el benceno (Resolución de 11.3.1977 derogada por RD 1124/2000) y el cloruro de vinilo (Orden de 9.4.1986) que se encuentran actualmente derogados por el RD 665/1997 y sus modificaciones o por el RD 374/2001 sobre la prevención de riesgos derivados de los agentes químicos.

Debido a que la evaluación está basada en la presencia o ausencia de exposición, tal y como se ha comentado en el apartado anterior, las medidas a adoptar están priorizadas partiendo de la sustitución de los agentes carcinogénicos por sustancias que no presenten tales efectos. La sustitución del agente carcinógeno es un requisito obligatorio. Cuando se ha llevado a cabo la sustitución de un agente cancerígeno o mutágeno, el RD 664/1997 deja de ser de aplicación, quedando sujeta la situación al cumplimiento del RD 374/2001 sobre agentes químicos. En los casos en que no sea técnicamente posible sustituir el agente carcinogénico, se tomarán las medidas preventivas adecuadas para eliminar el riesgo, que no se diferenciarán tecnológicamente de las aplicables para agentes químicos en general: encerramiento del proceso, reducción de la ex-

ACTIVIDADES CANCERÍGENAS

1. Fabricación de auramina.
2. Trabajos que supongan la exposición a Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos presentes en el alquitrán o la brea de hulla.
3. Trabajos que supongan la exposición a polvo, a humo o nieblas producidas durante la calcinación y el afinado eléctrico de las matas de níquel.
4. Procedimiento con ácido fuerte en la fabricación de alcohol isopropílico.
5. Trabajos que supongan exposición a polvo de maderas duras.

LA LEGISLACIÓN SOBRE CANCERÍGENOS OBLIGA A LA SUSTITUCIÓN DEL AGENTE QUÍMICO. SÓLO CUANDO ESTO NO SEA TÉCNICAMENTE POSIBLE PODRÁ RECURRIRSE A OTRAS MEDIDAS PREVENTIVAS

posición de los trabajadores mediante otros métodos (extracción localizada, uso de equipos de protección personal, etc.).

El RD 665/1997 también regula las medidas a tomar en caso de exposiciones accidentales o no regulares. Asimismo serán de aplicación medidas generales de prevención de riesgos laborales (señalización de los lugares de trabajo, procedimientos de trabajo adecuados, reducción en lo posible del número de trabajadores expuestos, correcto etiquetado y almacenado de productos y gestión de residuos) y algunas específicas, como una especial higiene personal y distinto tratamiento de la ropa de trabajo y equipos de protección individual.

CONTROL BIOLÓGICO DE LA EXPOSICIÓN A CANCERÍGENOS

Cuando se plantea un control biológico de la exposición a cancerígenos deben tenerse en cuenta dos características específicas con respecto al resto de contaminantes químicos: el tiempo de latencia de los efectos (que, como ya se ha dicho puede ser muy variable, entre unos pocos meses y decenas de años) y la no existencia de valor umbral de no-efecto (concretamente

para los genotóxicos). Por lo demás, el tratamiento del control biológico de trabajadores expuestos es idéntico al realizado para cualquier otra sustancia, utilizando las técnicas adecuadas para medir la concentración de las sustancias o los efectos específicos de interés.

Los indicadores utilizados para estudiar la exposición a agentes carcinógenos genotóxicos pueden agruparse en: indicadores de dosis interna, de dosis eficaz, de efecto biológico precoz y de susceptibilidad genética.

EL CONTROL BIOLÓGICO DE LA EXPOSICIÓN A CANCERÍGENOS DEBE TENER EN CUENTA EL TIEMPO DE LATENCIA DE LA ENFERMEDAD Y LA INEXISTENCIA DE UN VALOR UMBRAL DE NO-EFECTO

Indicadores de dosis interna

Reflejan la cantidad de sustancia absorbida, sin evaluar efectos sobre la salud ni proporcionar normalmente resultados que puedan ser comparados con valores de referencia (excepto para pocos casos, como la medición de ácido S-fenilmercaptúrico para la exposición a benceno o la medición directa de arsénico en orina).

Pueden diferenciarse dos tipos:

a) *Determinación de la sustancia o sus metabolitos en fluidos biológicos.* Consiste en el análisis químico de sustancias en distintos fluidos biológicos (los más comunes son sangre y orina, pudiendo también analizarse saliva, esputos o semen).

No obstante, no siempre se dispone de métodos específicos y selectivos para la sustancia de interés. En este caso, y también cuando los mecanismos de carcinogénesis no se encuentran completamente descritos, se utilizan indicadores correspondientes a familias químicas con propiedades comunes, sin que sean específicos para una determinada sustancia. Tal es el caso de la determinación de tioéteres en orina, aunque el método muestra una elevada variabilidad (existen diversas estructuras químicas de tioéteres urinarios) y está afectado por factores como tabaco o dieta. Otro ejemplo es la determinación de metabolitos urinarios diazopositivos para el control de trabajadores expuestos a aminas aromáticas (carcinógenos de primera categoría).

LOS INDICADORES DE DOSIS REFLEJAN EL TIPO Y GRADO DE EXPOSICIÓN SUFRIDA PERO NO INFORMAN ACERCA DE LOS EFECTOS SOBRE LA SALUD DE TAL EXPOSICIÓN

b) *Determinación de la actividad mutagénica en fluidos biológicos*. Consiste en la detección de sustancias mutagénicas normalmente en la orina, midiendo la interacción de dichas sustancias y el ADN de bacterias utilizadas como indicadoras. El ensayo más conocido es el *test de Ames* que mide el crecimiento de una colonia *Salmonella typhimurium*, en contacto con el fluido en estudio. Este ensayo en orina refleja la exposición reciente (8-72 horas previas) y se puede ver enmascarado por exposición a humo del tabaco, dieta y algunos cosméticos utilizados por el sujeto bajo estudio. Es adecuado para trabajadores expuestos a mezclas poco caracterizadas, es simple y no invasivo.

Cabe destacar que la obtención de un negativo con indicadores de dosis interna no implica que la exposición no haya existido, por lo que los resultados deben interpretarse con cautela.

Los indicadores de dosis eficaz miden la interacción del tóxico con el material genético mediante recuento de los aductos formados (enlaces covalentes del tóxico con moléculas biológicas). Las técnicas más usadas son ^{32}P , técnica radiactiva con el isótopo 32 del fósforo, o técnicas inmunológicas del tipo ELISA (*Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay*).

El enlace de los aductos de ADN es reversible y puede repararse espontáneamente. Este hecho debe tenerse en cuenta al realizar un programa de control biológico a sustancias cancerígenas mediante estos indicadores.

Los aductos de proteínas son más estables que los de ADN, por lo que su medición es más fiable. Sin embargo, quedan más alejados del órgano diana, que es el ADN.

Indicadores de dosis eficaz

Indicadores de efecto biológico precoz (o pre-efecto)

Los indicadores de efecto biológico precoz (o pre-efecto) reflejan efectos derivados de la interacción del tóxico con el material genético, pero no miden efectos sobre la salud sino cambios biológicos (aunque puede haber una relación directa). Las alteraciones se pueden detectar a través de la observación en

LOS INDICADORES DE PRE-EFECTO MIDEN ALTERACIONES BIOLÓGICAS QUE PUEDEN ESTAR RELACIONADAS CON EFECTOS INDESEABLES SOBRE LA SALUD

el microscopio óptico de diversas aberraciones cromosómicas (deleciones, inversiones, fragmentaciones,...). Destacan métodos muy utilizados como la determinación de intercambios en cromátidas hermanas y la presencia de micronúcleos.

Los ensayos sobre esperma tienen un cierto valor predictivo para la fertilidad, aunque la relación es todavía poco conocida.

Indicadores de susceptibilidad genética

Los indicadores de susceptibilidad genética miden características del material genético de los individuos que pueden ser determinantes para el desarrollo de un tumor. Reflejan, por tanto, la tendencia del individuo a sufrir daños en el material genético o la capacidad de su material genético de reparar daños.

Este campo de la investigación oncológica está en auge, puesto que está demostrada la gran importancia de la interacción genético-ambiental en el proceso cancerígeno.

Epidemiología Molecular

Cada vez cobra más importancia el estudio de determinados proto-oncogenes y oncogenes cuyas alteraciones determinan la posibilidad de desarrollar ciertos tipos de tumores. El campo que estudia estos aspectos se denomina Epidemiología Molecular y, aunque actualmente no es una herramienta utilizada para el control de los trabajadores, puede llegar a serlo en el futuro si se consigue establecer asociaciones específicas entre mutaciones genéticas y el desarrollo de tumores.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS

La diferencia fundamental que existe entre los agentes biológicos y los agentes químicos y físicos es que, mientras que estos son materia inerte o distintas formas de energía, los agentes biológicos son seres vivos y, como tales, capaces de reproducirse.

Existen unas características concretas que definen a un organismo vivo:

- En primer lugar, todos los organismos tienen una composición química común. En todos ellos están presentes tres tipos de macromoléculas orgánicas complejas: las proteínas, el ácido desoxirribonucleico (ADN) y el ácido ribonucleico (ARN). El ADN es la sustancia que contiene, de forma codificada, toda la información necesaria para determinar las propiedades específicas del organismo; dicha información es traducida por el ARN a modelos específicos de síntesis de proteínas, siendo éstas las que, en última instancia, determinan las propiedades distintivas del organismo.
- En segundo lugar, en todos los organismos tienen lugar ciertas actividades químicas, cuyo fin es sintetizar los constituyentes de la materia propia del organismo a partir de sustancias químicas del exterior (metabolismo). Evidentemente, existen diferencias entre los metabolismos de distintos organismos.

Finalmente, todos los organismos, con excepción de los virus, tienen una estructura física común cuya unidad básica es la célula.

LOS AGENTES BIOLÓGICOS SON MICROORGANISMOS VIVOS, ES DECIR, CON CAPACIDAD DE GENERAR OTRO SER SIMILAR A SÍ MISMO MEDIANTE LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN GENÉTICA

Aunque estas características son comunes a todos los seres vivos, en este capítulo se hace referencia casi exclusiva a los agentes biológicos según se definen en el RD 664/1997 sobre la protección de los trabajadores contra riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. De los diferentes tipos, son los microorganismos los que presentan mayores requisitos para su desarrollo, aunque también son los que presentan mayor adaptabilidad a las condiciones del medio.

Requisitos ambientales para el desarrollo de los microorganismos

Para el desarrollo de su ciclo vital los agentes biológicos precisan de un aporte externo de energía. Sólo unos pocos pueden utilizar directamente la energía de la radiación solar, son los organismos fotosintéticos, el resto dependen de la disponibilidad de una fuente de energía química, es decir, de la disponibilidad de sustancias químicas ya sean inorgánicas u orgánicas que constituyen su substrato alimenticio.

Además de una fuente de energía y nutrientes se precisan unos requisitos ambientales que pueden condicionar el desarrollo de los seres vivos. Entre estos los más significativos son:

- *La temperatura:* la zona de temperatura en la que crecen los organismos es relativamente pequeña (aproximadamente entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $80\text{ }^{\circ}\text{C}$). El límite superior está marcado por la termolabilidad de las proteínas celulares, y el inferior, por el punto de congelación del agua, que es de varios grados por debajo de cero cuando contiene considerables cantidades de solutos. Entre los microorganismos existen diferencias en cuanto a la zona térmica en la que ocurre su crecimiento pudiéndose distinguir tres grupos principales: los termófilos, con rangos de temperatura entre $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, los mesófilos, entre $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$; y los psicrófilos, entre $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estos rangos de temperatura son variables dependiendo del agente y para cada uno de ellos existe una temperatura óptima para su desarrollo.
- *El oxígeno:* algunos microorganismos sólo se desarrollan cuando no hay oxígeno, son los llamados anaerobios, otros sólo lo hacen cuando hay oxígeno, son los aerobios y otros son capaces de adaptarse y cambiar su metabolismo en función de la presencia o ausencia de oxígeno, se llaman anaerobios facultativos.
- *La humedad:* en general, casi todos ellos precisan niveles de humedad elevados, aunque algunas de las formas resistentes (esporas) pueden soportar períodos de sequía y retornar al estado vital activo cuando se recupera el grado de humedad necesario.
- *El pH del medio:* En general los microorganismos no pue-

den desarrollarse a pH muy ácidos ni muy alcalinos, aunque la gama de valores de pH en torno a la neutralidad en la que pueden desarrollarse depende del tipo de microorganismo.

- *La luz*: hay agentes que no resisten la radiación mientras que para otros es imprescindible.

Los microorganismos presentan una gran adaptabilidad a los cambios que ocurren en su medio. Esta adaptabilidad está determinada y regida por sus genes y es de dos tipos:

- *Fenotípica*: en este caso no hay modificación de los genes pero sí de las órdenes que les permiten funcionar, por ejemplo, se bloquea un determinado sistema enzimático y se pone en marcha otro capaz de aprovechar un nuevo nutriente o unas nuevas condiciones ambientales.
- *Genotípica*: en este caso sí que ocurre un cambio genético que puede ser debido a mutaciones o al intercambio o recombinación genética. En los años 70 se consiguió reproducir este último fenómeno de forma artificial e intencionada, de modo que se insertaban determinados genes que producían sustancias concretas o conferían propiedades específicas a las especies manipuladas. Estas técnicas se conocen con el nombre de Ingeniería genética.

Esta adaptabilidad hace que en cualquier medio puedan estar presentes agentes biológicos desarrollando estilos de vida particulares y estableciendo todo tipo de relaciones con otros seres vivos.

Sin microorganismos la vida tal y como la conocemos no sería posible. Los microorganismos forman parte fundamental del ciclo de los elementos: son los responsables de la fijación del nitrógeno atmosférico en las plantas; se encuentran sobre nuestra piel proporcionándonos cierta protección; y también son los encargados de cerrar el ciclo natural de materia, devolviendo los elementos químicos al suelo o al aire en forma de materia inorgánica al degradar la materia orgánica.

Desde hace siglos, el hombre ha utilizado microorganismos para la producción de bienes y servicios: el pan, el vino, la cerveza, los antibióticos, las hormonas, las vacunas, las proteínas, el gas o la depuración de aguas residuales son ejemplos típicos del uso de microorganismos.

En todo caso, la presencia de un organismo en un entorno determinado está condicionada por tres factores: la *existencia de un reservorio* o lugar en que se den

LA INGENIERÍA GENÉTICA ES LA TÉCNICA QUE PERMITE LA MODIFICACIÓN ARTIFICIAL DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA DE UN ORGANISMO

LOS MICROORGANISMOS PUEDEN SER PERJUDICIALES O BENEFICIOSOS PARA LA SALUD DEL HOMBRE, PERO SON IMPRESCINDIBLES PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS CICLOS NATURALES

las condiciones ambientales para su crecimiento, la posibilidad de *amplificación o multiplicación*, lo que implica la continuidad en el aporte de nutrientes y las *opciones de dispersión*, es decir, de abandonar su reservorio y colonizar uno nuevo.

Interacciones de los agentes biológicos con otros seres vivos

Según sus estilos de vida los agentes biológicos se pueden clasificar en formas de vida libre (saprofitos) o en asociación a otras formas de vida. Estas asociaciones simbióticas se clasifican a su vez en: mutualismo, comensalismo y parasitismo en función del daño y beneficio mutuo que se causen.

Los saprofitos utilizan como alimento materia orgánica muerta (restos animales o vegetales) y sus reservorios en la naturaleza son las plantas y las capas superiores y más aireadas del suelo.

Entre las relaciones simbióticas se pueden distinguir: el mutualismo, en el que ambos organismos se benefician; el comensalismo, en el que un organismo extrae más beneficio que el otro de su relación; y el parasitismo, en el que sólo un organismo se beneficia. Dentro del parasitismo se pueden distinguir: los parásitos obligados, que son agentes biológicos que no se pueden reproducir fuera del huésped; y los parásitos facultativos, que, como su nombre indica, tienen la facultad de vivir sobre materia orgánica muerta o colonizar otros seres vivos.

Un parásito es un organismo que vive sobre o dentro de otro organismo vivo ("huésped"). Esto no implica necesariamente que el parásito tenga que causar una enfermedad a su huésped, puede

darse el caso de que la infección permanezca latente o subclínica, si bien el microorganismo conserva su capacidad infectiva y el huésped la posibilidad de transmitir la enfermedad a otro individuo.

En el caso de los parásitos obligados es el propio huésped el que proporciona todas las circunstancias necesarias para la viabilidad del microorganismo, es su reservorio, le proporciona las condiciones de

amplificación y los mecanismos de dispersión (por ejemplo: los aerosoles formados al hablar, toser o estornudar).

EL ORGANISMO SUPERIOR QUE PROPORCIONA A UN MICROORGANISMO LA TOTALIDAD O PARTE DE SUS NECESIDADES VITALES SE LLAMA HUÉSPED. LA PRESENCIA DEL MICROORGANISMO NO ES NECESARIAMENTE PERJUDICIAL PARA EL HUÉSPED

EFFECTOS EN LA SALUD Y MECANISMOS DE DEFENSA

La relación entre huésped y parásito está determinada tanto por las características de los parásitos que favorecen su establecimiento y que causan daño como por los mecanismos de defensa del huésped. Los principales efectos para la salud son las

infecciones, las reacciones alérgicas y los efectos tóxicos. Estos últimos son consecuencia de la acción sobre los tejidos o sus funciones, de determinadas sustancias producidas por los microorganismos (endotoxinas y micotoxinas). Entre los mecanismos de defensa se encuentran: la integridad de la piel, las sustancias antimicrobianas (lisozima), las células fagocitarias, la respuesta inflamatoria y la inmunidad humoral y celular.

Los procesos infecciosos consisten en la colonización de un huésped por un microorganismo patógeno. La patogenicidad es un proceso multifactorial que depende de la susceptibilidad del huésped, de la naturaleza de la especie o cepa (factores de virulencia) y del número de microorganismos en la exposición inicial. El término “virulencia” se usa para definir dos aspectos del microorganismo patógeno: su infectividad o habilidad para colonizar a un huésped, y la severidad del daño producido. La virulencia varía no solo entre especies sino también entre cepas de una misma especie. Los dos principales factores de la virulencia son la invasividad o capacidad para entrar en los tejidos del huésped, multiplicarse y diseminarse, y la producción de toxinas bacterianas (exotoxinas).

Cuando la enfermedad se transmite de los animales al hombre o viceversa recibe el nombre de zoonosis. Es el hombre o el animal el que, en estos casos, proporciona las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y alimentación que favorecen el desarrollo de los agentes biológicos patógenos.

Otros efectos ligados a la exposición a agentes biológicos son las reacciones alérgicas o hipersensibilidad. Desde el punto de vista de la patogénesis, las reacciones de hipersensibilidad se clasifican en cuatro tipos principales:

1. Hipersensibilidad tipo anafiláctico: que se caracteriza por reacciones alérgicas inmediatas al contacto con el antígeno. Una primera exposición al antígeno estimula la producción de anticuerpos específicos. Tras una segunda exposición estos anticuerpos se ligan y activan los basófilos que liberan las sustancias responsables de los efectos clínicos (asma, fiebre del heno, eczema atópico, etc.).
2. Hipersensibilidad tipo citotóxico: en este caso los anticuerpos se combinan con los antígenos de la superficie celular favoreciendo su destrucción (fenómenos de rechazo en transfusiones o trasplantes).
3. Hipersensibilidad mediada por complejos: la unión de los antígenos y los anticuerpos da lugar a la formación de complejos inmunes que desencadenan procesos inflamatorios. Un

Infección

Reacciones alérgicas

ejemplo típico de este tipo de hipersensibilidad es el pulmón del granjero en el que los complejos formados por los anticuerpos y los antígenos de las esporas fúngicas desencadenan fenómenos inflamatorios en los alvéolos.

4. Hipersensibilidad mediada por células: los linfocitos T son sensibilizados por la presencia de antígenos provocando la liberación de mediadores y la activación de macrófagos y linfocitos provocando la inflamación, que en casos graves va seguida por la necrosis de los tejidos.

Mecanismos de defensa

El ser humano no está inerme frente a los microorganismos y dispone de mecanismos de defensa frente a ellos tanto naturales como artificiales. Las características más significativas de estos mecanismos se describen a continuación.

Piel y mucosas

La piel y las mucosas segregan sustancias antimicrobianas, incluidos los ácidos grasos de cadena larga y el enzima lisozima que destruye la pared celular de muchas bacterias.

En las vías respiratorias superiores existen otros mecanismos de defensa proporcionados por la acción barredora de las células ciliadas epiteliales.

LA PIEL EN BUEN ESTADO ES UNA BARRERA MUY EFICAZ CONTRA LOS MICROORGANISMOS

El epitelio de la piel, si no está roto, resulta completamente impenetrable para los microorganismos, quedando limitadas las infecciones a los folículos pilosos y a las

glándulas sudoríparas. Sin embargo, muchos patógenos pueden penetrar fácilmente las membranas mucosas.

Sustancias antimicrobianas

El suero de varias especies de mamíferos, incluido el hombre, contiene sustancias bactericidas. Además de la *lisozima*, que también se encuentra en las lágrimas, la saliva, en las secreciones nasales y en el extracto de varios órganos, existe un grupo de sustancias denominadas *betalisinas* especialmente efectivas frente a las bacterias Gram positivo.

Las *fagocitinas* son globulinas que se encuentran en los leucocitos fagocitarios y que son activas frente a las bacterias Gram negativo.

Otras sustancias antimicrobianas de los tejidos son proteínas básicas, polipéptidos básicos y poliaminas, activas frente a las bacterias Gram positivo.

Células fagocíticas

La sangre es una mezcla compleja que consta de un fluido, el

plasma, en el que están los *eritrocitos* portadores de oxígeno, los *leucocitos* y fragmentos celulares denominados *plaquetas*. El plasma contiene en solución sales, proteínas y metabolitos solubles que debe transportar a los tejidos y desde los tejidos. Las proteínas del plasma incluyen el *fibrinógeno* (coagulación), *globulinas* (anticuerpos), *albúminas* y *el complemento* que es un conjunto de 11 proteínas con capacidad de destruir las células recubiertas de anticuerpo. Los leucocitos juegan un papel importante en la defensa del huésped frente a la invasión de microorganismos extraños. Se pueden distinguir distintos tipos con funciones diferentes; algunos (los basófilos y los eosinófilos) intervienen, fundamentalmente, en los procesos de inflamación; los linfocitos son los responsables de la formación de anticuerpos y de la inmunidad celular, y los monocitos y los neutrófilos actúan como células fagocíticas.

El proceso de la fagocitosis implica el englobamiento del cuerpo extraño y la posterior digestión del mismo; la capacidad y eficacia de los fagocitos para ingerir y destruir microorganismos depende de las características de estos.

Además de los leucocitos, existen otras células fagocíticas, los macrófagos, que se encuentran fijos en los tejidos, fundamentalmente hígado, bazo, médula ósea y nódulos linfáticos, y errantes distribuidos por diferentes órganos.

Inflamación

Cuando un tejido de un animal superior está sometido a un agente irritante, ese tejido se inflama. Las características de una inflamación son: enrojecimiento, hinchazón, calor y dolor. En la zona de inflamación los capilares sanguíneos están dilatados, lo que aumenta el flujo sanguíneo en esta zona (enrojecimiento); además, las paredes de los capilares se hacen más porosas, de manera que las proteínas solubles escapan fuera de los vasos causando un movimiento osmótico de fluido hacia los tejidos (hinchazón).

No deja de ser curioso que una condición patológica, como es la inflamación, pueda actuar como mecanismo de defensa. En primer lugar, los tejidos de la zona reciben un fuerte aporte de leucocitos cuyas actividades incluyen la fagocitosis y la formación de anticuerpos. En segundo lugar, al aumentar el aporte de plasma también aumenta la concentración de sustancias antimicrobianas y de anticuerpos. En tercer lugar, la inflamación conduce a la acumulación de células del huésped muertas, de las que se liberan sustancias tisulares antimicrobianas. En el centro de la zona necrótica, la tensión de oxígeno disminuye y

LOS MECANISMOS INFLAMATORIOS, AUNQUE EN SÍ MISMOS SON UNA AFECCIÓN, CONSTITUYEN UNA BUENA DEFENSA CONTRA LOS MICROORGANISMOS

se acumula ácido láctico, que constituyen condiciones adversas para el crecimiento de muchos tipos de bacterias.

Inmunidad

El término “inmunidad” comprende todas las propiedades del huésped que le confieren resistencia a un agente específico. Esta resistencia puede abarcar todos los grados, desde la susceptibilidad casi total hasta la no-susceptibilidad completa.

La inmunidad puede ser natural o adquirida; y ésta puede ser pasiva o activa. Algunos de los mecanismos que integran la inmunidad adquirida y activa son los siguientes:

- Inmunidad humoral que implica la producción activa de anticuerpos contra antígenos de organismos o de sus productos. Estos anticuerpos pueden inducir resistencia dado que: neutralizan toxinas; tienen efecto bactericida o lítico en presencia del complemento; bloquean la capacidad infectante del organismo; aglutinan los microorganismos haciéndolos más susceptibles a la fagocitosis, y se combinan con los antígenos de superficie de los microorganismos facilitando su ingestión.
- Inmunidad celular llevada a cabo por los linfocitos B y T. Estas células reconocen los materiales extraños e inician una cadena de respuestas que incluyen reacciones inflamatorias, destrucción citotóxica de las células invasoras, activación de los macrófagos y las reacciones de hipersensibilidad retardada en los tejidos.

AGENTES BIOLÓGICOS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

Algunos agentes biológicos son patógenos, es decir, pueden causar enfermedades en las personas, y éste es el aspecto que tiene interés desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales y al que se limita el concepto de “agente biológico” en el resto de este capítulo. Como con cualquier otro factor de riesgo laboral los aspectos a tratar se refieren a la identificación de los agentes que presentan algún riesgo, a la determinación del mecanismo de la exposición, a concretar los posibles efectos perjudiciales y a los procedimientos o técnicas de evaluación y de control de las exposiciones.

El RD 664/1997, sobre la protección de los trabajadores contra riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, contiene las siguientes definiciones:

EL REAL DECRETO 664/1997 ES LA
REGLAMENTACIÓN ESPECÍFICA APLICABLE
A LA PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS
LABORALES CAUSADOS POR AGENTES
BIOLÓGICOS

Agentes biológicos: Microorganismos, con inclusión de los genéticamente manipulados, los cultivos celulares y los endoparásitos humanos, susceptibles de producir cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad.

Microorganismo: Toda entidad microbiológica, celular o no, capaz de reproducirse o de transferir material genético.

Cultivo celular: El resultado del crecimiento *in vitro* de células obtenidas de organismos multicelulares.

Estas definiciones, excepción hecha de los cultivos celulares, comprenden a los siguientes tipos de agentes biológicos: *virus, bacterias y hongos (microorganismos); y protozoos y helmintos (endoparásitos)* y los productos o estructuras elaborados por ellos que pueden causar alergias o toxicidad.

Según estas definiciones, algunos agentes biológicos quedarían fuera del ámbito de este Real Decreto, por ejemplo, los ácaros, los insectos y otras estructuras y sustancias de origen vegetal, como el polen, el polvo de madera o los aceites vegetales.

Los *priones*, que no son seres vivos ya que no se ha demostrado que contengan material genético, sí se consideran agentes biológicos en este Real Decreto. Reglamentariamente están incluidos en la categoría de “agentes no clasificados asociados a encefalopatías espongiformes transmisibles (TSE)”.

No son seres vivos sino sustancias químicas, aunque su incidencia en el metabolismo de un animal superior o del hombre se parece más a la de un microorganismo que a la de un agente químico. En esencia consiste en una molécula de proteína cuya

Priones

CARACTERÍSTICAS DE LOS PRIONES	
Propiedades Físicas y Químicas	Propiedades Biológicas
Filtrable con poros 25 nm o 100 nm.	Largo período de incubación (meses, años, décadas)
Es invisibles al microscopio óptico y electrónico.	No producen respuesta inflamatoria
Resistente a:	No antigénicos
Formaldehído	Patología crónica progresiva
EDTA	Fatal en todos los casos
Proteasas (tripsina, pepsina), aunque reducen la infectividad	Carecen de cuerpos de inclusión
Nucleasas (ribonucleasas A y III, desoxiribonucleasa I)	Presencia de ácido nucleico no demostrada
Radiación ultravioleta (2.540 Å)	Periodo de adaptación a nuevos hospedadores
Radiación ionizante	Control genético de la susceptibilidad de algunas especies
	Existencia de distintas cepas

configuración es anómala y que, por ello, no puede ser eliminada del organismo por los mecanismos de hidrólisis enzimática habituales. Además, tiene la propiedad de inducir la modificación de las moléculas de proteína normales convirtiéndolas en moléculas anómalas; de forma incorrecta, pero simple, se puede decir que “la molécula se reproduce”. La conjunción de ambos factores, formación y no-eliminación, produce una acumulación de la proteína anómala en ciertos tejidos provocando su destrucción.

Las enfermedades causadas por priones son muy específicas de cada especie animal y no es fácil el contagio entre individuos de especies diferentes. La vía principal de contagio es la digestiva por ingestión de alimentos contaminados. También se ha demostrado en laboratorio la transmisión mediante la inoculación en los tejidos de material contaminado; por otra parte, no existen evidencias de su transmisión por vía aérea, no obstante debe evitarse la formación de aerosoles debido al riesgo de transmisión indirecta por vía digestiva.

Por tratarse de moléculas, los mecanismos habituales de prevención, protección y tratamiento de enfermedades infecciosas (desinfección, vacunación, tratamiento con antibióticos, etc.) son ineficaces. En particular, los productos normalmente utilizados en la desinfección, por ejemplo: formaldehído, alcohol, glutaraldehído, peróxido de hidrógeno, radiaciones ultravioletas o radiaciones ionizantes, entre otros, son ineficaces. Entre los

EJEMPLOS DE ENFERMEDADES CAUSADAS POR PRIONES

Enfermedad	Huésped natural
Scrapie	Ovejas y cabras
Prionencefalopatía transmisible del visón (TME)	Visón
<i>Chronic wasting disease</i> (CWD)	Mulos, Ciervos y Alces
Encefalopatía espongiiforme de los bovinos (BSE)	Vacas
Encefalopatía espongiiforme de los felinos (FSE)	Gatos
Encefalopatía de los ungulados Exóticos (EUE)	Nyala y el gran Kudu
Kuru	Humanos
Enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (CJD)	Humanos
Síndrome de Gerstmann-Straussler-Scheinker (GSS)	Humanos
Fatal familiar insomnia (FFI)	Humanos

métodos de inactivación de los priones se pueden destacar los siguientes:

- Autoclave >134°C, 18 minutos
- Hipoclorito sódico (20°C, 1 hora)
- Hidróxido sódico 2N
- Fenol 90%
- Éter
- Acetona
- Permanganato potásico 0,002 M
- Urea 6 M
- 2 - Cloroetanol
- Cloroformo

LOS SISTEMAS HABITUALES DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA LAS ENFERMEDADES INFECCIOSAS NO SON ÚTILES FRENTE A LOS PRIONES

Son las formas de vida más pequeñas que se conocen (de 20 a 300 nm) y también las que tienen una constitución más simple. Las características que los distinguen son las siguientes: contienen un único tipo de ácido nucleico ADN o ARN, son parásitos obligados y dependen completamente de sus huéspedes para su reproducción, los virus proporcionan las instrucciones para crear nuevos virus, pero son las células del huésped quien los fabrica. La molécula de ácido nucleico del virus está encerrada por una cubierta o cápside que consiste en una capa simple de proteínas.

Virus

Los virus se dividen en tres clases principales: virus de los animales, de las plantas y de las bacterias (bacteriófagos) presentando una elevada especialización incluidas las estirpes celulares que infecta, por ejemplo, las células hepáticas por el virus de la hepatitis B o los linfocitos T por el virus de inmunodeficiencia adquirida. No obstante, en ocasiones se produce el salto interespecies como sería el caso del virus de la gripe aviar.

Los virus, parásitos obligados, establecen dos tipos de interacciones con sus huéspedes; en algunos casos, tras la penetración y la formación de nuevos virus, ocurre la rotura o lisis celular; en otros, los nuevos virus formados se van liberando sin destruir la célula o bien insertan su ácido nucleico en el material genético de la célula, pudiendo así causar infecciones recurrentes o inducir la formación de tumores.

Los daños causados por virus pueden ser: indetectables, leves, severos, fatales, teratogénicos o resultar en la formación de un tumor. Existen medicamentos que pue-

LOS VIRUS SON PARÁSITOS INTRACELULARES OBLIGADOS. SON INSENSIBLES A LOS ANTIBIÓTICOS. LA MEJOR PREVENCIÓN SIGUE SIENDO LA VACUNACIÓN EFICAZ

den bloquear el ciclo de replicación del virus pero tienen efectos tóxicos secundarios. Los antibióticos no afectan a los virus. Las medidas más eficaces son las gammaglobulinas y la vacunación.

Algunos ejemplos de infecciones causadas por virus son: las Hepatitis B, A, C, las fiebres hemorrágicas o el Herpes, entre otras.

Bacterias

Son organismos procariotas, es decir, carecen de núcleo, están constituidos por una célula que contiene los dos tipos de ácido nucleico; su ADN se encuentra organizado en un cromosoma circular disperso en el citoplasma que contiene muy pocas estructuras u orgánulos útiles para su desarrollo, entre ellos los ribosomas encargados de la síntesis de las proteínas. Las bacterias pueden disponer de hasta tres envueltas: la membrana citoplasmática, la pared bacteriana y la cápsula. En la pared celular de las bacterias Gram negativo se encuentran las endotoxinas.

Según su forma se pueden distinguir diferentes tipos de bacterias: pequeñas esferas (cocos), bastoncillos rectos (bacilos), bastoncillos en forma de espiral (espirilos) o filamentos ramificados (actinomicetos). Su tamaño también varía, se encuentran en un rango de 1 a 5 μm . Muchas son formas unicelulares, algunas se presentan en pares, otras en tétradas y algunas formando cadenas.

Algunas bacterias tienen la capacidad de formar esporas, formas capaces de resistir, durante períodos de tiempo largos, condiciones ambientales adversas (los actinomicetos y algunas especies de *Bacillus*). Las esporas son las formas de vida más resistentes que se conocen, esta característica hace que se utilicen como indicadores para el control de calidad del proceso de esterilización en autoclave.

Desde el punto de vista preventivo, es importante recordar que no todos los productos que se utilizan en la desinfección de materiales son eficaces a la hora de eliminar las esporas, muchos de los desinfectantes solo son capaces de matar las formas vegetativas creando así una falsa sensación de seguridad. Las esporas no eliminadas conservan toda su capacidad infectiva de

manera que, cuando las condiciones vuelven a ser favorables, restablecen su actividad vegetativa, es decir, su capacidad de multiplicación.

Su reproducción es asexual por escisión binaria, es decir, cada microorganismo se divide en dos, cada uno de estos en dos

LAS BACTERIAS SON MICROORGANISMOS PROCARIOTAS CON CAPACIDAD INFECTIVA VARIABLE. LAS INFECCIONES QUE CAUSAN SE PUEDEN TRATAR CON ANTIBIÓTICOS

más y así sucesivamente; el resultado final es una colonia formada por millones de individuos que se hace visible a simple vista.

Es precisamente esta forma de multiplicación y lo que significa (de cada individuo se obtiene una colonia), lo que sirve de base para el establecimiento de las unidades de concentración utilizadas en la toma de muestras y análisis de microorganismos vivos y cultivables, de manera que se habla de unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (ufc/m³).

Existen diferentes herramientas para clasificar e identificar las bacterias, una de ellas, la macroscópica, implica la observación de las colonias, su forma, color, olor o tamaño. Otras consisten en la utilización de diferentes técnicas de análisis microbiológico, la más importante y utilizada es la tinción de Gram. Otras pruebas consisten en determinar su capacidad para utilizar diferentes elementos nutritivos, para producir metabolitos específicos, sus requerimientos de oxígeno o su capacidad de producir ciertas enfermedades en animales de experimentación.

La tinción de Gram pone de manifiesto la forma y el tamaño de la célula y permite clasificar las bacterias en dos grupos basados en la estructura y composición química de las envolturas bacterianas. La técnica utiliza dos colorantes: el violeta cristal y la safranina. Las bacterias Gram positivas (+) se ven de color violeta al observarlas al microscopio y las Gram negativas (-) se ven de color rosado - rojo (safranina).

Buena parte de las bacterias son formas de vida libre y contienen suficiente información genética y sistemas biosintéticos que les permiten su crecimiento y reproducción. Es lo que habitualmente se denominan "formas saprofitas". Unas pocas bacterias son parásitos obligados, precisando, por tanto, colonizar a otro ser vivo. Algunas bacterias saprofitas son patógenos oportunistas, es decir, invaden otros seres vivos pudiendo causar enfermedad en determinadas circunstancias, por ejemplo, cuando el sistema inmunitario del huésped no funciona bien.

Los efectos para la salud más importantes son los que se citan en la definición de agente biológico, es decir, infecciones, alergias o efectos tóxicos.

En la tabla se indican algunos ejemplos de las enfermedades causadas por bacterias.

Endotoxinas

Las endotoxinas forman parte de la pared celular de las bacterias Gram negativo. Se trata de sustancias químicas de tipo

EJEMPLOS DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS DE ORIGEN BACTERIANO

ENFERMEDAD	AGENTE CAUSAL	NOTAS
Enfermedades transmitidas por vía digestiva (Gram negativas)		
Fiebre tifoidea	<i>Salmonella typhi</i>	
Fiebres entéricas	<i>Salmonella typhimurium</i>	
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Una exotoxina actúa sobre las células de las mucosas provocando la pérdida de agua y electrolitos.
Disentería bacteriana	<i>Shigella dysenteriae</i>	
Enfermedades transmitidas por vía respiratoria a través de gotículas		
Difteria	<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Enfermedad mediada por una exotoxina.
Tuberculosis	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	
Peste (peste neumónica)	<i>Yersinia pestis</i>	
Infecciones estreptocócicas	<i>Streptococcus pyogenes</i>	Algunas cepas generan una toxina. En individuos sensibles se produce una erupción cutánea (escarlatina). La fiebre reumática es una secuela común de faringitis estreptocócicas recurrentes.
Neumonía neumocócica	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	
Enfermedades transmitidas por contacto directo		
Carbunco	<i>Bacillus anthracis</i>	A través de pequeñas abrasiones de la piel. También por inhalación de esporas.
Brucelosis	<i>Brucella abortus</i>	En los animales el agente se localiza en el útero embarazado
Gonorrea	<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	Contacto sexual.
Sífilis	<i>Treponema pallidum</i>	Espiroqueta. Contacto sexual.
Enfermedades transmitidas por vía parenteral		
Tétanos	<i>Clostridium tetani</i>	Forman esporas. Es un anaerobio (heridas necróticas), la infección ocurre en las capas profundas de la piel. Produce una neurotoxina muy potente.
Gangrena gaseosa	<i>Clostridium perfringens</i>	Su desarrollo va acompañado de la acumulación de gas hidrógeno y de la producción de exotoxinas.
Leptospirosis	<i>Leptospira interrogans</i>	Espiroqueta. Infección leve de roedores y animales domésticos. También puede contraerse por contacto con aguas contaminadas por la orina.

lipopolisacáridos, cuya inhalación se ha relacionado con la aparición de problemas respiratorios y generales.

En el año 1713 Ramazzini ya describió los síntomas pulmonares agudos que aparecen tras la respiración de polvo que contiene residuos vegetales. En 1942 se estableció de forma fehaciente la relación entre la presencia de bacterias Gram negativo y los síntomas pulmonares que presentaban los trabajadores de una hilatura de algodón.

Las bacterias Gram negativo se encuentran de forma natural en el medio ambiente, en particular en los vegetales y especialmente en la planta de algodón. Otro hábitat frecuente son las aguas estancadas en las que se multiplican rápidamente. Estas bacterias tienen pocos requisitos nutricionales y les basta con trazas de sales minerales. Algunos ejemplos son: *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp., *Salmonella* sp. o *Escherichia coli*.

Se ha comprobado que los efectos de las endotoxinas varían de unas especies bacterianas a otras, aunque todas ellas son muy solubles en agua y que con la temperatura se potencia su efecto tóxico.

Dependiendo de la dosis, se han demostrado efectos que van desde síndromes pseudogripales (fiebre, escalofríos, dolor, tos seca, presión torácica, etc.) hasta hipertensión, coagulación intravascular y *shock* letal.

LAS ENDOTOXINAS SON SUSTANCIAS QUÍMICAS TÓXICAS PRODUCIDAS POR BACTERIAS GRAM NEGATIVO

Los hongos son organismos eucariotas cuyas células tienen un núcleo que encierra los cromosomas. La célula de los hongos es similar a las de las plantas y las de los animales, con todos los orgánulos necesarios para su desarrollo. La célula está rodeada de una pared celular rígida, que está compuesta mayoritariamente por polisacáridos. Muchos hongos contienen sustancias denominadas glucanos que resultan tóxicas para las células animales. Los efectos asociados son inflamación no específica de las vías aéreas, fatiga y dolor de cabeza.

Los hongos pueden ser organismos unicelulares (levaduras) o estar formados por largas cadenas de células denominadas hifas. La masa de hifas se denomina micelio.

Los hongos tienen ciclos de vida complejos que incluyen tanto la reproducción sexual como la asexual. Los elementos reproductores (esporas) se producen en ambas situaciones. Las esporas son fácilmente transportables por el aire.

Hongos

LOS HONGOS SON MICROORGANISMOS COMPLEJOS. PUEDEN SER PARÁSITOS Y OCASIONAR INFECCIONES (MICOSIS), AUNQUE EL PRINCIPAL EFECTO ASOCIADO SON LAS ALERGIAS PROVOCADAS POR LA INHALACIÓN DE SUS ESPORAS

Los hongos forman parte de los microorganismos responsables de degradar la materia orgánica. Para ello, el micelio, que es esencialmente el órgano digestivo del hongo, segrega desde las diferentes ramas o hifas unos enzimas que digirirán los substratos donde crecen. En este punto son críticos: la disponibilidad de niveles adecuados de humedad, los compuestos de nitrógeno y algunos elementos tales como el azufre, el fósforo y el manganeso.

Durante el proceso de digestión, los hongos producen metabolitos secundarios que son los responsables de determinados efectos sobre el hombre; se trata de los antibióticos y de las micotoxinas. Los antibióticos, como la penicilina o la ciclosporina (utilizada como inmunosupresor en los trasplantes), tienen en general efectos beneficiosos salvo para algunas personas que pueden desarrollar alergias a estos productos. Las micotoxinas son sustancias perjudiciales para los hombres y los animales provocando efectos tóxicos, algunos de gravedad.

Los hongos también producen compuestos orgánicos volátiles responsables del clásico olor a húmedo de sótanos o locales mal ventilados. Entre los compuestos más representativos de este tipo están: los aldehídos, alcoholes como el etanol o el isopropanol, la acetona o el acetato de etilo.

EJEMPLOS DE INFECCIONES CAUSADAS POR HONGOS (MICOSIS)

ENFERMEDAD	AGENTE CAUSAL	NOTAS
Micosis sistémicas		
Criptococosis	<i>Cryptococcus neoformans</i>	Es un hongo que se encuentra en los excrementos de las palomas cuando están secos y fuera de la radiación solar, necesitan un medio alcalino y rico en sal. La exposición a los rayos solares o la presencia de amebas causa su rápida eliminación.
Histoplasmosis	<i>Histoplasma capsulatum</i>	Se encuentra en los excrementos de los estorninos, pero en este caso necesita agua y tierra.
Candidiasis	<i>Candida albicans</i>	Es un patógeno oportunista y puede causar infecciones sistémicas en personas inmunodeprimidas.
Micosis cutáneas		
Candidiasis	<i>Candida albicans</i>	Es más frecuente encontrarla en afecciones de la piel y de las mucosas

Las *reacciones alérgicas* pueden oscilar de una simple picazón a síntomas, moderados o severos, tales como: estornudos, lagrimeo, congestión nasal, dolor de cabeza, fiebre, dificultad de respiración, dolor en el pecho, diarrea y, en algunos casos, la muerte.

Los causantes inmediatos de las reacciones alérgicas son las esporas de casi todos los hongos y casi todas las personas son sensibles a ellas. La manifestación de los síntomas depende de la susceptibilidad individual.

Las infecciones causadas por hongos se denominan *micosis*. Éstas pueden ser sistémicas, afectando diferentes órganos internos (básicamente pulmones) o superficiales o cutáneas. En la tabla se indican algunos ejemplos de micosis.

Micotoxinas

Las micotoxinas son compuestos orgánicos tóxicos producidos por numerosos hongos. Se conocen al menos 50 compuestos fúngicos de los que se cree que pueden causar micotoxicosis en los humanos y en los animales. Diez de esos compuestos se han revelado como cancerígenos en animales de experimentación o en estudios epidemiológicos. Desde hace años se han descrito enfermedades que han sido atribuidas al consumo de cereales o arroz contaminado por hongos y por ello con un contenido elevado de micotoxinas.

Dos de los grupos de micotoxinas de especial relevancia son: las aflatoxinas y tricotecenos.

En 1961 con el descubrimiento de la aflatoxina y su poder carcinogénico se ponen en marcha numerosos estudios sobre este tipo de sustancias. Se comprueba que además de las intoxicaciones alimentarias, las enfermedades se pueden producir por la inhalación de micotoxinas.

Estudios toxicológicos revelan que las DL_{50} de algunos tricotecenos, por vía oral, son inferiores a 1 mg/kg de peso; y que las dosis por vía inhalatoria pueden ser entre 2 y 20 veces menores (mayor toxicidad). La ingestión crónica de pequeñas cantidades de toxina produce la inactivación de la función de la médula ósea, agranulocitosis, trombocitopenia y la muerte debida a infecciones oportunistas. La ingestión de dosis elevadas causa efectos en el sistema nervioso central y suelen ser fatales.

La producción de micotoxinas, en general, ocurre cuando las condiciones para el crecimiento del hongo empiezan a ser limitantes, por lo tanto, el hecho de encontrar en un ambiente especies de hongos productoras de micotoxinas no implica necesariamente la existencia de micotoxinas.

LAS MICOTOXINAS SON SUSTANCIAS
EXTREMADAMENTE TÓXICAS GENERADAS
POR HONGOS.

Los factores que afectan a la producción de micotoxinas son: la temperatura, el contenido en agua del material y la humedad relativa, la presencia de luz, el substrato, el contenido en O₂ y en CO₂, o combinaciones de algunos de estos factores.

Por ejemplo: *Fusarium* produce cantidades significativas de un tricoteceno a 15 °C y muy poca a temperaturas superiores; *Aspergillus flavus* aumenta la producción de aflatoxina cuando el nivel de CO₂ disminuye; algunas micotoxinas se producen cuando empieza a escasear el elemento clave del cultivo; *Aspergillus parasiticus* produce mayores cantidades de aflatoxina con luz que en la oscuridad a 20 °C, pero produce menos con luz que en la oscuridad a 30 °C.

Protozoos

Son organismos unicelulares con una organización compleja y variada y también son complejos su morfología y su ciclo de vida.

Los protozoos de interés clínico se dividen en grupos de acuerdo con el lugar en el que causan la infección. En la tabla se exponen algunos ejemplos.

EJEMPLOS DE ENFERMEDADES CAUSADAS POR PROTOZOOS

Intestino	<i>Entamoeba histolytica</i> , <i>Gardia lamblia</i>	Enteritis, amebiasis y giardiasis.
Sangre/Sistema hematopoyético	<i>Plasmodium falciparum</i> <i>Trypanosoma gambiensi</i> <i>Leishmania</i>	Malaria Enfermedad del sueño Anemia
Tracto genital	<i>Trichomonas vaginalis</i> .	Toxoplasmosis
Tejido parenquimático	<i>Pneumocystis carinii</i> , <i>Toxoplasma gondii</i>	Meningoencefalitis
Sistema nervioso	<i>Naegleria fowleri</i> , <i>Acanthamoeba</i> .	

Helmintos

Los helmintos o gusanos que tienen interés en prevención de riesgos son los que se conocen como macroparásitos. Son organismos pluricelulares con reproducción sexual por huevos y ciclos vitales complejos que a menudo implican varios huéspedes.

Algunos representantes de este grupo son *Ancylostoma duodenalis*, *Necator americanus* (Nematodos o gusanos cilíndricos). La enfermedad que causan es la anquilostomiasis que se caracteriza por ser una enfermedad debilitante que produce desnutrición y anemia.

Las hembras presentes en el intestino depositan los huevos que salen con las heces. Para el desarrollo larvario precisa de

suelos húmedos, cálidos y ricos en nutrientes. Las larvas pueden atravesar la piel y por los vasos sanguíneos y linfáticos alcanzan los pulmones y las vías respiratorias superiores desde donde son deglutidos llegando finalmente al intestino donde se inicia de nuevo el ciclo vital.

Las profesiones con mayor riesgo son aquéllas en las que se dan las condiciones necesarias para el desarrollo de estos gusanos como son: los trabajadores de minería y excavaciones; agricultores (arroz, café, plátanos, algodón, azúcar, tabaco); fabricantes de ladrillos; alfareros; horticultores, jardineros, etc.

EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLÓGICOS

La interacción entre un agente biológico y un ser humano no tiene necesariamente que ocasionar un efecto adverso para la salud. Para que se produzca una enfermedad o daño en la salud del huésped es preciso que se den las siguientes condiciones:

- 1) El agente biológico debe ser patógeno.
- 2) Debe existir un reservorio, es decir, un lugar con un substrato alimenticio en el que se den, además, las condiciones ambientales que permitan que un número suficiente de microorganismos viva y se reproduzca.
- 3) El agente biológico debe dispersarse, es decir, debe ser capaz de desplazarse por el entorno en algún soporte o portador (por ejemplo: bioaerosoles, vectores tales como mosquitos o ratas, etc.).
- 4) Debe existir una vía de entrada al organismo del nuevo hospedador (inhalación, ingestión, grietas en la piel, membranas mucosas, vía parenteral, etc.)
- 5) El nuevo hospedador debe ser susceptible al agente en cuestión.

Si cualquiera de estas condiciones no se cumple, no es posible la aparición de una enfermedad. Estas cinco condiciones definen la cadena de infección y las diferentes estrategias preventivas tienen como objetivo romper esta cadena en alguno o varios de sus eslabones.

Los contaminantes biológicos pueden acceder al interior del organismo humano a través de las mismas vías de penetración que los contaminantes químicos, aunque en este caso la importancia relativa de cada una de las diferentes vías está definida por el sector de actividad y las operaciones que se realicen.

Vías de entrada

Vía respiratoria

Supone la inhalación de agentes biológicos presentes en el aire, normalmente asociados a partículas sólidas o líquidas, formando lo que se denomina un “bioaerosol”. Los mecanismos de formación de bioaerosoles son muy variados, por ejemplo: agitación de cultivos microbiológicos, centrifugación de muestras biológicas, autopsias, nacimiento de animales, inoculaciones intranasales, procesos de acondicionamiento del aire (torres de refrigeración, humidificadores), fabricación de compost.

Vía dérmica

EN LA EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLÓGICOS LA IMPORTANCIA DE LA VÍA DE ENTRADA ESTÁ CONDICIONADA POR LA ACTIVIDAD LABORAL DESARROLLADA

El agente biológico o el material que lo contiene entran en contacto, ya sea directo o indirecto, con la piel y las mucosas de la persona. En ocasiones, son gotas de gran tamaño del bioaerosol las que se depositan sobre las manos, los ojos o las vías respiratorias superiores (boca, nariz y garganta); en otras ocasiones, es el contacto directo con personas infectadas o sus heridas y también el contacto con objetos contaminados, ropa, objetos o instrumentos, sangre u otros fluidos biológicos.

Vía digestiva

En general, se produce por la ingestión de alimentos o bebidas contaminados y por la transmisión manos - boca. También, pero con una importancia menor, por la ingestión de sangre, fluidos o cultivos contaminados.

Vía parenteral

Supone la entrada del agente en las capas profundas de la piel debida a pinchazos, cortes, heridas, mordiscos, arañazos o picaduras de insectos.

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLÓGICOS

En el artículo 4 del Real Decreto 664/1997, “Identificación y evaluación de riesgos”, se indica: “...*identificados uno o más riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, se procederá, para aquellos que no hayan podido evitarse, a evaluar los mismos determinando la naturaleza, el grado y duración de la exposición de los trabajadores...*”. El artículo sigue diciendo que para dicha evaluación se tendrá en cuenta toda la información disponible y, en particular la naturaleza de los agen-

tes biológicos a los que los trabajadores estén o puedan estar expuestos y el grupo a que pertenecen (anexo II).

En el artículo 3 del RD 664/1997 se dan las definiciones y criterios para la clasificación de los agentes biológicos. Es conveniente recordar que la clasificación tiene en cuenta los posibles efectos sobre trabajadores sanos sin tomar en consideración los efectos que pudieran tener en trabajadores cuya sensibilidad estuviera afectada por causas tales como una patología previa, medicación, trastornos inmunitarios, embarazo o lactancia. La definición de los cuatro grupos es la siguiente:

Grupo 1.- Pertenecen a este grupo los agentes biológicos que es poco probable que causen una enfermedad en el hombre.

Grupo 2.- Son los agentes biológicos que pueden causar una enfermedad en el hombre y, por tanto, constituyen un peligro para los trabajadores, pero es poco probable que se transmita a la colectividad y generalmente existe una profilaxis o un tratamiento eficaz.

Grupo 3.- Son agentes biológicos que pueden causar una enfermedad grave en el hombre y presentan un peligro serio para los trabajadores, con posibilidad elevada de que se propague a la colectividad aunque generalmente existe una profilaxis o tratamiento eficaz.

Grupo 4.- Son agentes biológicos que causan una enfermedad grave en el hombre y son un peligro serio para los trabajadores, con posibilidad elevada de que se propague a la colectividad y sin que exista una profilaxis o tratamiento adecuado.

Los criterios seguidos para la inclusión de un agente biológico en un grupo de riesgo son, fundamentalmente, la capacidad del agente para causar infección en personas sanas y, cuando se disponga de la información, los efectos alérgicos y tóxicos del mismo. En consecuencia, dicha clasificación supone la valoración del riesgo intrínseco de los agentes biológicos incluidos.

El Anexo II del RD 664/1997 y la Orden de 25 de marzo de 1998 contienen una lista de los agentes biológicos clasificados en los grupos 2, 3 y 4 junto con indicaciones útiles para la pla-

CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS

Características del agente	Grupo de riesgo			
	1	2	3	4
Es fácil que ocasione una enfermedad	NO	SÍ	SÍ	SÍ
La enfermedad se propaga fácilmente		NO	SÍ	SÍ
Se dispone de un tratamiento eficaz			SÍ	NO

nificación de las medidas preventivas. Al final del capítulo se reproduce este Anexo.

La propia complejidad de los agentes biológicos, la diferente respuesta de los individuos así como la variedad de situaciones de trabajo en las que puede haber exposición, hacen complejo establecer una metodología de evaluación común para todos ellos. El hecho diferencial viene dado por el tipo de actividad. En la norma se habla de actividades en las que hay intención deliberada de manipular agentes biológicos, es decir, trabajar con ellos cultivándolos o concentrándolos, y de actividades en las que no existe dicha intención, pero en las que puede haber exposición dada la naturaleza de la actividad. El primero de los casos supone que el agente biológico forma parte esencial del proceso de trabajo y, por tanto, está identificado y se conocen sus características, lo que facilita el establecimiento de una metodología para la evaluación de riesgos. En el segundo de los casos, el agente biológico no forma parte del proceso de trabajo, es más,

mejor si no está presente, pero atendiendo a la naturaleza de la actividad puede llegar a estarlo. A menudo se conocen los agentes biológicos típicos del sector de actividad, pero no se sabe cuáles de ellos pueden estar presentes en la situación de trabajo que se debe evaluar ni siquiera si

en ese momento están todavía presentes. Estos hechos dificultan el establecimiento de metodologías más o menos estandarizadas que permitan evaluar la situación.

LA INFORMACIÓN PREVIA SOBRE ACTIVIDADES EN LAS QUE ES FRECUENTE LA PRESENCIA DE AGENTES BIOLÓGICOS ES UN DATO FUNDAMENTAL PARA EVALUAR LAS EXPOSICIONES

ACTIVIDADES CON EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLÓGICOS

Tipo de actividad	Ejemplos
Actividades con intención deliberada de manipular agentes biológicos	Laboratorios de diagnóstico microbiológico
	Trabajos de investigación con agentes biológicos y/o con animales deliberadamente infectados
	Procesos industriales biotecnológicos
Actividades sin intención deliberada de manipular agentes biológicos	Trabajos en centros de producción de alimentos
	Trabajos agrarios
	Actividades en las que existe contacto con animales o con productos de origen animal
	Trabajos de asistencia sanitaria, comprendidos los desarrollados en servicios de aislamiento y de anatomía patológica
	Trabajos en laboratorios clínicos, veterinarios, de diagnóstico y de investigación, con exclusión de los laboratorios de diagnóstico microbiológico
	Trabajos en unidades de eliminación de residuos
Trabajos en instalaciones depuradoras de aguas residuales	

Los riesgos asociados a la exposición a agentes biológicos se pueden considerar como consecuencia de dos situaciones diferentes. En un caso, el daño ocurre tras la existencia de un accidente laboral habitualmente declarado, investigado y con causas casi siempre conocidas; en el otro caso, el efecto adverso es fruto de una exposición laboral similar a la exposición a agentes químicos, en la que un contaminante puede estar presente en el ambiente, en una concentración indeterminada que puede o no causar un daño en la salud de las personas.

La evaluación higiénica implica, en la mayor parte de los casos, la aplicación de una metodología que consiste en los siguientes pasos:

1. La identificación del agente, de sus focos de contaminación, del proceso productivo que lo ha originado, de sus características toxicológicas, en definitiva: de la recogida de toda aquella información que ayude a conocer la situación de riesgo.
2. La medición del contaminante que permitirá conocer cuáles son las concentraciones o niveles del agente en el ambiente de trabajo.
3. La valoración de la situación. En este punto es preciso contar con unos criterios de valoración que permitan la comparación de los mismos con los resultados de la medición y emitir un juicio sobre la situación, es decir, si ésta es segura o si es peligrosa.

Tras la valoración y en función de su resultado se concretan, si es necesario, las medidas correctoras y preventivas para conseguir una situación de trabajo segura.

Al aplicar esta metodología a la evaluación de las exposiciones a agentes biológicos se observan ligeros desajustes. Es cierto que se puede disponer o reunir bastante información sobre los posibles agentes, sus características vitales, ecología, peligrosidad, mecanismos de transmisión y sobre los focos de contaminación, pero no hay que olvidar que en muchas actividades se desconoce el/los tipos de agentes biológicos que pueden llegar a estar presentes, y, si se dispone de dicha información, el rasgo que caracteriza la exposición es la incertidumbre sobre la presencia de un agente patógeno.

También es cierto que se dispone de equipos para la medición de la contaminación biológica y, por lo tanto, se pueden conocer los niveles de concentración en la situación estudiada, pero hay que tener en cuenta que los métodos de medición de agentes biológicos presentan una serie de limitaciones que tienen como consecuencia la escasa fiabilidad de los resultados. Estas limitaciones se podrían resumir en la falta de homóloga-

Metodología de evaluación higiénica

ción y validación de los métodos disponibles tanto para la toma de muestras como para la detección y análisis de los diferentes tipos de agentes biológicos.

En cuanto a la valoración, rara vez se podrá efectuar una valoración ambiental cuantitativa semejante a las que se realizan en la evaluación de la exposición a agentes químicos. La razón radica en que, por el momento, no están establecidos criterios de valoración cuantitativos para todos los tipos de contaminantes de origen biológico que permitan emitir un juicio rápido sobre la peligrosidad de la situación.

Estas limitaciones hacen que la metodología de evaluación de la exposición a agentes biológicos necesite de un trabajo previo de análisis en el que, partiendo de la máxima información disponible sobre la actividad laboral en estudio, se puedan definir los puntos clave que debe contener la metodología de evaluación y que permitan de la forma más fiable posible alcanzar el objetivo planteado, que no es otro que evitar o limitar la exposición.

Como se ha indicado anteriormente, el aspecto clave es la recogida de información sobre la situación de trabajo. De esta tarea deberían surgir los indicios que permitieran elaborar las hipótesis de trabajo y, en consecuencia, la necesidad o no de cuantificar el riesgo a través de mediciones y del establecimiento de algún tipo de criterio de valoración, y las medidas preventivas adecuadas para el control del riesgo analizado.

EN LA EVALUACIÓN DE EXPOSICIONES
A AGENTES BIOLÓGICOS
LA CONCENTRACIÓN AMBIENTAL
DEL AGENTE ES UN DATO CON UN
SIGNIFICADO RELATIVO

A continuación se detallan los aspectos básicos que definirían tanto una metodología de evaluación cualitativa, es decir, en la que se ha optado por prescindir de la medición para evaluar el riesgo, como una metodología de evaluación cuantitativa en la que sí se contempla la medición. En este

último caso y dadas las limitaciones que presenta, es necesario planificar cuidadosamente la misma diseñando simultáneamente la estrategia de muestreo que proporcione resultados representativos y fiables y los criterios que se utilizarán para la valoración de los resultados.

Metodología de evaluación cualitativa

La metodología de evaluación cualitativa pretende categorizar los riesgos asociados a una actividad en la que hay o puede haber exposición a un agente contaminante. Esta categorización se basa en el estudio de la situación de trabajo y en la experiencia profesional del higienista que permiten, a la luz de la información obtenida, establecer si el riesgo identificado podría ser, por ejemplo, “aceptable”, “mejorable” o “inaceptable”. La elección

de una de estas categorías conlleva el desarrollo de un programa de actuaciones tendentes a mantener, mejorar o corregir el resultado de la evaluación.

Normalmente, estas metodologías se fundamentan en el estudio de la probabilidad de la exposición y en las consecuencias que puede sufrir el trabajador.

Una posible metodología de evaluación cualitativa de la exposición o posible exposición a agentes biológicos podría consistir en los siguientes pasos:

Obtención de toda la información necesaria sobre:

- La actividad y procesos, lo que permite determinar los agentes biológicos típicamente asociados a la misma, la localización de los focos de contaminación y las posibilidades de generación de los agentes.
- Los agentes biológicos, fundamentalmente la peligrosidad de los mismos en cuanto al riesgo de infección, efectos alérgicos o tóxicos, requisitos vitales, enfermedades que ocasiona y su tratamiento, etc.
- Los trabajadores, principalmente el conocimiento de su estado inmunitario, las especiales sensibilidades, la vacunación, enfermedades ocurridas, etc.
- El lugar de trabajo, para la valoración de posibles zonas, instalaciones o materiales que puedan actuar como reservorios.
- Las medidas preventivas destinadas a impedir la colonización de los reservorios, por ejemplo la limitación de la disponibilidad de agua para evitar la proliferación, la modificación de los parámetros ambientales fuera de los valores que les son imprescindibles para su supervivencia, la implantación de las medidas de contención para evitar su liberación y dispersión, etc.

Valoración del nivel de riesgo:

En este punto se trata de, en función del análisis de la información obtenida, asignar un nivel de riesgo a la situación de trabajo estudiada. Los niveles de riesgo se obtienen al cruzar la posibilidad de exposición con el grupo de riesgo en el que esté clasificado el agente biológico que indica la peligrosidad intrínseca del agente.

En cualquier evaluación de riesgos se da por supuesta la presencia del agente contaminante. En el caso de los agentes biológicos es obvio que para que se produzca un efecto adverso, el agente peligroso debe estar presente. Sin embargo, la certeza de su presencia no es evidente en todas las actividades laborales para las que se considera este riesgo.

NIVEL DE RIESGO					
Riesgo intrínseco del agente biológico					
Exposición	G1	G2	G3	G4	
BAJA	1	2B	3	4	
MEDIA	1	3	4	4	
ALTA	2A	4	4	4	
1	Acceptable	2B	Mejorable	4	Inaceptable
2A	Acceptable bajo	3	Deficiente		

En las actividades en las que sí existe intención deliberada de manipular agentes biológicos, la presencia del agente es clara; en cambio, en las actividades, que de modo indicativo se recogen en el anexo I del RD 664/1997, esa presencia, consecuencia de la naturaleza de la actividad, viene definida por la “incertidumbre”.

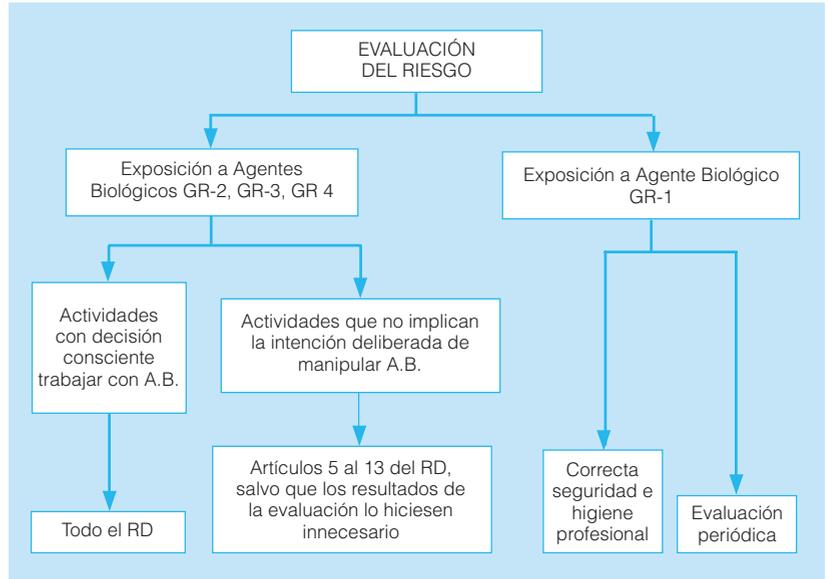
En algunas actividades, por ejemplo, la eliminación de residuos o la depuración de aguas residuales, la incertidumbre sobre la presencia de agentes biológicos es prácticamente inexistente. En otras actividades, como el trabajo con animales o la asistencia sanitaria, el grado de incertidumbre puede variar del mínimo al máximo. Por ejemplo, la incertidumbre es mínima cuando se trabaja en salas de aislamiento con enfermos infecciosos, pero puede ser máxima en un servicio de urgencias en el que no hay tiempo para conocer si la persona ingresada padece una enfermedad infecciosa o si es portador asintomático. Todavía hay otras actividades, como las agrícolas y alimentarias, en las que la presencia de agentes biológicos puede depender, además de las circunstancias anteriores, de si las condiciones en que se trabaja permiten la colonización y proliferación de agentes biológicos en los materiales manejados, por ejemplo: deficientes condiciones ambientales en el almacenamiento de grano, alimentos, productos vegetales, etc.; inundaciones, acumulación de suciedad por falta de limpieza, existencia de plagas, etc.

Para poder realizar la evaluación de riesgos y ante la práctica imposibilidad de concretar el grado de incertidumbre en muchas situaciones, es necesario proceder como si los agentes biológicos estuvieran presentes. Partiendo de esa asunción y de la peligrosidad asociada a los agentes biológicos establecer el nivel de riesgo que determinará la política preventiva a seguir.

Los niveles de posibilidad de exposición se determinan en función de diferentes factores que comprenden la posibilidad de emisión de bioaerosoles, la frecuencia de contacto con personas, animales y/o materiales, y las cantidades manejadas. De tal ma-

nera que la posibilidad de exposición se considera “ALTA” cuando la generación de bioaerosoles es elevada o moderada pero continuada, cuando la frecuencia de contacto es elevada, por ejemplo, más del 75% de la jornada laboral o cuando se manejan grandes cantidades de materiales susceptibles de estar contaminados. La posibilidad de exposición se considera “MEDIA” cuando la generación de bioaerosoles es moderada y no continuada o elevada pero esporádica; cuando la frecuencia de contacto no supera el 50% de la jornada o cuando las cantidades de material manejado son medias. Finalmente, la posibilidad de exposición se considera “BAJA” cuando la generación de bioaerosoles es escasa o moderada pero esporádica; cuando la frecuencia de contacto es baja, menos del 20% de la jornada o cuando se manejan pequeñas cantidades de materiales susceptibles de estar contaminados. En la tabla se indican algunos ejemplos de lo indicado.

POSIBLE EXPOSICIÓN	
Posibilidad de exposición	Ejemplos
ALTA	centros de selección de residuos urbanos
	limpieza con agua a presión
	agitación de aguas residuales
	dispersión de lodos de depuradoras
	manipulación de grano almacenado
	limpieza y/o sustitución de materiales tras inundación
	grandes excavaciones, movimientos de tierra
	industria biotecnológica
	asistencia sanitaria (grandes hospitales)
	manipulación de sangre y fluidos biológicos
tratamiento y eliminación de residuos sanitarios	
asistentes sociales y fuerzas de seguridad	
MEDIA	fabricación de compost
	procesos de limpieza de instalaciones de ventilación y climatización
	manipulación de animales y/o sus productos
	tareas agrícolas
	sustitución de materiales humedecidos por escapes de agua
	industria biotecnológica
	asistencia sanitaria (hospitales medianos), grandes centros de asistencia primaria
	manipulación de sangre y fluidos biológicos
	recogida y almacenamiento de residuos sanitarios
	asistentes sociales y fuerzas de seguridad
BAJA	laboratorios de análisis clínicos
	trabajos de investigación
	trabajo con animales de experimentación
	clínicas veterinarias
	industria biotecnológica
	industria alimentaria



Aplicación de las medidas preventivas

En el artículo 4 del RD 664/1997 y en la Guía técnica se proporcionan las indicaciones sobre la aplicación del articulado de la norma basadas en el resultado de la evaluación.

De las tres vías, la que presenta menos dificultades de interpretación es aquella en la que la evaluación revela exposición a agentes biológicos de los grupos de riesgo 2, 3 ó 4 y la actividad implica una intención deliberada de manipular agentes biológicos. Este tipo de actividades suponen la necesaria presencia de un agente biológico para el desarrollo del proceso productivo, en consecuencia, es posible disponer de toda la información necesaria sobre el agente y las consecuencias de la exposición al mismo. Se aplicarán, por tanto, los artículos del 5 al 15, en especial este último que contiene las indicaciones para el establecimiento de los niveles de contención de los lugares donde se desarrolla el trabajo con los agentes biológicos.

Otra de las vías es aquella que el resultado de la evaluación revela exposición o posible exposición a agentes biológicos del grupo 1 en cuyo caso no serán de aplicación los artículos 5 al 15, aunque se observarán los principios de correcta seguridad e higiene profesional. Finalmente, la vía más compleja corresponde a situaciones en las que el resultado de la evaluación indica exposición a agentes biológicos de los grupos 2, 3 ó 4, pero la actividad no supone intención deliberada de manipular agentes biológicos. En esos casos, se aplicarán los artículos del 5 al 13, salvo que el resultado de la evaluación lo hiciese innecesario. A título de ejemplo, es obvio que el artículo 5 "Substitución" no es de

aplicación cuando la actividad no implica el trabajo con agentes biológicos. No es posible sustituir algo con lo que no se trabaja y que ni siquiera se sabe si está presente o no. Sin embargo, en la aplicación de otros artículos o apartados habrá que hacer uso del conocimiento de la actividad, de la experiencia y del sentido común para delimitar el grado de exigencia en el cumplimiento de determinadas medidas.

Los valores obtenidos en la valoración del nivel de riesgo indicarán las líneas maestras para el desarrollo de la política preventiva a desarrollar en cada situación de trabajo estudiada, así como el nivel de exigencia de su cumplimiento, como se indica en la siguiente tabla.

Nivel de riesgo	Actuaciones preventivas recomendadas
1 Aceptable	Mantener medidas básicas de seguridad e higiene.
2A Aceptable bajo	Mantener medidas básicas de seguridad e higiene. Actuar sobre las causas que conducen a una exposición alta, por ejemplo: modificar proceso para minimizar la formación de bioaerosoles, extracción localizada, mejorar la eficacia de la ventilación, instaurar o mejorar los programas de limpieza de las instalaciones.
2B Mejorable	Actuar sobre el agente biológico: valorar la posibilidad de sustitución del agente. Controlar los parámetros que definen los requisitos vitales del agente para impedir y/o limitar su presencia. Actuar sobre el trabajador: vacunación cuando esté disponible y sea eficaz, adecuación de equipos de protección individual (EPI). Cumplimiento de las medidas de contención cuando sean de aplicación.
3 Deficiente	Actuar sobre el agente biológico: valorar la posibilidad de sustitución del agente. Controlar los parámetros que definen los requisitos vitales del agente para impedir y/o limitar su presencia. Actuar sobre las causas de la exposición: procesos cerrados, cabinas de seguridad biológica, equipos y materiales de bioseguridad, procedimientos de limpieza y desinfección, control de plagas. Programas para recogida selectiva, su almacenamiento, tratamiento y eliminación de residuos contaminados o sospechosos de estarlo. Cumplimiento de las medidas de contención cuando sean de aplicación. Actuar sobre el trabajador: vacunación, vigilancia de la salud, adecuación de los EPI.
4 Inaceptable	Actuar sobre el agente biológico: valorar la posibilidad de sustitución del agente. Controlar los parámetros que definen los requisitos vitales del agente para impedir y/o limitar su presencia. Actuar sobre las causas de la exposición: encerramiento del proceso, mantenimiento preventivo de todas las instalaciones, cabinas de seguridad biológica, control de la eficacia de los sistemas de extracción localizada, sistemas de ventilación general independientes con elementos o sistemas de depuración del aire extraído, utilización de equipos y materiales de bioseguridad, procedimientos de limpieza y desinfección, control de plagas. Máxima exigencia en aplicación y cumplimiento de las medidas de contención cuando sean de aplicación. Existencia de planes de emergencia. Actuación inmediata en caso de emergencia. Programas para recogida selectiva, su almacenamiento, tratamiento y eliminación de residuos contaminados o sospechosos de estarlo. Actuar sobre el trabajador: vacunación cuando esté disponible y sea eficaz, vigilancia de salud, limitar o evitar la presencia de trabajadores no inmunizados. Adecuación de los EPI. Máximo cumplimiento de las medidas de higiene personal.

Metodología de evaluación cuantitativa

Es conveniente resaltar que cuando se decide que la cuantificación del riesgo es necesaria, ésta requiere de un proceso cuidadoso de planificación mediante el cual poder establecer la estrategia de muestreo que permita asegurar tanto la representatividad de las mediciones como la fiabilidad de los resultados. Simultáneamente, se deberán definir los criterios que van a ser utilizados para la valoración. Es importante definirlos previamente, ya que en muchos casos, su establecimiento formará parte de la medición.

Con la medición se persigue determinar la concentración de los agentes contaminantes en un ambiente. Hasta donde fuera posible, la proporción relativa de un agente biológico en una muestra debería reflejar su proporción en el material original. Para lograr este objetivo, la muestra debe ser manipulada de tal forma que no se deteriore o pueda ser contaminada durante su captación, transporte y análisis, y que los agentes biológicos sufran los mínimos cambios posibles. Sin embargo, es un hecho que los resultados obtenidos en una medición ambiental no son siempre fiables, fáciles de interpretar y que unos datos incompletos sobre la exposición a agentes biológicos pueden confundir, complicar un estudio y conducir a conclusiones erróneas.

Por lo tanto, al iniciar la evaluación de una posible exposición a agentes biológicos hay que tener claro de que manera la medición puede ayudar o complicar la resolución de la misma. La experiencia profesional y el conocimiento sobre los agentes biológicos son la clave a la hora de decidir efectuar o no la medición, que no siempre va a ser posible o necesaria. Si finalmente se decide llevar a cabo la medición, ésta debe dar respuesta a una de las diversas cuestiones que deben guiar la planificación de la misma. Esta cuestión, "*por qué hay que medir*", permite definir el objetivo de la medición. Una estrategia de muestreo debe dar respuesta, además, a otra serie de cuestiones como son: "*qué*" agentes biológicos de los que componen un bioaerosol se deben medir, "*dónde*" y "*cuándo*" se deben tomar las muestras, "*cómo*", es decir, con qué recursos se cuenta para realizar la medición y "*cuántas*" muestras se deben tomar para obtener la máxima fiabilidad de los resultados.

Objetivo de la medición: ¿Por qué?

La medición de bioaerosoles se lleva a cabo por tres razones fundamentales: en primer lugar, para dar cumplimiento a los requisitos legales o técnicos que, a menudo, establecen la exigencia de la medición, pero no especifican ni la metodología ni los criterios de valoración que deben ser usados; en segundo lugar, para obtener datos epidemiológicos; y, en tercer lugar, por motivos de interés científico e investigación.

En las investigaciones de la exposición laboral a bioaerosoles y en el análisis de calidad de aire interior, la medición puede ser utilizada para caracterizar (nivel y tipo) la contaminación típica o de fondo y para identificar posibles desviaciones sobre ese fondo.

Otras razones específicas para la medición son: conocer la exposición, localizar focos de contaminación, comprobar la eficacia de las medidas de control y medir la liberación de bioaerosoles, ya se haya producido de forma accidental o deliberada.

Los bioaerosoles son mezclas complejas de partículas suspendidas en aire compuestas por o derivadas de los agentes biológicos, incluyendo: los microorganismos vivos, cultivables y no cultivables, los microorganismos muertos, sus fragmentos, toxinas y partículas producto de los desechos de todo tipo de la materia viva, que pueden causar determinados efectos adversos para la salud.

Los bioaerosoles están omnipresentes en la naturaleza, por lo que las personas están expuestas repetidamente, día tras día, a una amplia variedad de estos contaminantes. No obstante, dependiendo de la actividad desarrollada, se puede perfilar la composición de los bioaerosoles, es decir, determinar los agentes biológicos más probables asociados al sector de actividad y determinar, a tenor de los posibles efectos para la salud, las distintas formas en que pueden estar presentes.

En líneas generales, la decisión sobre dónde y cuándo medir dependerá de la necesidad que haya de establecer las exposiciones promedio de los trabajadores o bien de caracterizar la exposición más adversa. En estos casos, además y con fines de comparación, sería necesario conocer los niveles de fondo, es decir establecer la "línea de base" de la contaminación; o conocer los niveles de la situación más favorable, que podrían ser establecidos midiendo en el exterior, en zonas tomadas como control o durante períodos de inactividad.

Para establecer exposiciones promedio que representen a una población, las muestras deberían cubrir el rango completo de exposiciones y condiciones. Una forma de lograrlo sería seleccionando los tiempos y puntos de medición aleatoriamente, de manera que todas las personas y períodos de tiempo de trabajo tuvieran la misma probabilidad de ser muestreados.

La utilización de este método puede no ser siempre aplicable debido a la imposibilidad de identificar los focos o de determinar con exactitud la duración del tiempo de trabajo, en esos

Naturaleza de los agentes biológicos: ¿Qué?

¿Dónde y cuándo medir?

casos, es recomendable optar por un muestreo sistemático, por ejemplo: muestrear los primeros 10 minutos de cada hora de trabajo, habida cuenta que ese período sea representativo del trabajo que se realiza.

Los límites de exposición laboral se establecen como concentraciones permisibles para un tiempo promedio, típicamente estos tiempos son de ocho horas al día y cuarenta horas semanales o de quince minutos para exposiciones de corta duración, determinados en función de si los posibles efectos son de tipo crónico o agudo.

Para el estudio de los riesgos para la salud a largo plazo o crónicos, los métodos de medición recomendables serían aquellos que permitieran tiempos de muestreo largos, por ejemplo, los equipos de toma de muestra en filtros, aunque éste no sea el método más recomendable si lo que se está buscando son agentes biológicos vivos y cultivables. Otro sistema sería la toma de muestras secuenciales que cubrieran todo el período de exposición, por ejemplo, los sistemas basados en la impactación de las partículas del bioaerosol en medio de cultivo. De nuevo este método sería parcial, ya que sólo daría información sobre los agentes biológicos vivos y cultivables.

Para estudiar los efectos agudos, lo deseable sería poder caracterizar los picos de emisión de la contaminación. Es probable, aunque no seguro, que esta emisión ocurra cuando la actividad sea máxima, por lo tanto el muestreo durante la peor situación puede ayudar a identificarlos.

Selección del equipo de toma de muestras: ¿Cómo?

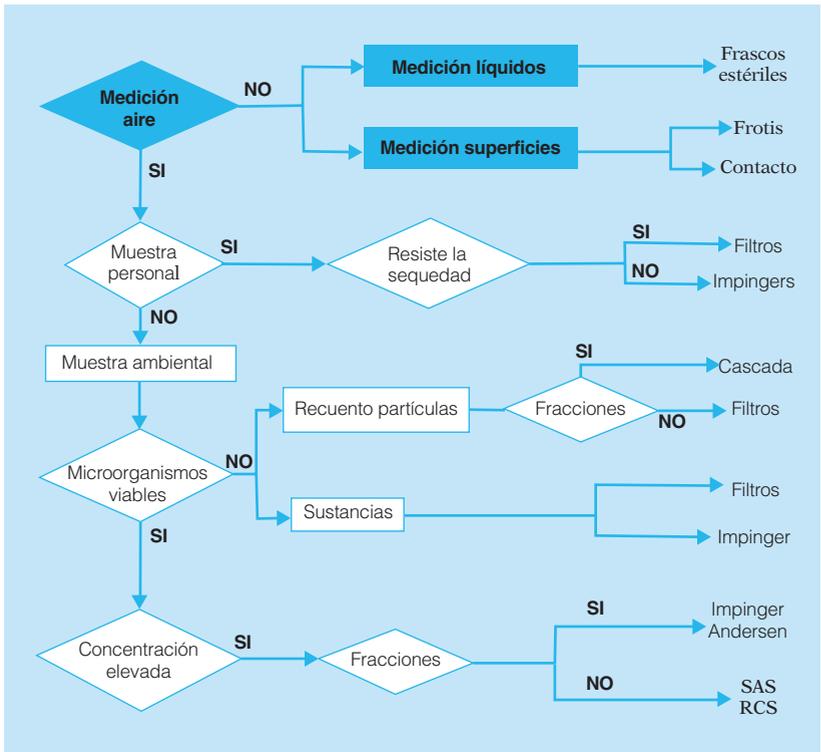
La selección de uno o varios equipos de medición está directamente ligada a: la naturaleza de los agentes biológicos que se haya decidido medir, el ensayo analítico para su identificación y/o cuantificación y los lugares y períodos en los que se deba tomar la muestra. En el diagrama de la siguiente página se muestra el esquema de elección de muestreador en función del tipo de contaminante buscado.

Número de muestras: ¿Cuántas?

El número de muestras que se han de tomar, habitualmente está asociado a diversas consideraciones entre las que se pueden destacar:

- El objetivo de la medición.
- La variabilidad espacial y temporal del parámetro medido.
- Las limitaciones del equipo.
- Los técnicos disponibles para efectuar el estudio.

Las mediciones y las diferencias entre conjuntos de muestras son más precisas cuanto mayor sea el tamaño de la muestra.



La Estadística puede ayudar a los investigadores a calcular el número de muestras que son necesarias para discernir diferencias de magnitud al ser fijados una probabilidad de detección y un nivel de confianza. Pequeñas diferencias, altas probabilidades de detección y niveles de confianza altos requieren de un número elevado de muestras. En la tabla siguiente se resume, a modo de sugerencia, el número de muestras necesario.

NÚMERO DE MUESTRAS	
Objetivo de la medición	Propuestas
Exposición por inhalación (peor de las situaciones)	Tomar 3 o más muestras no aleatorias. Las muestras serán por duplicado, como mínimo para todos los análisis.
Exposición por inhalación (concentración promedio)	Muestrear 3 o más veces en un día, durante 3 o más días consecutivos que sean representativos. Las muestras serán por duplicado, como mínimo para todos los análisis.
Estimación del intervalo de confianza de la media	Tomar 6 o más muestras.
Estimación de la varianza de un conjunto de mediciones	Tomar 11 o más muestras.

Para caracterizar completamente la exposición puede ser necesario repetir el muestreo durante diferentes estaciones climáticas (este hecho puede afectar a la presencia y desarrollo de agentes biológicos), o cuando se modifiquen los patrones de la actividad.

Es conveniente recordar que el “número de muestras” significa cuántas muestras se han de tomar para cada tipo de parámetro de interés que se haya decidido muestrear y no el número de los diferentes tipos de muestra.

Métodos de muestreo

Muchos de los instrumentos utilizados en la captación de agentes biológicos son modificaciones de los utilizados en higiene industrial para la medición de compuestos químicos. La característica que los diferencia es el propio agente contaminante y el soporte de captación.

Cuando se trata de agentes biológicos vivos y cultivables, por ejemplo, bacterias y hongos, el soporte de retención debe ser tal que asegure su viabilidad, es decir, debe ser un soporte que no destruya el organismo y que lo mantenga con vida hasta el análisis. El soporte de retención más adecuado para la captación de agentes biológicos vivos son los medios de cultivo gelatinosos con sustancias nutrientes. La captación de sustancias, fragmentos o esporas se puede realizar utilizando otro tipo de soportes, por ejemplo, los filtros.

Los métodos de toma de muestra de agentes biológicos se pueden clasificar en tres grupos principales dependiendo del medio que se ha de muestrear.

Muestreo del aire

Sedimentación: el sistema más simple consiste en utilizar *placas de Petri* abiertas con agar nutritivo en las que las partículas con los agentes biológicos asociados se depositarán por efecto de la gravedad. Este método es útil cuando el tamaño de partícula es grande y el aire está en calma; de este modo las partículas pueden sedimentar, aunque como inconveniente, las partículas más pequeñas no son captadas, ya que permanecen suspendidas en el aire. La información que proporcionan es únicamente cualitativa, ya que no es posible estimar el volumen de aire que ha pasado sobre la placa.

Recolectores inerciales: estos equipos se basan en su capacidad de retirar del aire las partículas y de atraparlas sobre el soporte de retención. Los principios de captación son: por impactación en medio sólido (muestreador Andersen, SAS), impactación en medio líquido (frascos borboteadores *Impingers*) o por centrifugación (RCS). Algunos de estos equipos permiten la separación por tamaño de partículas.

Todos ellos están calibrados a un caudal determinado de aspiración de aire y disponen de un programador de tiempo, lo que permite decidir el volumen de aire que se ha de muestrear. Este es un factor clave de la medición ya que, seleccionar el volumen de muestreo adecuado en cada situación, va a permitir la obtención de muestras útiles. Volúmenes de aire bajos en ambientes muy limpios pueden conducir a resultados tipo “No detectado” aunque en el ambiente sí haya presencia de agentes biológicos. De igual forma volúmenes de aire excesivos en ambientes sucios suelen dar como resultado “Incontables”. Ambos tipos de resultados deberían ser desechados y el muestreo repetido para poder obtener información precisa.

El resultado se expresa en unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire muestreado (ufc/m³)

Muestreo de superficies

Esta técnica tiene un interés especial puesto que permite determinar la posible contaminación por agentes biológicos de las materias primas, de los productos o de las propias personas. Dicha contaminación puede tener su origen en los instrumentos de trabajo, las ropas, las manos, el mobiliario o los elementos de construcción que por sus características o por una deficiente desinfección pueden convertirse en reservorios de agentes biológicos.

Frótis: este método consiste en la recogida del material depositado en las superficies con torundas estériles de algodón. Tras el muestreo se puede proceder a la siembra del material recogido aplicando directamente la torunda sobre el medio de cultivo o se puede lavar la torunda con un diluyente estéril y sembrar después el líquido obtenido. En general, este método no permite realizar estimaciones cuantitativas precisas de la contaminación y, básicamente, se utiliza para comprobar la presencia de un microorganismo concreto.

Muestreo con placas de cultivo por contacto: es el método más utilizado y consiste en la aplicación de placas RODAC, con medio de cultivo ligeramente en exceso, sobre la superficie que se desea muestrear. El resultado del recuento de las colonias que han crecido se expresa en ufc/cm² (unidades formadoras de colonias por unidad de superficie).

Muestreo de líquidos

En este caso, el objetivo es poner de manifiesto la presencia de agentes biológicos en diversos tipos de fluidos, por ejemplo, el agua de un humidificador, de las torres de refrigeración de un sistema de climatización del aire, entre otros. En la mayor parte de los casos, el método más sencillo de recogida de flui-

dos consiste en tomar una muestra del líquido en un recipiente estéril. Cuando el volumen de líquido que se ha de muestrear es grande y la contaminación escasa, es de utilidad realizar un filtrado del líquido. En otros casos, como por ejemplo las conducciones de agua u otros líquidos, se pueden instalar dispositivos que permitan la recogida periódica de muestras.

Los resultados del recuento de colonias se expresan en ufc/ml (unidades formadoras de colonias por unidad de volumen de líquido).

Análisis microbiológico

El tipo análisis microbiológico dependerá del tipo de información que se desee obtener, básicamente esta información se puede concretar en los siguientes puntos:

Información cuantitativa: supone el recuento del número total de microorganismos o de sus productos, por ejemplo, bacterias, hongos, granos de polen, fragmentos de insectos, etc. (Microscopia, Cultivo).

Información cualitativa: supone la identificación de las especies presentes en las muestras tomadas, o la búsqueda de un microorganismo concreto, por ejemplo, la presencia de Legionela en agua. (Pruebas de tinción, Bioquímicas, Inmunoensayo, Pruebas genéticas)

Detección de la presencia de productos de origen biológico, por ejemplo, endotoxinas, micotoxinas, etc. (Inmunoensayo. Test del LAL, Cromatografía de gases, Cromatografía líquida de alta resolución).

Limitaciones de la medición

Como se ha comentado anteriormente, la medición de los agentes biológicos no siempre va a proporcionar los datos que permitan realizar una valoración precisa de la situación evaluada. Buena parte de los motivos son: la falta de homologación y de validación de los métodos de muestreo y análisis; la necesidad de tener que utilizar diferentes equipos de muestreo para captar todos los agentes biológicos; la escasa fiabilidad de algunos datos y la falta de criterios de valoración ambiental.

Existen diversas razones que explican la escasa fiabilidad de los resultados, sobre todo de los obtenidos al muestrear microorganismos viables y cultivables. Estas razones hacen referencia al hecho de que un microorganismo vivo, por alguna razón, deje de ser cultivable, es decir, no forme una colonia y, por lo tanto, al no crecer sobre el medio de cultivo no sea reconocido y contado, o que por errores en la planificación del muestreo y/o el análisis los resultados no reflejen la realidad. A continuación se exponen algunas de estas razones:

CARACTERÍSTICAS DE LA CAPTACIÓN Y ANÁLISIS DE AGENTES BIOLÓGICOS			
Agente biológico	Método de muestreo	Análisis	Datos obtenidos
BACTERIAS	Impactadores, <i>Impingers</i> , Ciclones, Filtros, Muestras de superficie	Microscopio/recuento	Concentración (células/m ³ o cm ² o g)
		Inmunoensayo (Anticuerpo marcado con colorante)	Confirmación de presencia de una bacteria específica
		Pruebas genéticas. PCR	Confirmación de presencia de una bacteria específica
		Cultivo/recuento colonias	Concentración (ufc/m ³ o cm ² o g)
		Microscopio: Morfología, Tinción	Identificación (general)
		Bioquímica	Identificación (específica)
Antígenos bacterianos	Polvo	Inmunoensayo (ELISA)	Concentración (µg/g)
Componentes de la pared bacteriana (Endotoxinas, Otros)	Filtros, <i>Impingers</i> , Polvo	Bioensayo (LAL)	Actividad biológica (UE/m ³ o g)
		Químico (CG-EM, HPLC)	Concentración: LPS, ng/m ³ o g; Ác. Murámico, µg/m ³ o g
HONGOS	Impactadores, <i>Impingers</i> , Ciclones, Filtros. Muestras de superficies	Microscopio/recuento	Concentración: esporas/m ³ o cm ² o g Identificación
		Cultivo	Concentración (ufc/m ³ o cm ² o g)
		Microscopio/morfología	Identificación
Alergenos fúngicos	Polvo	Inmunoensayo (ELISA)	Concentración (ng o unidades/g)
Toxinas fúngicas	Impactadores, <i>Impingers</i> , Ciclones, Filtros. Muestras de superficies	Químico (HPLC, CG-EM)	Confirmación de la presencia de la toxina, Concentración: Toxina, ng/m ³ o g
		Inmunoensayo, citotoxicidad	Confirmación de la presencia de la toxina, Detección de la actividad tóxica (sin identificación)
<p><i>PCR:</i> Reacción en cadena de la polimerasa. <i>ELISA:</i> Ensayo Inmunoabsorbentes ligados a enzima. <i>LAL:</i> Lisado de amebocitos del <i>Limulus</i>. <i>UE:</i> Unidades de Endotoxina. <i>CG-EM:</i> Cromatografía de gases - Espectrometría de masas.</p>		<p><i>HPLC:</i> Cromatografía líquida de alta resolución. <i>LPS:</i> Lipopolisacáridos. <i>CL:</i> Cromatografía líquida. <i>COVM:</i> Compuestos orgánicos volátiles de origen microbiano.</p>	

- Los microorganismos han dejado de ser viables o han sufrido daños durante la formación del aerosol por efecto de las condiciones ambientales (sequedad, radiación, presencia de otros contaminantes, etc.).
- Las muestras tomadas han resultado dañadas o contaminadas durante su transporte, por ejemplo, por su manejo en condiciones no asépticas o por las condiciones del transporte (tiempo, calor o frío excesivo, etc.).

- Incorrecta planificación de la medición:
 - Duración del muestreo inadecuada a la concentración esperable en función del tipo de actividad.
 - Utilización de medios de cultivos no adecuados para el desarrollo de agentes biológicos que se trata de poner de manifiesto.
- El ensayo analítico no es el adecuado:
 - El ensayo es experimental o no está validado.
 - Son poco precisos o inespecíficos.
 - El resultado del ensayo no es fiable por sobrecarga de las placas o por fenómenos de competencia entre las especies captadas.

Valoración de la exposición

Paralelamente a la planificación de la medición es conveniente elaborar los criterios de valoración que, a menudo, serán específicos para la situación concreta estudiada, no siendo extrapolables a otras situaciones en las que pueda existir exposición a agentes biológicos por similares que éstas pudieran parecer.

Criterios de valoración

En la publicación “TLVs. Valores límite para sustancias químicas y agentes físicos en el ambiente de trabajo. BEIs. Índices biológicos de exposición”, de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), se indica que no hay TLV para interpretar las concentraciones ambientales de: bioaerosoles totales cultivables o contables, por ejemplo, bacterias u hongos totales; bioaerosoles específicos cultivables o contables, por ejemplo, *Aspergillus fumigatus*; agentes biológicos infecciosos, por ejemplo, *Mycobacterium tuberculosis*; contaminantes de origen biológicos analizables, por ejemplo, endotoxinas o micotoxinas. La publicación explica su ausencia por las siguientes razones científicas:

1. Bioaerosoles totales cultivables o contables

Por bioaerosol cultivable se entienden los agentes biológicos vivos y capaces de crecer en condiciones de laboratorio formando colonias. Por bioaerosol contable se entienden todos los elementos de origen biológico que pueden identificarse y contarse en el microscopio.

- Los microorganismos cultivables y partículas biológicas contables no constituyen una sola entidad, es decir, los bioaerosoles en los lugares de trabajo son, en general, mezclas complejas de microorganismos y partículas.

- La respuesta de los humanos a los bioaerosoles es muy variable y puede oscilar entre los efectos inocuos, a los graves

e incluso los mortales, también puede provocar enfermedades que dependerán del agente en cuestión y de la susceptibilidad del huésped. En consecuencia, un límite de exposición adecuado para un bioaerosol puede resultar completamente inadecuado para otro.

- No es posible tomar y evaluar todos los componentes de un bioaerosol utilizando sólo un método de muestreo. Las diferentes características existentes entre los equipos de muestreo pueden dar lugar a estimaciones diferentes en las concentraciones de bioaerosoles cultivables y contables.

- En la actualidad, la información disponible sobre los bioaerosoles cultivables o contables y los efectos que provocan es insuficiente para explicar la relación “exposición – respuesta”.

2. Bioaerosoles específicos cultivables o contables no infecciosos

La información relacionada con la concentración de un agente biológico y el efecto que provoca consiste, fundamentalmente, en informes de casos y en valoraciones cualitativas de la exposición, por lo que no es posible establecer la relación exposición – respuesta. Las razones de la ausencia de datos epidemiológicos son las siguientes:

- La mayor parte de los datos de las concentraciones de bioaerosoles específicos proceden de muestras indicativas más que de la determinación de los agentes causantes reales, por ejemplo: se utiliza el dato de la concentración de hongos cultivables como indicador de la exposición ambiental a antígenos fúngicos.

- Buena parte de las determinaciones son ambientales o del foco de contaminación por lo que no reflejan tan exactamente la exposición humana como lo haría el muestreo personal de los agentes causantes.

- Los componentes y concentraciones de los bioaerosoles varían ampliamente dentro y entre los diferentes lugares de trabajo y actividades laborales.

- La variabilidad de los niveles de exposición es elevada. Ello puede ser debido a que la mayor parte de los equipos sólo permiten muestreos puntuales con tiempos muy cortos. Las mediciones con muestras únicas y/o puntuales pueden presentar una variabilidad mucho mayor que las mediciones realizadas durante tiempos más prolongados.

En la norma UNE-EN 13098 “Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para medición de microorganismos y endotoxinas en suspensión en el aire” hace referencia a esta cuestión y, en una nota, indica que no es raro encontrar una des-

viación típica geométrica de 4 a 6 para medidas hechas en períodos de 8 horas. A título de ejemplo, indica que si la media geométrica de una medida es de $4 \cdot 10^5$ microorganismos por metro cúbico de aire y la desviación típica geométrica de 5, el intervalo de confianza al 95% de la medida está comprendido entre $1,6 \cdot 10^4/\text{m}^3$ y $10^7/\text{m}^3$.

- Las medidas únicas y/o puntuales muy probablemente no serán representativas de la exposición en el puesto de trabajo. Algunos microorganismos y focos de emisión liberan aerosoles como concentraciones de irrupción y en momentos de su ciclo vital no completamente determinados. Estas emisiones difícilmente pueden detectarse con un número limitado de muestras puntuales.

3. Agentes infecciosos

- Los datos de dosis – respuesta en humanos sólo están disponibles para un número limitado de agentes biológicos.

En lugares de trabajo en los que existe la posibilidad de exposición a agentes biológicos infecciosos se debe prestar especial atención a la aplicación de las medidas de salud pública (inmunización, la detección del agente y el tratamiento médico) como unas de las principales defensas frente a este tipo de agentes. Es evidente, que de forma complementaria, en cada actividad se deben implantar y desarrollar todas las medidas preventivas (técnicas y administrativas) que permitan evitar o minimizar la exposición.

4. Contaminantes biológicos analizables

Por contaminantes biológicos analizables se entiende todas aquellas sustancias que forman parte de la estructura de los agentes biológicos (antígenos, endotoxinas, (1-3) β D glucano, ergosterol) o que son generadas por ellos (micotoxinas, compuestos orgánicos volátiles, etc.), y que pueden detectarse utilizando ensayos químicos, inmunológicos, biológicos o genéticos.

Es quizá en este terreno en el que más avances se estén realizando que permiten prever a corto plazo el establecimiento de valores límite para alguna de estas sustancias. De hecho, en la actualidad, la ACGIH está trabajando en el establecimiento de valores límite para las endotoxinas y el (1-3) β D glucano.

Interpretación de los resultados

En ausencia de esos criterios de valoración, los resultados obtenidos con la medición pueden ser utilizados de diferentes formas. La más útil consiste en evaluar los tipos y las concentraciones de agentes biológicos captados y, de acuerdo con la experiencia o la información bibliográfica, decidir qué aspectos

EJEMPLOS DE DOSIS INFECTIVAS EN HUMANOS			
Agente biológico	Dosis*	Ruta	Observaciones
<i>Bacillus anthracis</i>	8.000 – 50.000	Inhalación	
<i>Campylobacter jejuni</i>	≤ 500	Ingestión	
<i>Clostridium perfringens</i>	10 ⁵ /g alimento	Ingestión	
<i>Entamoeba histolytica</i>	Desconocida	Ingestión	En teoría la ingestión de un quiste puede causar la infección
<i>Francisella tularensis</i>	5 – 10	Inhalación	
	10 ⁶ – 10 ⁸	Ingestión	
<i>Giardia lamblia</i>	≤ 10 quistes	Ingestión	Un quiste puede causar la infección
Virus hepatitis A	Desconocida	Ingestión	Se cree que puede oscilar entre 10 y 100 partículas víricas
Virus hepatitis B	Desconocida	Parenteral	1 ml de sangre infectada puede contener de 10 ² a 10 ⁹ partículas víricas
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10	Inhalación	
<i>Rickettsia rickettsii</i>	< 10	Parenteral	
<i>Shigella sp.</i>		Ingestión	
<i>Staphylococcus aureus</i>	10 - 200	Contacto	La virulencia de las cepas varía mucho
<i>Vibrio cholerae</i>	10 ⁶ - 10 ¹¹ en personas sanas	Ingestión	Puede variar con la acidez gástrica
(*) N ^o de organismos			
Fuente: <i>Material Safety Data Sheets (MSDS) Public Health Agency of Canada</i>			

hacen la situación inusual, por ejemplo, la presencia de un determinado microorganismo o las concentraciones relativas de uno o varios de los microorganismos captados. Para facilitar esta tarea es de utilidad comparar tipos y concentraciones en diferentes ambientes, por ejemplo: zona en la se presentan problemas, con zonas de similares características en las que no aparecen los problemas; el ambiente interior con el ambiente exterior, momento con actividad y momento sin actividad.

Esta comparación sólo puede hacerse cuando se han identificado el género y la especie de los microorganismos presentes tanto en el interior como en el exterior. La comparación de las concentraciones de microorganismos totales entre ambientes

puede ser usada como un indicador preliminar de posibles diferencias, pero no como evidencia de similitudes.

Es conveniente recordar que no se puede extraer ninguna conclusión de un único par de muestras. Para poder hacer comparaciones cuantitativas y, dada la elevada variabilidad que presentan los resultados de las mediciones de agentes biológicos, es preciso disponer, como mínimo, de muestras duplicadas que se puedan considerar representativas de la exposición para cada uno de los puntos. Dichas muestras deben estar caracterizadas estadísticamente de forma que las diferencias que se observen entre ellas sean significativas. Pero además, es necesario contar con la experiencia y conocimiento del higienista a la hora de interpretar correctamente los resultados con la información que aporta el análisis detallado de la situación estudiada.

También es posible establecer valores de referencia internos, para una actividad o proceso particular. Esos valores se basarán en las concentraciones de agentes biológicos obtenidas en las condiciones habituales de trabajo o en las que se anticipe la mínima exposición. Estos valores pueden servir como una línea de base sobre la que comparar los resultados obtenidos en otras circunstancias y decidir si los resultados obtenidos se pueden considerar indicativos de un riesgo potencial.

Otro criterio que puede ser utilizado, dependiendo del tipo de actividad, es que en las muestras no aparezca el microorganismo utilizado en el proceso de trabajo o ningún patógeno.

Es conveniente recordar que el hecho de no encontrar un determinado agente biológico en un ambiente no es garantía absoluta ni de ausencia, ni de exposición, ni de riesgo. Sin embargo, es cierto que el dato hace más probable la ausencia del agente biológico y, en consecuencia, una menor probabilidad de exposición.

MEDIDAS PREVENTIVAS

Como resultado de toda evaluación de riesgos laborales el punto final será la selección y aplicación de todas aquellas medidas útiles para evitar o minimizar la exposición a agentes biológicos.

En el RD 664/1997 se proponen un conjunto de medidas para prevenir y reducir los riesgos por exposición a agentes biológicos. En términos generales estas medidas consisten en las siguientes:

- Reducción al mínimo posible del número de trabajadores expuestos o que se sospeche que pueden estar expuestos.

- Establecimiento de procedimientos de trabajo adecuados y utilización de medidas técnicas para evitar o minimizar la liberación de agentes biológicos en el lugar de trabajo.
- Aplicación de medidas de control higiénico compatibles con el objetivo de prevenir o reducir el transporte o la liberación de un agente fuera del lugar de trabajo.
- Aplicación de medidas de protección colectivas.
- Aplicación de medidas de protección individual cuando la exposición no pueda ser evitada por otros medios.
- Utilización de los elementos de señalización.
- Establecimiento de planes para hacer frente a los accidentes que incluyan agentes biológicos.
- Establecimiento de medidas seguras para la manipulación y el transporte de los agentes biológicos.
- Establecimiento de medios seguros que permitan la recogida, el almacenamiento y el tratamiento o evacuación de los residuos contaminados.

En bioseguridad el término clave es *contención*, concepto con el que se pretende describir el conjunto de medidas preventivas que proporcionarán protección tanto al personal como a la tarea y al medioambiente. Estas medidas de contención también se denominan “barreras” y se suelen clasificar en primarias y secundarias.

Barreras primarias

El objetivo de las barreras primarias es el confinamiento del agente biológico en sus recipientes y en el área de trabajo, de modo que se evite su liberación al ambiente de trabajo y al ambiente exterior. Ello implica la utilización de técnicas microbiológicas seguras y equipos de bioseguridad. Quizá el elemento más representativo de este tipo de barreras sean las cabinas de seguridad biológica.

Barreras secundarias

En general, las barreras secundarias son los elementos, asociados a la instalación, que rodean las barreras primarias. Su finalidad es prevenir el escape de microorganismos al ambiente y al exterior debido normalmente a un fallo de las barreras primarias.

Estos elementos proporcionan diferentes grados de aislamiento entre el local de trabajo y el exterior u otros locales en el mismo edificio. Algunos ejemplos son:

- El tipo de materiales y la forma de construcción de suelos,

Medidas y niveles de contención

paredes y techos. Locales o edificios aislados del resto de instalaciones.

- Restricción de acceso a zonas controladas. Puertas de cierre automático.
- Ventilación de los locales que aseguren el flujo direccional del aire (presiones negativas o positivas dependiendo del local).
- Los métodos de limpieza o depuración del aire expulsado, así como de cualquier otro efluente (líquido o sólido).

En el RD 664/1997 se hace referencia a medidas de contención aplicables al trabajo en los laboratorios, en los locales destinados a los animales de experimentación (anexo IV) y en los procesos industriales (anexo V). El grado de exigencia en su aplicación se establece en tres niveles de contención denominados 2, 3 y 4. Estos niveles se corresponden con los grupos de riesgo establecidos, de modo que a aquellas actividades en las que se manipule un agente biológico clasificado, por ejemplo, en el grupo de riesgo 3, les corresponderá un nivel de contención 3. En general, cuando exista la incertidumbre acerca de la presencia de agentes biológicos que puedan causar una enfermedad en el hombre, se debería adoptar, como mínimo, un nivel de contención 2. En las tablas se indican los requerimientos de cada nivel de contención.

Dado el amplio ámbito de aplicación del RD 664/1997 es casi obligado que las recomendaciones en ella incluidas sean de tipo general, por ejemplo: “*se establecerán los procedimientos de trabajo adecuados...*”, o “*se aplicarán medidas seguras para...*”, de modo que las recomendaciones específicas para los diferentes tipos de tareas deberán ser establecidas a partir del estudio de las operaciones que se realicen, del tipo de exposición y, por descontado, de la peligrosidad del agente biológico que se conozca que está o pueda estar presente.

En el ámbito sanitario, el trabajo de laboratorio es, junto con la atención a los pacientes, una de las actividades en las que existe mayor riesgo de contraer enfermedades originadas por la exposición a agentes biológicos; es también uno de los sectores más estudiados y sobre el que existe más información respecto a los factores de riesgo que allí concurren y por lo tanto, sobre las medidas de prevención aplicables.

La Organización Mundial de la Salud en su “Manual de bioseguridad en el laboratorio”, establece de forma más concreta las recomendaciones que se deben tener en cuenta para una práctica de trabajo segura. De la misma forma que en el RD 664/1997, la OMS establece una clasificación de los agentes biológicos en grupos de riesgo y de los laboratorios en niveles de con-

MEDIDAS DE CONTENCIÓN PARA PROCESOS INDUSTRIALES

MEDIDAS DE CONTENCIÓN	NIVELES DE CONTENCIÓN		
	2	3	4
1. Los microorganismos viables deberían ser manipulados en un sistema que separe físicamente el proceso del medio ambiente	Sí	Sí	Sí
2. Deberían tratarse los gases de escape del sistema cerrado para:	Minimizar la liberación	Impedir la liberación	Impedir la liberación
3. La toma de muestras, la adición de materiales a un sistema cerrado y la transferencia de organismos viables a otro sistema cerrado deberían realizarse de un modo que permita:	Minimizar la liberación	Impedir la liberación	Impedir la liberación
4. Los fluidos de grandes cultivos no deberían retirarse del sistema cerrado a menos que los microorganismos viables hayan sido:	Inactivados por medios de eficacia probada	Inactivados por medios físicos o químicos de eficacia probada	Inactivados por medios físicos o químicos de eficacia probada
5. Los precintos deberían diseñarse con el fin de:	Minimizar la liberación	Impedir la liberación	Impedir la liberación
6. Los sistemas cerrados deberían ubicarse en una zona controlada.	Facultativo	Facultativo	Sí, expresamente construida
a) Deberían colocarse señales de peligro biológico.	Facultativo	Sí	Sí
b) Sólo debería permitirse el acceso al personal designado.	Facultativo	Sí	Sí, mediante exclusiva
c) El personal debería vestir ropa de protección.	Sí, ropa de trabajo	Sí	Sí
d) Debería dotarse al personal de instalaciones de descontaminación y lavado.	Sí	Sí	Sí
e) Los trabajadores deberían ducharse antes de abandonar la zona controlada.	No	Facultativo	Sí
f) Los efluentes de fregaderos y duchas deberían recogerse e inactivarse antes de su liberación.	No	Facultativo	Sí
g) La zona controlada debería ventilarse adecuadamente para reducir al mínimo la contaminación atmosférica.	Facultativo	Facultativo	Sí
h) En la zona controlada debería mantenerse una presión negativa respecto a la atmósfera.	No	Facultativo	Sí
i) Se debería tratar con filtros «HEPA» el aire de entrada y salida de la zona controlada.	No	Facultativo	Sí
j) Debería diseñarse la zona controlada para impedir la fuga del contenido del sistema cerrado.	No	Facultativo	Sí
k) Se debería poder precintar la zona controlada para su fumigación.	No	Facultativo	Sí
l) Tratamiento de efluentes antes de su vertido final.	Inactivación por medios de eficacia probada	Inactivación por medios físicos o químicos de eficacia probada	Inactivación por medios físicos o químicos de eficacia probada

MEDIDAS DE CONTENCIÓN PARA LABORATORIOS Y LOCALES PARA ANIMALES			
MEDIDAS DE CONTENCIÓN	NIVELES DE CONTENCIÓN		
	2	3	4
1. El lugar de trabajo se encontrará separado de toda actividad que se desarrolle en el mismo edificio.	No	Aconsejable	Sí
2. El aire introducido y extraído del lugar de trabajo se filtrará mediante la utilización de filtros de aire para partículas de elevada eficacia (HEPA) o de forma similar.	No	Sí, para la salida de aire	Sí, para la entrada y la salida de aire
3. Solamente se permitirá el acceso al personal designado.	Aconsejable	Sí	Sí, con una cámara de aire
4. El lugar de trabajo deberá poder precintarse para permitir su desinfección.	No	Aconsejable	Sí
5. Procedimientos de desinfección especificados.	Sí	Sí	Sí
6. El lugar de trabajo se mantendrá con una presión negativa respecto a la presión atmosférica.	No	Aconsejable	Sí
7. Control eficiente de vectores, por ejemplo, de roedores e insectos.	Aconsejable	Sí	Sí
8. Superficies impermeables al agua y de fácil limpieza.	Sí, para el banco de pruebas	Sí, para el banco de pruebas y suelo	Sí, para banco de pruebas, suelo y techo
9. Superficies resistentes a ácidos, álcalis, disolventes, desinfectantes.	Aconsejable	Sí	Sí
10. Almacenamiento de seguridad para agentes biológicos.	Sí	Sí	Sí, almacenamiento seguro
11. Se instalará una ventanilla de observación o un dispositivo alternativo en las zonas de manera que se pueda ver a sus ocupantes.	Aconsejable	Aconsejable	Sí
12. Laboratorio con equipo propio.	No	Aconsejable	Sí
13. El material infectado, animales incluidos, deberá manejarse en un armario de seguridad o en un aislador u otra contención apropiada.	Cuando proceda	Sí, cuando la infección se propague por el aire	Sí
14. Incinerador para destrucción de animales muertos.	Aconsejable	Sí (disponible)	Sí, <i>in situ</i>

tención, que en este caso se denominan: laboratorio básico, laboratorio de contención y laboratorio de contención máxima. Para cada uno de ellos establece el código de prácticas de trabajo, las normas de concepción e instalación del laboratorio, el material de bioseguridad, la vigilancia médica y sanitaria, la formación profesional, las normas de manipulación, transporte y envío de muestras, los procedimientos de emergencia y las instalaciones para los animales de experimentación.

Es uno de los puntos fundamentales en la prevención de los riesgos asociados a la exposición a agentes biológicos. Esta formación debe ser suficiente y adecuada a los diferentes colectivos profesionales expuestos o presumiblemente expuestos y debe estar basada en los datos disponibles relativos a los siguientes aspectos:

- Los riesgos potenciales para la salud.
- Las precauciones que deberán tomar para prevenir la exposición.
- Las disposiciones en materia de higiene.
- La utilización y empleo de los equipos de protección individual y de la ropa de trabajo.
- Las medidas que deberán adoptar los trabajadores en el caso de incidente y para la prevención de incidentes.

Esta información debería proporcionarse cuando el trabajador se incorpore a un trabajo que suponga contacto con agentes biológicos, debe adaptarse a la aparición de nuevos riesgos así como a su evolución y debería repetirse periódicamente.

En el artículo 8 del RD 664/1997, “Vigilancia de la salud de los trabajadores” se indican las pautas de aplicación de la vigilancia de la salud. En él se indica que el empresario garantizará que ésta sea adecuada y específica para los riesgos por exposición a agentes biológicos y de acuerdo con lo prescrito por las autoridades sanitarias. Asimismo se remite a los protocolos específicos elaborados por el Ministerio de Sanidad y Consumo para diferentes agentes contaminantes.

Para que sea adecuada la vigilancia sanitaria debe ser previa a la exposición y a intervalos regulares en lo sucesivo y deber ser realizada por personal sanitario con competencia técnica, y formación y capacidad acreditadas. Esta vigilancia sanitaria debe comprender, como mínimo, un registro del historial médico y profesional del trabajador, la evaluación individualizada del estado de salud de los trabajadores y, cuando sea de aplicación, el control biológico y la detección de los efectos precoces y reversibles.

También es necesario poner a disposición de los trabajadores no inmunizados vacunas eficaces, informando a los mismos sobre las ventajas e inconvenientes tanto de la vacunación como de la no-vacunación.

La vigilancia de la salud debe prestar especial atención a los riesgos que la exposición a agentes biológicos puede suponer para:

- Los trabajadores especialmente sensibles como consecuencia de sus características personales, estado biológico o que presenten algún tipo de discapacidad.

Información y formación de los trabajadores

Vigilancia sanitaria

- Los trabajadores menores de edad, por su desarrollo incompleto y por su falta de experiencia para identificar los riesgos de su trabajo.
- Las trabajadoras en periodo de embarazo, lactancia y puerperio.

**Inmunización
activa.
Vacunación**

En la prevención de las enfermedades transmisibles se puede actuar en tres puntos diferentes de la cadena epidemiológica: la fuente de infección, los mecanismos de transmisión y el individuo sano susceptible. Las actuaciones para proteger al individuo sano son la quimioprofilaxis, la inmunización pasiva y la inmunización activa (vacunación).

La palabra “vacunación” designa los fenómenos de inmunización en los que se emplea una suspensión de agentes infecciosos o ciertas partes de ellos, llamada “vacuna”, para provocar una resistencia frente a una enfermedad infecciosa.

Las vacunas se pueden clasificar en función del agente infeccioso a partir del cual se han obtenido y frente a los cuales ofrecen protección, por ejemplo, vacunas víricas, bacterianas o protozoarias, o también según sea el sistema de eliminación de la patogenicidad: vacunas vivas y vacunas muertas o inactivadas.

Existen ciertas circunstancias o situaciones que pueden suponer un aumento del riesgo de reacciones adversas o una disminución de la eficacia de las vacunas. De manera general, la aplicación de vacunas está contraindicada en el transcurso de enfermedades infecciosas febriles agudas y durante el correspondiente período de convalecencia, así como cuando existe algún tipo de enfermedad infecciosa crónica no tratada, por ejemplo, la tuberculosis. Otras enfermedades sistémicas crónicas (cardíacas, renales, diabetes, etc.) también presentan una contraindicación general para las vacunaciones, excepto en situaciones de descompensación aguda.

Debe tenerse también en cuenta que las vacunas que se producen en sistemas o substratos que contienen sustancias potencialmente alergizantes, como por ejemplo un huevo embrionado, pueden causar reacciones de hipersensibilidad en los individuos alérgicos, siempre y cuando la vacuna final contenga una cantidad significativa del alérgeno. Evidentemente, también aquellas vacunas que pueden contener conservantes o pequeñas cantidades de antibióticos tampoco se podrán administrar a individuos alérgicos a estos productos.

Las inmunodeficiencias primarias (congénitas) y las secundarias (adquiridas) pueden facilitar la multiplicación incontrolada del agente vacunal después de la administración de un vacuna viva atenuada.

VACUNAS RECOMENDADAS EN EL MEDIO LABORAL

Vacuna	Grupo profesional
Tétanos y Difteria	<p>Todo el personal en edad laboral, en particular:</p> <ul style="list-style-type: none"> Trabajadores en contacto con animales y tierra. Trabajadores en contacto con aguas residuales, depuradoras, etc. Trabajadores en contacto con basuras. Trabajadores en puestos susceptibles de producir heridas con frecuencia (especialmente punzantes): construcción, bomberos, policía, protección civil, trabajadores sanitarios.
Gripe	<p>Trabajadores en activo de más de 65 años.</p> <p>Médicos/as, enfermeros/as y otro personal intra y extrahospitalario, que atiendan a personas de alto riesgo (ancianos, trasplantados, personas con sida, etc.).</p> <p>Personal empleado en asilos o en centros de cuidados de enfermos crónicos que tienen contacto directo con los residentes.</p> <p>Personas que proporcionen cuidados domiciliarios a pacientes de alto riesgo.</p> <p>Trabajadores que prestan servicios comunitarios esenciales (policías, bomberos, protección civil, etc.).</p>
Sarampión, Rubéola y Parotiditis	<p>Personal sanitario sin antecedentes de enfermedad ni vacunación.</p> <p>Personas que vayan a desplazarse a trabajar a determinados países, con alta incidencia de estas enfermedades y/o deficientes programas de vacunación.</p>
Tos ferina	<p>Personal sanitario que atiende a niños prematuros y a recién nacidos que precisen hospitalización.</p>
Hepatitis B	<p>Personal sanitario y parasanitario, incluido personal en formación, que tenga contacto frecuente con sangre o riesgo de herirse con instrumentos contaminados con sangre.</p> <p>Otro personal que trabaje en centros sanitarios, en función de su grado de exposición a materiales o productos potencialmente infectados.</p> <p>Personas que en su trabajo utilizan cualquier tipo de técnicas que impliquen punción percutánea de piel o mucosas y que van desde técnicas de medicina alternativa como la acupuntura, hasta trabajadores de servicios personales como tatuajes o «piercing».</p> <p>Personal que trabaja en Instituciones Penitenciarias.</p> <p>Personal que trabaja en instituciones cerradas con deficientes mentales y/o menores acogidos.</p> <p>Trabajadores en servicios de emergencias (bomberos, policías, etc.).</p> <p>Personal de limpieza de parques y jardines así como de recogida de basura.</p>
Hepatitis A	<p>Cuidadores que tengan contacto directo con pacientes con hepatitis A.</p> <p>Personal que con frecuencia se ve implicado en situaciones de catástrofes (policías, bomberos, personal de las Fuerzas Armadas, personal de protección civil, etc.).</p> <p>Personal de laboratorio que manipula virus de la hepatitis A.</p> <p>Personas que trabajan con animales infectados con el VHA o trabajan en un laboratorio de investigación con VHA.</p> <p>Trabajadores en contacto con aguas residuales no depuradas.</p> <p>Profesionales que se desplazan a trabajar a zonas de alta o moderada endemicidad de hepatitis A.</p>
Rabia	<p>Personal de laboratorio que trabaja con el virus de la rabia.</p> <p>Personal de ciertas Unidades asistenciales que pueden atender enfermos positivos (especialmente en las localidades de Melilla, Ceuta).</p> <p>Personas cuya actividad laboral implica algún riesgo: zoólogos, geólogos, veterinarios, trabajadores de zoológicos, espeleólogos, conservacionistas (anilladores de murciélagos) personal de centros de protección animal y laceros, fundamentalmente los que trabajan con animales potencialmente susceptibles de presentar rabia (animales salvajes, murciélagos, mofetas, mapaches, etc.).</p> <p>Personal que se desplaza a trabajar a zonas endémicas de rabia y cuya actividad laboral implica algún riesgo.</p>
Peste, Fiebre amarilla, Fiebre tifoidea, Poliomieltis	<p>Personal de laboratorio que trabajan con los agentes causales.</p> <p>Personas que trabajan en países o áreas endémicas de las enfermedades, en contacto con personas o animales posiblemente infectados (por ejemplo: biólogos, sanitarios)</p>

Por último, ha de tenerse en cuenta que la administración reciente de inmunoglobulina, plasma o transfusiones de sangre puede interferir en la respuesta inmunitaria, especialmente en las vacunas vivas atenuadas, por lo que debe esperarse un tiempo prudencial para su administración.

Aspectos legales de las vacunaciones

Las vacunaciones debe efectuarlas el personal sanitario del servicio de prevención, debiendo ser éste quien las supervise. Al mismo tiempo, ha de ser dicho servicio quien prescriba toda la vacunación preventiva frente a un riesgo profesional y aconseje al personal expuesto sobre las ventajas de esta protección y sobre las consecuencias de la ausencia de la inmunización.

En España no existe ningún imperativo legal que obligue a la vacunación generalizada de los trabajadores expuestos a riesgos biológicos, aunque en alguno de los colectivos expuestos se lleva a cabo, de acuerdo con ordenanzas particulares y convenios colectivos, como por ejemplo, los trabajadores encargados de la limpieza municipal y el personal sanitario.

En el Real Decreto 664/1997 se recogen las recomendaciones sobre la vacunación en ambientes laborales. Esta norma incluye una lista de agentes biológicos patógenos para el hombre con indicación de cuándo los agentes pueden causar reacciones alérgicas o tóxicas, en qué casos es conveniente conservar durante más de diez años las listas de los trabajadores que han estado expuestos y cuándo una vacuna eficaz está disponible.

En la publicación del Ministerio de Sanidad y Consumo “Vacunación en adultos. Recomendaciones 2004” se recogen la información sobre las vacunas y las indicaciones para su aplicación. De particular interés puede resultar el contenido del capítulo 3 “Vacunas recomendadas en el medio laboral”. En la tabla se resumen los colectivos profesionales para los que están indicadas determinadas vacunas.

ANEXO: CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS (Reproducción del anexo II del RD 664/1997 modificado por Orden Ministerial de 25.3.1998)

1. En la tabla adjunta se presenta una lista de agentes biológicos, clasificados en los grupos 2, 3 ó 4 siguiendo el criterio expuesto en el artículo 3.1 de este Real Decreto. Para determinados agentes se proporcionan indicaciones adicionales, utilizándose a tal efecto la siguiente simbología:

A: Posibles efectos alérgicos

D: La lista de los trabajadores expuestos al agente debe

conservarse durante más de 10 años después de la última exposición.

T: Producción de toxinas.

V: Vacuna eficaz disponible.

(*): Normalmente no infeccioso a través del aire.

«spp»: Otras especies del género, además de las explícitamente indicadas, pueden constituir un riesgo para la salud.

2. La clasificación de los agentes listados se ha realizado considerando sus posibles efectos sobre trabajadores sanos. No se han tenido en cuenta los efectos particulares que puedan tener en trabajadores cuya sensibilidad se vea afectada por causas tales como patología previa, medicación, trastornos inmunitarios, embarazo o lactancia.
3. Para una correcta clasificación de los agentes, en base a la citada lista, deberá tenerse en cuenta que:
 - a. La no inclusión en la lista de un determinado agente no significa su implícita y automática clasificación en el grupo 1.
 - b. En la lista no se han incluido los microorganismos genéticamente modificados, objeto de una reglamentación específica.
 - c. En el caso de los agentes para los que se indica tan solo el género, deberán considerarse excluidas de la clasificación las especies y cepas no patógenas para el ser humano.
 - d. Todos los virus no incluidos en la lista que hayan sido aislados en seres humanos se considerarán clasificados como mínimo en el grupo 2, salvo cuando la autoridad sanitaria haya estimado que es innecesario.
4. Cuando una cepa esté atenuada o haya perdido genes de virulencia bien conocidos, no será necesariamente aplicable la contención requerida por la clasificación de su cepa madre. Por ejemplo, cuando dicha cepa vaya a utilizarse como producto o parte de un producto con fines profilácticos o terapéuticos.
5. Para los agentes biológicos normalmente no infecciosos a través del aire, señalados con un asterisco en la lista de agentes biológicos, podrá prescindirse de algunas medidas de contención destinadas a evitar su transmisión por vía aérea, salvo indicación en contrario de la autoridad sanitaria a la que se deberá informar previamente de tal circunstancia.
6. Los imperativos en materia de contención que se derivan de la clasificación de los parásitos se aplicarán únicamente a las distintas etapas del ciclo del parásito que puedan ser infecciosas para las personas en el lugar de trabajo

BACTERIAS y afines

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Actinobacillus actinomyces-temcomitans</i>	2	
<i>Actinomadura madurae</i>	2	
<i>Actinomadura pelletieri</i>	2	
<i>Actinomyces gerencseriae</i>	2	
<i>Actinomyces israelii</i>	2	
<i>Actinomyces pyogenes</i>	2	
<i>Actinomyces spp</i>	2	
<i>Arcanobacterium haemolyticum</i> (<i>Corynebacterium haemolyticum</i>)	2	
<i>Bacillus anthracis</i>	3	
<i>Bacteroides fragilis</i>	2	
<i>Bartonella bacilliformis</i>	2	
<i>Bartonella (Rochalimaea) spp</i>	2	
<i>Bartonella quintana (Rochalimaea quintana)</i>	2	
<i>Bordetella bronchiseptica</i>	2	
<i>Bordetella parapertussis</i>	2	
<i>Bordetella pertussis</i>	2	V
<i>Borrelia burgdorferi</i>	2	
<i>Borrelia duttonii</i>	2	
<i>Borrelia recurrentis</i>	2	
<i>Borrelia spp</i>	2	
<i>Brucella abortus</i>	3	
<i>Brucella canis</i>	3	
<i>Brucella melitensis</i>	3	
<i>Brucella suis</i>	3	
<i>Burkholderia mallei (Pseudomonas mallei)</i>	3	
<i>Burkholderia pseudomallei (Pseudomonas pseudomallei)</i>	3	
<i>Campylobacter fetus</i>	2	
<i>Campylobacter jejuni</i>	2	
<i>Campylobacter spp</i>	2	
<i>Cardiobacterium hominis</i>	2	
<i>Chlamydia pneumoniae</i>	2	
<i>Chlamydia trachomatis</i>	2	
<i>Chlamydia psittaci (cepas aviares)</i>	3	
<i>Chlamydia psittaci (cepas no aviares)</i>	2	
<i>Clostridium botulinum</i>	2	T
<i>Clostridium perfringens</i>	2	
<i>Clostridium tetani</i>	2	T,V
<i>Clostridium spp</i>	2	
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	2	T,V
<i>Corynebacterium minutissimum</i>	2	
<i>Corynebacterium pseudotuberculosis</i>	2	
<i>Corynebacterium spp</i>	2	
<i>Coxiella burnetti</i>	3	
<i>Edwardsiella tarda</i>	2	
<i>Ehrlichia sennetsu (Rickettsia sennetsu)</i>	2	
<i>Ehrlichia spp</i>	2	

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Eikenella corrodens</i>	2	
<i>Enterobacter aerogenes/cloacae</i>	2	
<i>Enterobacter spp</i>	2	
<i>Enterococcus spp</i>	2	
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	2	
<i>Escherichia coli</i> (excepto las cepas no patógenas)	2	
<i>Escherichia coli cepas verocitotóxicas (O 157:H7, O103)</i>	3(*)	T
<i>Flavobacterium meningosepticum</i>	2	
<i>Fluoribacter bozemaniae (Legionella)</i>	2	
<i>Francisella tularensis (Tipo A)</i>	3	
<i>Francisella tularensis (Tipo B)</i>	2	
<i>Fusobacterium necrophorum</i>	2	
<i>Gardnerella vaginalis</i>	2	
<i>Haemophilus ducreyi</i>	2	
<i>Haemophilus influenzae</i>	2	
<i>Haemophilus spp</i>	2	
<i>Helicobacter pylori</i>	2	
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2	
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2	
<i>Klebsiella spp</i>	2	
<i>Legionella pneumophila</i>	2	
<i>Legionella spp</i>	2	
<i>Leptospira interrogans</i> (todos los serotipos)	2	
<i>Listeria monocytogenes</i>	2	
<i>Listeria ivanovii</i>	2	
<i>Morganella morganii</i>	2	
<i>Mycobacterium africanum</i>	3	V
<i>Mycobacterium avium/intracellulare</i>	2	
<i>Mycobacterium bovis</i> (excepto la cepa BCG)	3	V
<i>Mycobacterium chelonae</i>	2	
<i>Mycobacterium fortuitum</i>	2	
<i>Mycobacterium kansasii</i>	2	
<i>Mycobacterium leprae</i>	3	
<i>Mycobacterium malmoense</i>	2	
<i>Mycobacterium marinum</i>	2	
<i>Mycobacterium microti</i>	3(*)	
<i>Mycobacterium paratuberculosis</i>	2	
<i>Mycobacterium scrofulaceum</i>	2	
<i>Mycobacterium simiae</i>	2	
<i>Mycobacterium szulgai</i>	2	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	3	V
<i>Mycobacterium ulcerans</i>	3(*)	
<i>Mycobacterium xenopi</i>	2	
<i>Mycoplasma caviae</i>	2	
<i>Mycoplasma hominis</i>	2	
<i>Mycoplasma pneumoniae</i>	2	
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	2	
<i>Neisseria meningitidis</i>	2	V
<i>Nocardia asteroides</i>	2	

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Nocardia brasiliensis</i>	2	
<i>Nocardia farcinica</i>	2	
<i>Nocardia nova</i>	2	
<i>Nocardia otitidiscaviarum</i>	2	
<i>Pasteurella multocida</i>	2	
<i>Pasteurella spp</i>	2	
<i>Peptostreptococcus anaerobius</i>	2	
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	2	
<i>Porphyromonas spp</i>	2	
<i>Prevotella spp</i>	2	
<i>Proteus mirabilis</i>	2	
<i>Proteus penneri</i>	2	
<i>Proteus vulgaris</i>	2	
<i>Providencia alcalifaciens</i>	2	
<i>Providencia rettgeri</i>	2	
<i>Providencia spp</i>	2	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2	
<i>Rhodococcus equi</i>	2	
<i>Rickettsia akari</i>	3(*)	
<i>Rickettsia canada</i>	3(*)	
<i>Rickettsia conorii</i>	3	
<i>Rickettsia montana</i>	3(*)	
<i>Rickettsia typhi (Rickettsia mooseri)</i>	3	
<i>Rickettsia prowazekii</i>	3	
<i>Rickettsia rickettsii</i>	3	
<i>Rickettsia tsutsugamushi</i>	3	
<i>Rickettsia spp</i>	2	
<i>Salmonella arizonae</i>	2	
<i>Salmonella enteritidis</i>	2	
<i>Salmonella typhimurium</i>	2	
<i>Salmonella paratyphi A,B,C</i>	2	V
<i>Salmonella typhi</i>	3(*)	V
<i>Salmonella (otras variedades serológicas)</i>	2	
<i>Serpulina spp</i>	2	
<i>Shigella boydii</i>	2	
<i>Shigella dysenteriae</i> (tipo 1)	3(*)	T
<i>Shigella dysenteriae (excepto tipo 1)</i>	2	
<i>Shigella flexneri</i>	2	
<i>Shigella sonnei</i>	2	
<i>Staphylococcus aureus</i>	2	
<i>Streptobacillus moniliformis</i>	2	
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	2	
<i>Streptococcus pyogenes</i>	2	
<i>Streptococcus suis</i>	2	
<i>Streptococcus spp</i>	2	
<i>Treponema carateum</i>	2	
<i>Treponema pallidum</i>	2	
<i>Treponema pertenue</i>	2	
<i>Treponema spp</i>	2	
<i>Vibrio cholerae</i> (incluido El Tor)	2	
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	2	
<i>Vibrio spp</i>	2	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	2	

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Yersinia pestis</i>	3	V
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	2	
<i>Yersinia s spp</i>	2	

VIRUS

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Adenoviridae</i>	2	
<i>Arenaviridae:</i>		
Complejos virales LCM-Lassa (arenavirus del Viejo Continente):		
Virus Lassa	4	
Virus de la coriomeningitis linfocítica (cepas neurotrópicas)	3	
Virus de la coriomeningitis linfocítica (otras cepas)	2	
Virus Mopeia	2	
Otros complejos virales LCM-Lassa	2	
Complejos virales Tacaribe (arenavirus del Nuevo Mundo):		
Virus Flexal	3	
Virus Guanarito	4	
Virus Junin	4	
Virus Machupo	4	
Virus de Sabia	4	
Otros complejos virales Tacaribe	2	
<i>Astroviridae</i>	2	
<i>Bunyaviridae:</i>		
Virus Belgrade (Dobrava)	3	
Virus Bhanja	2	
Virus Bunyamwera	2	
Virus Germiston	2	
Sin nombre (antes Muerto Canyon)	3	
Virus Oropouche	3	
Virus de la encefalitis de California	2	
<i>Hantavirus:</i>		
Hantaan (fiebre hemorrágica de Corea)	3	
Virus Seoul	3	
Virus Puumala	2	
Virus Prospect Hill	2	
Otros hantavirus	2	
<i>Nairovirus:</i>		
Virus de la fiebre hemorrágica de Crimea/Congo	4	
Virus Hazara	2	
<i>Flebovirus:</i>		
De la Fiebre del valle Rift	3	V
Virus de los flebotomos	2	
Virus Toscana	2	

Agente biológico	Clasificación	Notas
Otros bunyavirus de patogenicidad conocida	2	
<i>Caliciviridae:</i>		
Virus Norwalk	2	
Otros Caliciviridae	2	
Virus de la hepatitis E	3(*)	
<i>Coronaviridae</i>		
	2	
<i>Filoviridae:</i>		
Virus Ebola	4	
Virus de Marburg	4	
<i>Flaviviridae:</i>		
Encefalitis de Australia (Encefalitis del Valle Murray)	3	
Virus de la encefalitis de las garrapatas de Europa central	3(*)	V
Absettarov	3	
Hanzalova	3	
Hypr	3	
Kumlinge	3	
Virus del dengue tipos 1-4	3	
Virus de la hepatitis C	3(*)	D
Virus de la hepatitis G	3(*)	D
Encefalitis B japonesa	3	V
Bosque de Kyasamur	3	V
Mal de Louping	3(*)	
Omsk (a)	3	V
Powassan	3	
Rocio	3	
Encefalitis verno-estival rusa (a)	3	V
Encefalitis de St Louis	3	
Virus Wesselsbron	3(*)	
Virus del Nilo occidental	3	
Fiebre amarilla	3	V
Otros flavivirus de conocida patogenicidad	2	
<i>Hepadnaviridae:</i>		
Virus de la hepatitis B	3(*)	V,D
Virus de la hepatitis D (Delta) (b)	3(*)	V,D
<i>Herpesviridae:</i>		
Cytomegalovirus	2	
Virus de Epstein-Barr	2	
Herpesvirus simiae (virus B)	3	
Herpes simplex tipo 1 y 2	2	
Herpesvirus humano 7	2	
Herpesvirus humano 8	2	D
Herpesvirus varicella-zoster	2	
Virus linfotrópico humano B (HBLV-HHV6)	2	
<i>Orthomyxoviridae:</i>		
Virus de la influenza tipos A, B y C	2	V(c)
Ortomixovirus transmitidos por garrapatas: Virus Dhori y Thogoto	2	

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Papovaviridae:</i>		
Virus BK y JC	2	D(d)
Virus del papiloma humano	2	D(d)
<i>Paramyxoviridae:</i>		
Virus del sarampión	2	V
Virus de las paperas	2	V
Virus de la enfermedad de Newcastle	2	
Virus de la parainfluenza tipos 1 a 4	2	
Virus respiratorio sincitial	2	
<i>Parvoviridae:</i>		
Parvovirus humano (B 19)	2	
<i>Picornaviridae:</i>		
Virus de la conjuntivitis hemorrágica (AHC)	2	
Virus Coxsackie	2	
Virus Echo	2	
Virus de la hepatitis A (enterovirus humano tipo 72)	2	V
Poliovirus	2	V
Rinovirus	2	
<i>Poxviridae:</i>		
Buffalopox virus (e)	2	
Cowpox virus	2	
Elephantpox virus (f)	2	
Virus del nódulo de los ordeñadores	2	
<i>Molluscum contagiosum</i> virus	2	
Monkeypox virus	3	V
Orf virus	2	
Rabbitpox virus (g)	2	
Vaccinia virus	2	
Variola (major & minor) virus	4	V
"Whitepox virus" (variola virus)	4	V
Yatapox virus (Tana & Yaba)	2	
<i>Reoviridae:</i>		
Coltivirus	2	
Rotavirus humanos	2	
Orbivirus	2	
Reovirus	2	
<i>Retroviridae:</i>		
Virus de inmunodeficiencia humana	3(*)	D
Virus de las leucemias humanas de las células T (HTLV) tipos 1 y 2	3(*)	D
Virus SIV (h)	3(*)	
<i>Rhabdoviridae:</i>		
Virus de la rabia	3(*)	V
Virus de la estomatitis vesicular	2	
<i>Togaviridae:</i>		
<i>Alfavirus:</i>		
Encefalomielitis equina americana oriental	3	V
Virus Bebaru	2	
Virus Chikungunya	3(*)	
Virus Everglades	3(*)	

Agente biológico	Clasificación	Notas
Virus Mayaro	3	
Virus Mucambo	3(*)	
Virus Ndumu	3	
Virus Onyong-nyong	2	
Virus del río Ross	2	
Virus del bosque Semliki	2	
Virus Sindbis	2	
Virus Tonate	3(*)	
Encefalomiелitis equina venezolana	3	V
Encefalomiелitis equina americana occidental	3	V
Otros alfavirus conocidos	2	
Rubivirus (rubeola)	2	V
<i>Toroviridae</i> :	2	
Virus no clasificados:		
Virus de la hepatitis todavía no identificados	3(*)	D
Morbilivirus equino	4	
Agentes no clasificados asociados a encefalopatías espongiiformes transmisibles (TSE):		
La enfermedad de Creutzfeldt-Jacob	3(*)	D(d)
Variante de la enfermedad Creutzfeldt-Jacob (CJD)	3(*)	D(d)
Encefalopatía espongiiforme bovina (BSE) y otras TSE de origen animal afines (i)	3(*)	D(d)
El síndrome deGerstmann-Sträussler-Scheinker	3(*)	D(d)
Kuru	3(*)	D(d)

PARÁSITOS

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Acanthamoeba castellani</i>	2	
<i>Ancylostoma duodenale</i>	2	
<i>Angiostrongylus cantonensis</i>	2	
<i>Angiostrongylus costaricensis</i>	2	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	2	A
<i>Ascaris suum</i>	2	A
<i>Babesia divergens</i>	2	
<i>Babesia microti</i>	2	
<i>Balantidium coli</i>	2	
<i>Brugia malayi</i>	2	
<i>Brugia pahangi</i>	2	
<i>Capillaria philippinensis</i>	2	
<i>Capillaria spp</i>	2	
<i>Clonorchis sinensis</i>	2	
<i>Clonorchis viverrini</i>	2	

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Cryptosporidium parvum</i>	2	
<i>Cryptosporidium spp</i>	2	
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	2	
<i>Dipetalonema streptocerca</i>	2	
<i>Diphyllobothrium latum</i>	2	
<i>Dracunculus medinensis</i>	2	
<i>Echinococcus granulosus</i>	3(*)	
<i>Echinococcus multilocularis</i>	3(*)	
<i>Echinococcus vogeli</i>	3(*)	
<i>Entamoeba histolytica</i>	2	
<i>Fasciola gigantica</i>	2	
<i>Fasciola hepatica</i>	2	
<i>Fasciolopsis buski</i>	2	
<i>Giardia lamblia (Giardia intestinalis)</i>	2	
<i>Hymenolepis diminuta</i>	2	
<i>Hymenolepis nana</i>	2	
<i>Leishmania brasiliensis</i>	3(*)	
<i>Leishmania donovani</i>	3(*)	
<i>Leishmania ethiopica</i>	2	
<i>Leishmania mexicana</i>	2	
<i>Leishmania peruviana</i>	2	
<i>Leishmania tropica</i>	2	
<i>Leishmania major</i>	2	
<i>Leishmania spp</i>	2	
<i>Loa loa</i>	2	
<i>Mansonella ozzardi</i>	2	
<i>Mansonella perstans</i>	2	
<i>Naegleria fowleri</i>	3	
<i>Necator americanus</i>	2	
<i>Onchocerca volvulus</i>	2	
<i>Opisthorchis felineus</i>	2	
<i>Opisthorchis spp</i>	2	
<i>Paragonimus westermani</i>	2	
<i>Plasmodium falciparum</i>	3(*)	
<i>Plasmodium spp (humano y símico)</i>	2	
<i>Sarcocystis suihominis</i>	2	
<i>Schistosoma haematobium</i>	2	
<i>Schistosoma intercalatum</i>	2	
<i>Schistosoma japonicum</i>	2	
<i>Schistosoma mansoni</i>	2	
<i>Schistosoma mekongi</i>	2	
<i>Strongyloides stercoralis</i>	2	
<i>Strongyloides spp</i>	2	
<i>Taenia saginata</i>	2	
<i>Taenia solium</i>	3(*)	
<i>Toxocara canis</i>	2	
<i>Toxoplasma gondii</i>	2	
<i>Trichinella spiralis</i>	2	
<i>Trichuris trichiura</i>	2	
<i>Trypanosoma brucei brucei</i>	2	
<i>Trypanosoma brucei gambiense</i>	2	
<i>Trypanosoma brucei rhodesiense</i>	3(*)	
<i>Trypanosoma cruzi</i>	3	
<i>Wuchereria bancrofti</i>	2	

HONGOS

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2	A
<i>Blastomyces dermatitidis</i> (<i>Ajellomyces dermatitidis</i>)	3	
<i>Candida albicans</i>	2	A
<i>Candida tropicalis</i>	2	
<i>Cladophialophora bantiana</i> (<i>Xylohypha bantiana</i> , <i>Cladosporium bantianum</i> , Cl. trihoides)	3	
<i>Coccidioides immitis</i>	3	A
<i>Cryptococcus neoformans</i> var. <i>neoformans</i> (<i>Filobasidiella neoformans</i> var. <i>neoformans</i>)	2	A
<i>Cryptococcus neoformans</i> var. <i>gattii</i> (<i>Filobasidiella bacillispora</i>)	2	A
<i>Emmonsia parva</i> var. <i>parva</i>	2	
<i>Emmonsia parva</i> var. <i>crecens</i>	2	
<i>Epidermophyton floccosum</i>	2	A
<i>Fonsecaea compacta</i>	2	
<i>Fonsecaea pedrosoi</i>	2	
<i>Histoplasma capsulatum</i> var. <i>capsulatum</i> (<i>Ajellomyces capsulatus</i>)	3	
<i>Histoplasma capsulatum duboisii</i>	3	
<i>Madurella grisea</i>	2	
<i>Madurella mycetomatis</i>	2	
<i>Microsporium</i> spp	2	A
<i>Neotestudina rosatii</i>	2	
<i>Paracoccidioides brasiliensis</i>	3	
<i>Penicillium marneffeii</i>	2	A

<i>Scedosporium apiospermum</i> (<i>Pseudallescheria boydii</i>)	2
<i>Scedosporium prolificans (inflatum)</i>	2
<i>Sporothrix schenckii</i>	2
<i>Trichophyton rubrum</i>	2
<i>Trichophyton</i> spp	2

- (a) Encefalitis vehiculada por la garrapata
- (b) El virus de la hepatitis D precisa de otra infección simultánea o secundaria a la provocada por el virus de la hepatitis B para ejercer su poder patógeno. La vacuna de la hepatitis B protegerá, por tanto, a los no afectados por el virus de la hepatitis B, contra el virus de la hepatitis D (delta).
- (c) Sólo por lo que se refiere a los tipos A y B.
- (d) Recomendado para los trabajos que impliquen un contacto directo con estos agentes.
- (e) Se pueden identificar dos virus distintos bajo este epígrafe: "buffalopox" virus y una variante de "vaccinia" virus.
- (f) Variante de "cowpox"
- (g) Variante de "vaccinia"
- (h) No existe actualmente ninguna prueba de enfermedad humana provocada por otro retrovirus de origen simíco. Como medida de precaución, se recomienda un nivel 3 de contención para los trabajos que supongan una exposición a estos retrovirus.
- (i) No hay pruebas concluyentes de infecciones humanas causadas por los agentes responsables de las TSE en los animales. No obstante, para el trabajo en el laboratorio se recomiendan medidas de contención para los agentes clasificados en el grupo de riesgo 3 como medida de precaución, excepto para el trabajo en laboratorio relacionado con el agente identificado de la tembladera (scrapie) de los ovinos, para el que es suficiente un nivel 2 de contención.

LA PREVENCIÓN FRENTE AL RUIDO

La exposición a ruido entraña riesgos para la salud. Concretamente desde hace más de 200 años se sabe que el ruido ocasiona una pérdida de la capacidad auditiva del individuo expuesto. A pesar de esta evidencia no es habitual la implantación de procedimientos para evitar estas exposiciones, más bien se ha creado una especie de “cultura de resignación” que consiste en asumir como inevitables los efectos perjudiciales, sin poner un interés real y eficaz en prevenirlos. El resultado es que continúan observándose casos de pérdida de capacidad auditiva inducida por ruido entre la población trabajadora en una proporción que no parece acorde con lo esperable teniendo en cuenta los conocimientos y tecnologías disponibles en la actualidad.

Los diseñadores, fabricantes y comercializadores de maquinaria o equipos de trabajo están obligados a producir bienes que no impliquen un riesgo para la salud de los trabajadores y, si no son capaces de hacerlo, su responsabilidad es notificar a los usuarios la existencia de los riesgos y suministrar la información necesaria para que conozcan el peligro y puedan adoptar las medidas de prevención correctas.

El empresario que adquiere una máquina o equipo de trabajo tiene la obligación de informarse, previamente a la adquisición, de los riesgos a que pueden estar expuestos los trabajadores que van a usarla o permanecer en sus proximidades y adoptar la decisión de compra con conocimiento de los riesgos, y por tanto consciente de las protecciones adicionales que va a necesitar en caso de que finalmente se decida por la instalación de una máquina ruidosa.

La experiencia muestra que confiar la prevención del riesgo

de pérdida de capacidad auditiva inducida por ruido a la utilización de equipos de protección individual es una política poco eficaz y por tanto se debería aplicar sólo en los supuestos en que hay verdadera imposibilidad de eliminar el riesgo por otros medios, y además implantando unos procedimientos muy estrictos para lograr una eficacia preventiva real de los equipos de protección individual.

Física del fenómeno acústico

Una definición útil de sonido es: “fenómeno físico que provoca las sensaciones propias del sentido humano de la audición”, y un ruido sería “todo sonido peligroso, molesto, inútil o desagradable”.

Estas definiciones, que son subjetivas, inducen a interesarse por el tipo de fenómeno capaz de excitar el órgano humano de la audición; con ello se obtienen dos ventajas prácticas: se puede objetivar y cuantificar el fenómeno utilizando los métodos de la física clásica y se evita la subjetividad al intentar diferenciar lo molesto de lo agradable y lo útil de lo inútil. En otras palabras: se elimina la diferenciación entre ruido y sonido. En el resto del capítulo ambos conceptos se tratan como equivalentes.

EN EL ÁMBITO DE LOS RIESGOS OCASIONADOS POR LA EXPOSICIÓN LABORAL A RUIDO NO SE DIFERENCIA ENTRE RUIDO Y SONIDO

A partir del análisis de la anatomía y la fisiología del órgano humano del oído se llega a la conclusión de que el fenómeno citado consiste en perturbaciones (aumentos y disminuciones) de la presión atmosférica alrededor de su valor medio, con una frecuencia relativamente elevada (entre 20 y 20.000 veces por segundo). Este fenómeno implica que el sonido, o el ruido, necesita un soporte material (en nuestro, caso el aire) para existir, en el vacío no puede existir sonido.

La toma en consideración de las propiedades físicas y termodinámicas del aire lleva a otra conclusión: si en un lugar existe una perturbación de la presión, necesariamente esa misma perturbación se producirá en un lugar situado a una distancia con un cierto retraso, es decir, el sonido se propaga con una velocidad finita. Esta velocidad de propagación depende de la elasticidad y de la densidad del medio. En el caso del aire es de 340 m/s

a 20 °C y es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta. Es fácil deducir que esta propagación se refiere a una propagación de energía mecánica en forma de frentes sucesivos de sobrepresiones y enrarecimientos, sin que exista desplazamiento de masas. Este tipo de energía se conoce con el nombre de energía sonora.

EL RUIDO, O SONIDO, ES UNA PROPAGACIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA, QUE SE LLAMA ENERGÍA SONORA, EN FORMA DE ONDAS SUCESIVAS DE SOBREPRESIÓN Y ENRARECIMIENTOS

Las magnitudes características que permiten cuantificar el ruido son la presión sonora y la frecuencia. La presión sonora está relacionada con nuestra percepción de volumen o intensidad del sonido y la frecuencia con la percepción del tono.

Magnitudes y unidades acústicas

Presión sonora

La presión sonora es la raíz cuadrada del valor cuadrático medio de las variaciones de presión. Es una medida de la amplitud de las variaciones de presión, cuanto mayor sean el aumento y disminución respecto al valor medio mayor será la presión sonora y mayor será la sensación de volumen. En términos matemáticos la presión sonora se define con la ecuación:

$$p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p(t)^2 dt}$$

siendo

$p(t)$: el valor instantáneo de la presión.

p : el valor de la presión sonora.

Esta definición es la de valor eficaz, o valor rms (raíz cuadrática media), de la teoría clásica del movimiento ondulatorio y es aplicable cualquiera que sea la forma en que la presión varíe. La unidad de medida es el pascal (Pa). La importancia de esta magnitud reside en que la cantidad de energía sonora que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo es directamente proporcional al cuadrado de la presión sonora eficaz, o sea que al medir o citar la presión sonora se está hablando de la cantidad de energía sonora que llega a un lugar (por ejemplo, el oído de un trabajador).

Nivel de presión sonora

El oído humano es capaz de percibir aproximadamente presiones sonoras desde un mínimo de 20 micropascales (que es el umbral de audición) hasta 200 pascales (que corresponde al umbral de dolor). Manejar este rango tan amplio resulta incómodo y es habitual utilizar una escala logarítmica relativa, cuya unidad es el decibelio (dB). La definición de esta escala es:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

siendo

L_p : el valor del nivel de presión sonora, expresado en dB.

p : la presión sonora expresada en pascales.

p_0 : un valor constante que vale 20 micropascales ($20 \cdot 10^{-6}$ Pa).

Con una escala definida de esta manera, el valor mínimo de la sensibilidad auditiva humana corresponde a un nivel de presión sonora de 0 dB y el umbral de dolor (200 Pa) resulta ser de 140 dB.

En la tabla se indican valores correspondientes de presión sonora y nivel de presión sonora junto con ejemplos típicos ilustrativos.

EJEMPLOS	Presión sonora $p(\text{Pa})$	Nivel de presión sonora L_p (dB)
Umbral de dolor	200	140
Despegue de avión	20	120
Martillo neumático	2	100
Calle ruidosa	0,2	80
Oficina general	0,02	60
Habitación en silencio	0,002	40
Cámara anecoica	$20 \cdot 10^{-5}$	20
Umbral de audición	$20 \cdot 10^{-6}$	0

La presión sonora y el nivel de presión sonora son dos cantidades relacionadas de forma unívoca, es decir que, conocida una de ellas, la otra se puede calcular utilizando la relación que las liga. De hecho la forma estrictamente correcta de medir la presión sonora sería utilizar una escala lineal de pascales. El uso de una escala logarítmica obedece a razones de facilidad en el manejo de las cifras, y de hecho no es extraño el uso de este tipo de escalas en otras ramas de la ciencia (las telecomunicaciones, por ejemplo). El dB es la unidad de medida de cualquier escala logarítmica y no sólo una unidad de medida del ruido, por ello conviene citar la expresión “Nivel de presión sonora” o “Nivel sonoro” cuando se indican cantidades en dB, en caso contrario pueden ocurrir confusiones lamentables.

Nivel de pico

En la evaluación de riesgos para la salud de los trabajadores expuestos a ruido también tiene interés la presión de pico que es el valor máximo instantáneo de la sobrepresión o depresión que ocasiona una onda sonora. No se debe confundir el valor de pico con el valor de

LA PRESIÓN DE PICO ES EL VALOR MÁXIMO INSTANTÁNEO DE SOBREPRESIÓN O DEPRESIÓN

la presión sonora. El primero es un valor instantáneo de sobrepresión (o depresión) mientras que la presión sonora es un valor promediado.

NO DEBEN CONFUNDIRSE LOS CONCEPTOS DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA Y NIVEL DE PICO, AUNQUE AMBOS SE EXPRESAN EN DECIBELIOS

La misma escala logarítmica citada antes también es aplicable para expresar los valores de la presión de pico, en cuyo caso se habla de nivel de pico y su unidad es el dB. La relación es:

$$L_k = 10 \log \frac{p_k^2}{p_0^2}$$

siendo

L_k : el valor del nivel de presión de pico, expresado en dB.

p_k : la presión sonora de pico en pascales.

p_0 : el valor constante que vale 20 micropascales ($20 \cdot 10^{-6}$ Pa).

Potencia sonora

Ya se ha indicado que el sonido es un transporte de energía mecánica a través de un medio elástico, habitualmente el aire. La cantidad de energía sonora que radia una fuente sonora en la unidad de tiempo es la potencia sonora de la fuente y se mide en watts, aunque es normal utilizar una escala logarítmica relativa de nivel de potencia sonora, que se designa con el símbolo L_w y cuya unidad es el dB. La definición es:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

siendo

L_w : el nivel de potencia sonora en dB.

W: la potencia sonora en watts.

W_0 : el valor de referencia = 1 pW (10^{-12} W).

En la tabla se indican valores correspondientes de potencia sonora y nivel de potencia sonora junto con ejemplos típicos ilustrativos.

La potencia sonora indica la totalidad de energía sonora que radia una fuente, y por tanto es una característica de la propia fuente. La presión sonora está relacionada con la intensidad del flujo de energía sonora en un punto del espacio, y su valor depende de la cantidad de energía radiada por la fuente y de las características de la incidencia o modificación que sufra el sonido al viajar desde la fuente hasta el punto considerado (distancia a la fuente, condiciones acústicas del local, pantallas, barreras, etc.).

EJEMPLOS	Potencia sonora W (watts)	Nivel de potencia sonora L _w (dB)
Motor de aviación	10.000	160
	1.000	150
	100	140
Orquesta sinfónica	10	130
Taladro eléctrico	1	120
	0,1	110
	0,01	100
Voz gritando	0,001	90
	0,0001	80
Voz normal	0,00001	70

Siempre que se mida un nivel de presión sonora hay que tomar nota de las circunstancias de la fuente y del entorno en que se realizó la medición. La simple especificación del nivel de presión sonora tiene poco significado en lo que se refiere a características acústicas de la fuente de ruido.

Adición de niveles sonoros

Cuando es necesario determinar el nivel del ruido resultante al producirse de forma simultánea dos ruidos de nivel conocido, se presenta el problema de que por tratarse de una escala logarítmica las magnitudes expresadas en dB no son directamente aditivas. La presión sonora resultante de la superposición de dos o más sonidos viene dada por:

$$p_r^2 = \sum p_i^2$$

siendo

p_i : la presión sonora de cada componente.

p_r : la presión sonora resultante.

Teniendo en cuenta que la energía sonora es proporcional al cuadrado de la presión sonora, esta expresión equivale a enunciar que la energía sonora resultante al producirse varios sonidos simultáneamente es la suma de las energías sonoras de cada uno de ellos.

La ecuación no es válida para la adición de niveles de pico. No existe ningún procedimiento analítico simple para calcular el nivel de pico resultante al producirse simultáneamente dos ruidos.

La ecuación puede escribirse en términos de nivel de presión sonora:

$$L_{pT} = 10 \log \sum 10^{L_{pi} / 10}$$

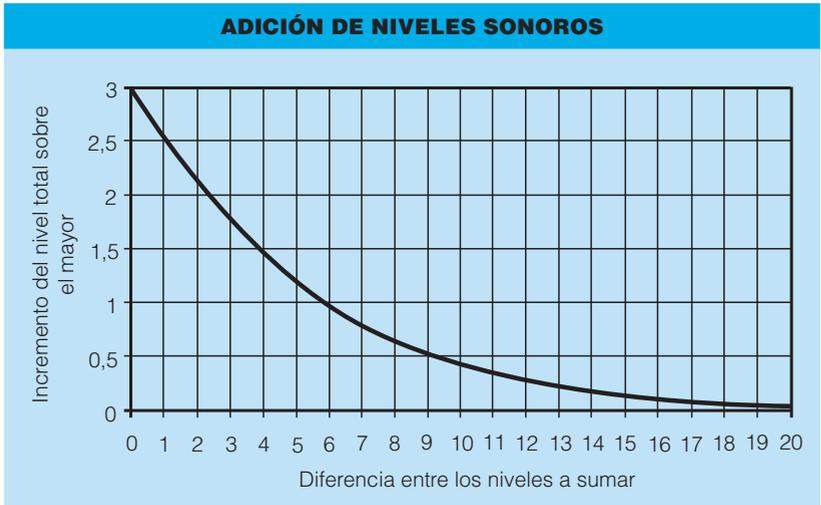
siendo

L_{pT} : el nivel sonoro resultante.

L_{pi} : los niveles sonoros de los componentes.

También se pueden utilizar gráficos como el adjunto, en el que en función de la diferencia entre dos niveles sonoros a sumar se indica el número de decibelios que hay que añadir al nivel mayor para obtener el nivel del ruido resultante.

Por ejemplo, para calcular el nivel que resultará al ubicar en un lugar en el que existe un nivel sonoro de 80 dB una máquina que genera un nivel sonoro de 84 dB, los pasos a seguir son:



1. determinar la diferencia de ambos niveles: $84 - 80 = 4$ dB;
2. leer en el gráfico el número de dB que hay que añadir al mayor: para 4 dB de diferencia, el incremento resulta ser de 1,5 dB;
3. calcular el nivel global incrementando el nivel mayor con el resultado de la lectura: $84 + 1,5 = 85,5$ dB.

Si el cálculo hay que hacerlo para más de dos ruidos el procedimiento se repetirá de forma sucesiva, es decir se adicionan dos niveles, al resultado se le adiciona el tercer valor y se repite el proceso hasta completar la adición de todos los valores.

Nótese que cuando dos ruidos de igual nivel se producen simultáneamente el nivel global aumenta en 3 dB, este hecho admite la interpretación siguiente: al duplicar la cantidad de energía sonora, el nivel de presión sonora aumenta 3 dB.

Corrección por ruido de fondo

En muchas ocasiones no es posible determinar el ruido generado por una máquina o instalación de forma independiente de otros ruidos, que se denominan ruido de fondo. En estos casos se puede estimar el nivel sonoro del ruido generado por la máquina o instalación midiendo el nivel sonoro con la máquina en funcionamiento y con la máquina parada y restando los niveles.

La fórmula para obtener la diferencia de dos niveles sonoros es:

$$L_{p_o} = 10 \log (10^{L_{p_T}/10} - 10^{L_{p_F}/10})$$

siendo

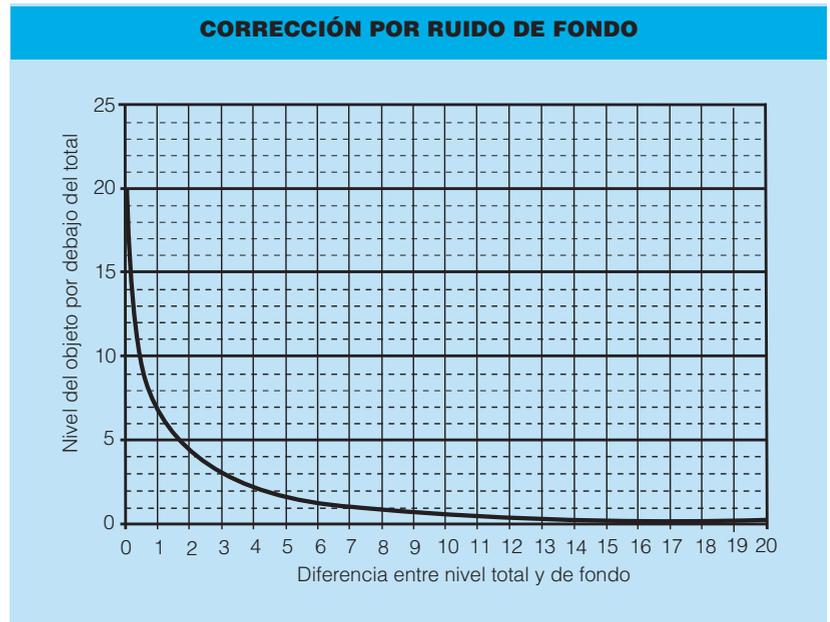
L_p : el nivel sonoro de la instalación objeto de la medición (dB).

L_p^o : el nivel sonoro total (dB).

L_p^F : el nivel sonoro de fondo (dB).

También existen ábacos y tablas para realizar esta operación. En este caso el dato de entrada en el gráfico es la diferencia entre el nivel sonoro total y el nivel sonoro de fondo (el nivel sonoro medido con la máquina parada), y la lectura es el número de dB que deben restarse al nivel total para obtener el nivel sonoro ocasionado por la máquina.

Por ejemplo, consideremos que en un puesto de trabajo en el que se maneja una herramienta eléctrica se mide un nivel de 88 dB, y que al parar la herramienta el nivel pasa a ser de 86 dB. La diferencia de niveles es de 2 dB, entrando en el gráfico con



este valor se lee una corrección de 4,3 dB, por tanto el nivel sonoro debido a la herramienta es $88 - 4,3 = 83,7$ dB

Frecuencia, periodo y longitud de onda

La frecuencia de un sonido se percibe como el tono. Los sonidos de baja frecuencia se perciben como sonidos graves y los de alta frecuencia como agudos. Físicamente, la frecuencia es el número de veces que la presión sonora alcanza un máximo y un mínimo en la unidad de tiempo. La unidad de medida es el hertzio (Hz) que equivale a una frecuencia de un ciclo por segundo.

LA FRECUENCIA ES EL NÚMERO DE VECES QUE LA PRESIÓN SONORA ALCANZA UN MÁXIMO Y UN MÍNIMO EN LA UNIDAD DE TIEMPO. LOS SONIDOS GRAVES SON DE BAJA FRECUENCIA Y LOS AGUDOS DE ALTA FRECUENCIA

El oído humano es sensible, en sentido amplio, a sonidos de frecuencia comprendida entre 20 y 20.000 Hz. Como es lógico este rango es distinto entre individuos y varía con la edad y las características de cada sujeto. Se ajusta más a la realidad hablar de un rango de frecuencias audibles entre 100 y 5.000 Hz, lo que no implica ninguna limitación para la vida social, ya que el rango habitual de los sonidos generados por la voz humana y otras fuentes naturales está comprendido entre 200 y 3.000 Hz.

EL RANGO HABITUAL DE LOS SONIDOS GENERADOS POR LA VOZ HUMANA Y OTRAS FUENTES NATURALES ESTÁ COMPRENDIDO ENTRE 200 Y 3.000 HZ

El periodo es el tiempo que tarda en producirse un ciclo completo de variación de presión sonora. Equivale al inverso de la frecuencia:

$$T = 1/f$$

El periodo se mide en segundos. Los periodos de los sonidos audibles varían entre 0,05 ms y 50 ms

La longitud de onda de un sonido es la distancia recorrida por un ciclo durante su duración, es decir:

$$\lambda = c/f = c \cdot T$$

siendo

λ : la longitud de onda (m).

f: la frecuencia (Hz).

c: la velocidad de propagación (= 340 m/s).

T: el periodo (s).

Las longitudes de onda de los sonidos audibles varían entre 17 mm y 17 metros.

Como se puede comprobar, las tres magnitudes están relacionadas entre sí de forma unívoca y el uso de una u otra magnitud es una cuestión de comodidad. Por ejemplo, es cómodo hablar de frecuencia cuando nos interesamos por la “altura tonal” de un instrumento (a mayor frecuencia mayor altura),

EL TAMAÑO RELATIVO ENTRE LA LONGITUD DE ONDA Y UNA SUPERFICIE DETERMINA LA MEDIDA EN QUE LA ONDA SE REFLEJARÁ EN LA SUPERFICIE

pero si el interés es hacia el comportamiento de un ruido cuando incide sobre una superficie es más cómodo hablar de longitudes de onda, ya que en las superficies grandes con respecto a la longitud de onda, el sonido se refleja siguiendo las

leyes clásicas de la reflexión y se crea una zona de “sombra acústica”, en cambio si la longitud de onda es mayor que las dimensiones de la superficie apenas hay reflexión y no se crea una zona de sombra.

Bandas de frecuencia

El margen de frecuencias audibles (20 Hz a 20 kHz) se divide en bandas. Una banda es un intervalo de frecuencias definido por una frecuencia inferior y una frecuencia superior.

En acústica es habitual utilizar bandas proporcionales en las que la frecuencia superior es proporcional a la frecuencia inferior. La más utilizada es la banda de octava en la que la frecuencia superior es el doble de la inferior. También es frecuente utilizar bandas de 1/3 de octava que se obtienen al dividir una banda de octava en tres partes, en consecuencia la relación entre la frecuencia superior e inferior de una banda de tercio de octava será $\sqrt[3]{2}$.

Una banda proporcional se identifica por su frecuencia central que es la media geométrica de las frecuencias límites. En el caso de las bandas de octava las relaciones entre las frecuencias inferior, superior y central son:

$$f_c = \sqrt{f_i \cdot f_s} = f_i \sqrt{2} = f_s / \sqrt{2}$$

siendo f_i , f_s y f_c las frecuencias inferior, superior y central de la banda de octava respectivamente.

Y para las bandas de 1/3 de octava estas relaciones son:

$$f'_c = \sqrt[3]{f'_i \cdot f'_s} = f'_i \sqrt[3]{2} = f'_s / \sqrt[3]{2}$$

Internacionalmente se han normalizado las bandas de octava y 1/3 de octava cuyos valores concretos se indican en la tabla.

Escala de ponderación A

El nivel sonoro de un ruido en términos de presión sonora no se corresponde con la sensación de audición. Así un ruido con componentes de baja frecuencia importantes causa una sensación de menor intensidad que otro ruido del mismo nivel pero con componentes agudas. Por ejemplo, para que un ruido generado por un transformador de potencia (frecuencia fundamental de 100 Hz) se oiga igual de fuerte que el ruido de una

FRECUENCIAS CENTRALES Y LÍMITES APROXIMADOS DE LAS BANDAS PROPORCIONALES NORMALIZADAS					
octava			1/3 octava		
frec. inferior	frec. central	frec. superior	frec. inferior	frec. central	frec. superior
11	16	22	11	12,5	14
			14	16	18
			18	20	22
22	31,5	44	22	25	28
			28	31,5	35,5
			35,5	40	44
44	63	88	44	50	56
			56	63	71
			71	80	88
88	125	177	88	100	112
			112	125	142
			142	160	176
177	250	355	176	200	224
			224	250	284
			284	315	355
355	500	710	355	400	448
			448	500	568
			568	630	710
710	1000	1420	710	800	895
			895	1000	1135
			1136	1250	1420
1420	2000	2840	1420	1600	1790
			1790	2000	2270
			2270	2500	2840
2840	4000	5680	2840	3150	3550
			3550	4000	4480
			4480	5000	5680
5680	8000	11360	5680	6300	7100
			7100	8000	8950
			8950	10000	11360
11360	16000	22720	11360	12500	14200
			14200	16000	17900
			17900	20000	22720

EL OÍDO HUMANO NO TIENE UNA RESPUESTA IGUAL A TODAS LAS FRECUENCIAS AUDIBLES. PARA TENER EN CUENTA ESTE HECHO SE DEFINIÓ LA ESCALA A DE PONDERACIÓN

reactancia de un tubo fluorescente (frecuencia fundamental de 600 Hz) debe tener un nivel de unos 15 dB superior.

Esta falta de linealidad en la respuesta del oído humano llevó a definir unas escalas de ponderación, que no son más que redes electrónicas incorporadas en los instrumentos de medida que modifican la señal captada por el micrófono de forma similar a como lo hace el oído humano.

De todas las escalas propuestas, la denominada “escala A” es prácticamente la única que se usa, ya que experimentalmente se ha podido comprobar que los niveles sonoros medidos utilizando esta escala se correlacionan bastante bien con las pérdidas auditivas inducidas por ruido.

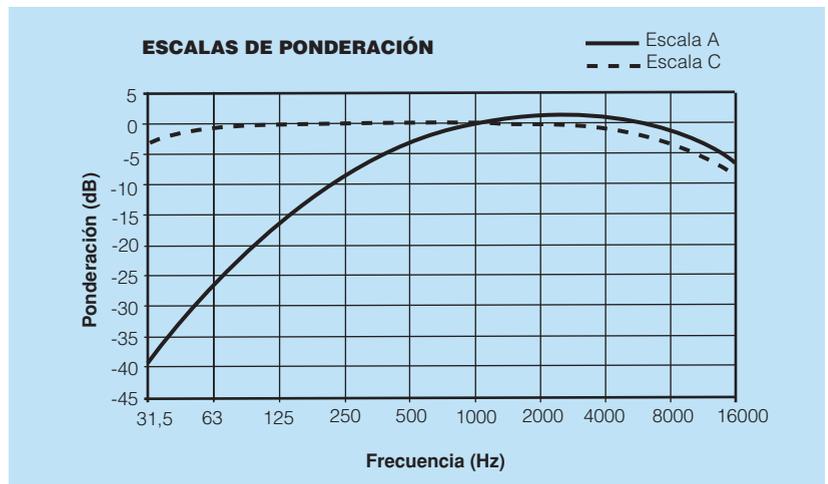
También es muy frecuente que los instrumentos de medida dispongan de otra escala, llamada C, que equivale en la práctica a la medida sin ponderación (lineal).

Los valores de las escalas A y C se indican en la tabla y el gráfico (norma UNE EN 61672:2005)

Cuando en una medición se utiliza una escala de ponderación, que es la forma más habitual de medir, el nivel sonoro se llama “nivel de presión sonora con ponderación A”, el símbolo es L_A y la unidad es el dB(A), o bien “nivel de presión sonora con ponderación C”, con símbolo L_C y unidad dB(C).

Análisis espectral

Aunque para la evaluación de la exposición laboral a ruido es suficiente con conocer el nivel de presión sonora expresado en dBA y el tiempo de exposición, en ocasiones es necesario



disponer de información sobre la característica tonal del ruido. Esta información se presenta en forma de tablas o gráficos en los que se indica el nivel sonoro en cada una de las bandas de octava o de tercio de octava. Esta presentación recibe el nombre de espectro sonoro o espectro del ruido.

El nivel sonoro de una banda es una medida de la cantidad de energía sonora contenida en las ondas cuya frecuencia está incluida en la banda. Lógicamente la suma logarítmica de los niveles de todas las bandas es el nivel sonoro total.

Cálculo del nivel sonoro a partir del espectro

Si sólo se dispone de los datos del espectro sonoro, es decir, de los niveles de presión sonora correspondientes a un conjunto de bandas de octava o de tercio de octava, es posible calcular los niveles globales de presión sonora siguiendo los procedimientos siguientes:

- a) Para calcular el nivel sonoro sin ponderación basta con sumar logarítmicamente los niveles de todas las bandas.
- b) Para calcular el nivel sonoro con ponderación A, en primer lugar hay que aplicar en cada banda la corrección de la curva de ponderación A correspondiente a la frecuencia central de la banda. Esta corrección se realiza añadiendo algebraicamente al valor del nivel sonoro el valor dado por la curva de ponderación. Los valores corregidos se suman logarítmicamente para obtener el valor del nivel sonoro ponderado A.

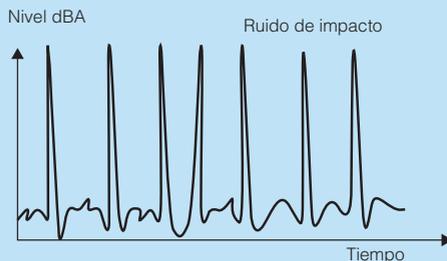
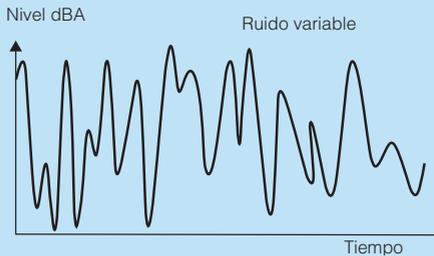
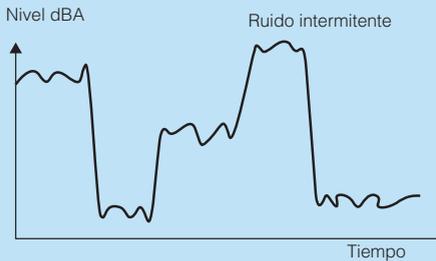
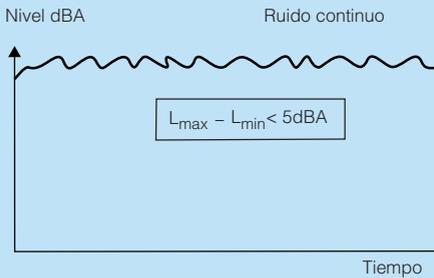
La relación existente entre los niveles sonoros ponderados y sin ponderar se indica en la tabla, en la que se presentan los niveles en bandas de octava del ruido emitido por una torre de refrigeración y los correspondientes niveles globales.

Nótese que la relación entre el nivel sonoro expresado en dB y en dB(A) depende de la característica tonal del ruido en

CURVAS DE PONDERACIÓN A Y C		
Frecuencia (Hz)	Ponderación A (dB)	Ponderación C (dB)
20	-50,5	-6,2
25	-44,7	-4,4
31,5	-39,4	-3,0
40	-34,6	-2,0
50	-30,2	-1,3
63	-26,2	-0,8
80	-22,5	-0,5
100	-19,1	-0,3
125	-16,1	-0,2
160	-13,4	-0,1
200	-10,9	0,0
250	-8,6	0,0
315	-6,6	0,0
400	-4,8	0,0
500	-3,2	0,0
630	1,9	0,0
800	-0,8	0,0
1000	0,0	0,0
1250	+0,6	0,0
1600	+1,0	-0,1
2000	+1,2	-0,2
2500	+1,3	-0,3
3150	+1,2	-0,5
4000	+1,0	-0,8
5000	+0,5	-1,3
6300	-0,1	-2,0
8000	-1,1	-3,0
10000	-2,5	-4,4
12500	-4,3	-6,2
16000	-6,6	-8,5
20000	-9,3	-11,2

Frecuencia central banda de octava	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global
Nivel sonoro dB	82	85	89	81	75	73	65	91 dB
Corrección A	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1	
Nivel ponderado A	66	76	86	81	76	74	64	87 dBA

TIPOS DE RUIDO SEGÚN SU PRESENTACIÓN TEMPORAL



cuestión; así, en un ruido con predominio de frecuencias bajas, como el del ejemplo, el nivel sonoro con ponderación A puede ser varios dB inferior al nivel sin ponderación, mientras que en un ruido con predominio de frecuencias agudas (una turbina de alta velocidad) el nivel ponderado A puede ser superior al nivel sin ponderación. La ponderación A da un resultado comparable con la percepción humana, mientras que la medida sin ponderación es estrictamente física.

Puesto que la ponderación C coincide prácticamente con los valores sin ponderar, es habitual identificar el nivel sonoro sin ponderación como nivel C (Símbolo L_C y unidad el dB(C)).

Tipos de ruido

Atendiendo a la forma de presentación temporal los ruidos se clasifican en:

- Continuos
- Intermitentes
- Variables
- De impacto o impulsivos.

Un ruido es continuo si su nivel es prácticamente constante a lo largo del tiempo. Como ejemplo puede citarse el ruido producido por un ventilador.

Un ruido es intermitente si el nivel sonoro varía en escalones bien definidos, de duración relativamente larga. Se puede considerar como una serie de ruidos continuos de diferente nivel sonoro. Un ejemplo puede ser el ruido de una sierra de cinta o una máquina herramienta en el que se distinguen claramente las fases de rui-

do correspondientes al funcionamiento en vacío y durante el trabajo.

Un ruido es variable si el nivel sonoro varía de forma continua en el tiempo sin seguir un patrón definido. Es el caso de un taller de reparaciones mecánicas. Un ruido es de impacto si el nivel sonoro presenta picos de alta intensidad y muy corta duración. El ejemplo típico es el ruido de las prensas de corte.

EFECTOS DEL RUIDO EN LA SALUD

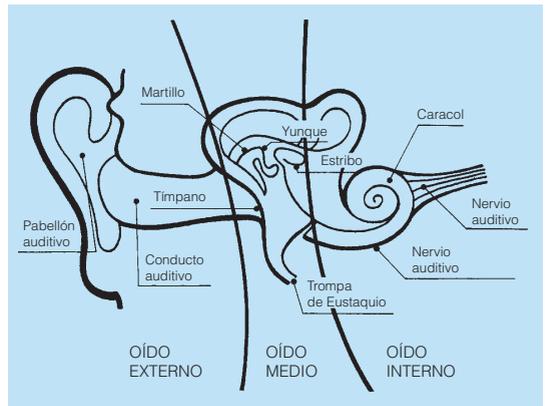
El ruido produce efectos tanto sobre la audición como sobre otros órganos y sistemas del cuerpo humano.

En el órgano humano de la audición se distinguen tres partes: el *oído externo*, formado por el pabellón auditivo, el conducto auditivo externo y la membrana del tímpano; el *oído medio*, que es una cavidad que contiene una cadena de tres huesecillos (martillo, yunque y estribo) y está conectada a la laringe a través de la Trompa de Eustaquio; y el *oído interno*, que tiene forma de concha de caracol de dos vueltas y media. A lo largo del recorrido del caracol se encuentran las terminales nerviosas del nervio auditivo.

Cuando los sucesivos frentes de sobrepresión y depresión lleguen al oído, provocan el movimiento de la membrana timpánica; este movimiento se transmite, a través de la cadena de huesecillos del oído medio, hasta el caracol; en este órgano las perturbaciones ocasionan la deformación de una membrana en zonas concretas en función de la frecuencia del sonido y como consecuencia de ello las terminales nerviosas de esa zona generan impulsos nerviosos que son conducidos hasta el cerebro por el nervio auditivo. Es en el cerebro donde se produce la percepción del sonido y donde se reconoce como fuerte o débil, agradable o desagradable, conocido o desconocido, etc.

Ya se ha indicado que el oído es un órgano muy sensible, capaz de detectar variaciones de presión de sólo 20 micropascales, y también tiene un margen muy amplio, pudiendo detectar variaciones de presión de hasta 200 pascales. Variaciones de presión superiores no producen una sensación de sonido, sino de dolor, y pueden ocasionar la rotura de la membrana timpánica.

Anatomía y fisiología del oído



Efectos de la exposición a ruido en la audición

Una única exposición a un ruido brusco e intenso de nivel de pico muy elevado (disparo, explosión, etc.) puede producir la rotura de tímpano o daños en la cadena de huesos del oído medio y ocasionar una disminución de la capacidad auditiva. Este tipo de hipoacusia se llama de transmisión, ya que el elemento alterado es la cadena de transmisión y no hay daños en el órgano de Corti. Admite tratamiento curativo y generalmente es reversible, salvo complicaciones.

Más importantes, dado que son más graves y afectan a mayor número de personas, son los efectos auditivos que ruidos menos intensos, pero más persistentes, pueden provocar a largo plazo sobre el oído.

LA EXPOSICIÓN A RUIDO DE NIVEL ELEVADO PUEDE PROVOCAR UNA PÉRDIDA DE LA CAPACIDAD AUDITIVA TEMPORAL O PERMANENTE

La consecuencia de la exposición continuada a ruido es la pérdida de sensibilidad o disminución de la capacidad auditiva. Esta disminución puede ser temporal o permanente.

La pérdida temporal se produce inmediatamente después de una exposición a ruido intenso y se recupera el estado normal de audición al cabo de unas horas. Este efecto se produce como consecuencia de los mecanismos fisiológicos de defensa frente a una agresión externa; el efecto neto es una disminución de la capacidad auditiva, pero al cesar la agresión se recupera lentamente el funcionamiento normal y por ello la capacidad auditiva se recupera en un plazo de pocas horas.

La pérdida permanente de capacidad auditiva se produce como consecuencia de una exposición a ruido intensa y prolongada (varios años) y es debida a la destrucción de los terminales del nervio auditivo del caracol. Se trata de una hipoacusia de percepción ya que, aunque toda la cadena de transmisión se mantiene en perfecto estado, falla el elemento encargado de transformar el fenómeno ambiental en sensación nerviosa.

Esta alteración de la audición ocurre lentamente, de tal manera que primero aparecen una serie de síntomas a los que no se da importancia, como son la dificultad para oír ruidos cotidianos como el timbre de la puerta, el televisor a un volumen normal (con lo que se tiende a elevarlo hasta unos niveles normales para el afectado, pero molestos para los demás); suelen aparecer dificultades de relación con los demás, aumento de la irritabilidad, así como otros síntomas de difícil relación con el ruido, pero que están relacionados con una posible lesión auditiva.

El proceso de destrucción de las terminales nerviosas del oído interno es muy lento, y no todas se lesionan a la vez ni de la misma manera, generalmente son las sensibles a los tonos agu-

dos de frecuencia próxima a 4 kHz las primeras en dañarse, extendiéndose progresivamente la lesión al resto de frecuencias. La consciencia de la lesión se adquiere cuando se afectan de forma notable las frecuencias conversacionales.

La hipoacusia inducida por ruido es bilateral y casi siempre simétrica, es decir, afecta a los dos oídos por igual, es irreversible, es decir, no se puede recuperar la audición a los límites normales; y no evolutiva, ya que habitualmente no progresa al cesar la exposición.

Para medir la capacidad auditiva se utiliza un aparato llamado audiómetro, mediante el que se emiten ruidos de diferente frecuencia (graves, medios, agudos) y de diferente nivel de intensidad. En función de los diferentes ruidos percibidos por la persona examinada se confecciona la audiometría, que indicará si la audición es normal o no. Si se tiene en cuenta que el proceso de disminución de la capacidad auditiva es paulatino y progresivo, el valor preventivo de la realización de reconocimientos médicos periódicos que incluyan una prueba audiométrica es muy importante, ya que puede poner de manifiesto precozmente las posibles alteraciones en las personas expuestas a ruido incluso antes de que el individuo aprecie la disminución.

LA PERDIDA DE CAPACIDAD AUDITIVA INDUCIDA POR RUIDO ES BILATERAL, IRREVERSIBLE Y NO EVOLUTIVA. ESTÁ RECONOCIDA COMO ENFERMEDAD PROFESIONAL

Además de la pérdida auditiva, también se atribuyen al ruido una serie de efectos fisiológicos perjudiciales, tales como:

Respiratorios: la exposición a ruido puede ocasionar un aumento de la frecuencia respiratoria que cesa al cesar la exposición.

Cardiovasculares: Aumento de la incidencia de trastornos tales como hipertensión arterial y arteriosclerosis.

Digestivos: Aumento de la incidencia de úlceras gastroduodenales y de la acidez.

Visuales: Alteraciones de la agudeza visual, el campo visual y la visión cromática.

Sistema nervioso: Se han observado alteraciones en el electroencefalograma, trastornos del sueño, cansancio, irritabilidad, inquietud, inapetencia sexual.

Endocrinos: Alteraciones en el funcionamiento normal de diversas glándulas como la hipófisis, tiroides, suprarrenales, etc. ocasionando variaciones de la concentración en sangre de las hormonas que segregan.

En estas alteraciones de tipo no auditivo, la relación causa-

Efectos no auditivos de la exposición a ruido

efecto con el ruido no es única, sino que posiblemente el ruido es un factor que contribuye, junto con otros factores, a los efectos citados y no está clara la importancia relativa de cada uno de ellos.

También tiene importancia el efecto que ocasiona el ruido de disminuir la capacidad de atención y el aumento del tiempo de reacción, lo que favorece el aumento de errores y el aumento de accidentes de trabajo.

MEDICIÓN DEL NIVEL SONORO

El nivel de presión sonora se mide con un instrumento de lectura directa llamado sonómetro. Un sonómetro está constituido, esencialmente, por un elemento transductor (el micrófono) que transforma las variaciones de presión en variaciones idénticas de una magnitud eléctrica (normalmente una tensión), a continuación dispone de un conjunto de circuitos electrónicos para acondicionar la señal y obtener su valor eficaz y, finalmente, un mecanismo indicador (escala graduada o presentador numérico) en el que se lee directamente el valor del nivel de presión sonora y/o el nivel de pico expresado en dB. Si en el circuito electrónico de medida se incluye un filtro que se adapte a la definición de la escala de ponderación A, entonces la lectura del indicador será el nivel sonoro expresado en dB(A).

La obtención de los niveles sonoros en cada banda se realiza con sonómetros que incorporan filtros. Un filtro es un dispositivo electrónico que no altera la intensidad de las señales cuya frecuencia esté comprendida en una banda seleccionada en el filtro, y anula las señales de todas las demás frecuencias. De esta forma la indicación del sonómetro es el nivel de presión sonora correspondiente a las frecuencias incluidas en la banda seleccionada en el filtro. Si el circuito electrónico incluye un filtro de paso de banda (octava o 1/3 de octava) entonces la lectura del indicador será el nivel sonoro en la banda correspondiente.

En caso de insertar ambos filtros (el de octava y el filtro A) el resultado será el nivel sonoro en la banda correspondiente modificado por el filtro A y su unidad es el dB y no el dB(A); por definición, un nivel sonoro ponderado A abarca la ponderación en toda la banda audible.

Como todo instrumento de medida, un sonómetro debe ser exacto y reproducible, es decir, el valor presentado en el indicador debe coincidir con el valor real de la presión sonora existente en el punto de medida y con el resultado indicado por otro sonómetro en igualdad de circunstancias. Los instrumentos dis-

ponibles en el comercio acreditan estas características mediante la declaración del cumplimiento de unas normas de calidad. Estas normas (UNE-EN 61252:1998 y UNE-EN 61672) definen una serie de ensayos muy precisos para comprobar que un instrumento determinado tiene un comportamiento que lo hace adecuado para el uso al que se destina. La norma UNE-EN 61672 establece los requisitos de precisión, clasificando los instrumentos en tres clases. Se exige legalmente que los sonómetros y sonómetros integradores-promediadores, que se utilicen en medidas reglamentarias, satisfagan como mínimo los requisitos de precisión de la clase 2.

Existen tres tipos de instrumentos de medición del sonido, que se denominan según las mencionadas normas:

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

De acuerdo con el RD 286/2006 los instrumentos de medición deben satisfacer los requisitos de precisión, como mínimo, de la Clase 2.

Por otra parte el Real Decreto 889/2006 y la Orden ITC/2845/2007 regulan el control metrológico que el Estado ejerce sobre los instrumentos destinados a la realización de mediciones reglamentarias de ruido. La instrumentación que se usa debe cumplir unos requisitos como por ejemplo el certificado de conformidad, o la verificación periódica en un organismo autorizado.

Las mediciones realizadas con un instrumento no sometido a este control no se consideran válidas.

Además de la posibilidad de seleccionar la escala de ponderación, los sonómetros disponen de un selector para elegir la velocidad de respuesta. Las normas de ensayo definen tres velocidades de respuesta: lenta, rápida e impulsiva. Esencialmente esta característica es una indicación del tiempo que tarda el instrumento en indicar el valor correcto del nivel sonoro de una señal estable, y se definen para saltos bruscos del nivel sonoro tanto en aumento como en disminución. Los valores normalizados son: 1 segundo para la respuesta lenta, 125 ms para la rápida y 35 ms en ascenso y 1 s en descenso para la impulsiva. En la práctica el uso de una u otra respuesta depende de consideraciones de comodidad de uso y cues-

ERROR ATRIBUIBLE A LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE RUIDO

Tipo de instrumento	Incertidumbre estándar (dB)
Sonómetro de clase 1	0,5
Sonómetro de clase 2	1,0
Dosímetro personal	1,0

LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA DEL RUIDO DEBEN SER VERIFICADOS PERIODICAMENTE POR UN ORGANISMO EXTERNO AUTORIZADO

EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DEBE DISPONER DE LA CARACTERÍSTICA "PEAK" SI SE DESEA CONOCER EL NIVEL DE PICO

ciones de normalización de resultados, así para medidas del nivel sonoro con fines de evaluación de la exposición laboral, los reglamentos suelen especificar que la medición debe hacerse con la velocidad

lenta.

El nivel de pico también se mide con sonómetros, si bien para esta función se debe seleccionar la forma de medición "pico" o "peak", para que el resultado mostrado en el indicador sea el nivel de pico y no el nivel de presión sonora. No hay que confundir el nivel de pico con el nivel sonoro medido con la respuesta impulsiva. Para que un sonómetro pueda indicar correctamente el nivel de pico la respuesta en modo pico debe ser extraordinariamente rápida (típicamente inferior a 100 microsegundos). El nivel de pico se debe medir, de acuerdo con el RD 286/2006, con la ponderación C.

Sonómetros integradores

La incorporación de la electrónica digital a los instrumentos de medida hace posible que los instrumentos actuales dispongan de funciones adicionales tales como memorias, posibilidad de elaborar los datos, conexión a ordenadores para volcado de series de mediciones y elaboración posterior, etc.

SI EL RUIDO NO ES DE TIPO CONTINUO, LAS MEDICIONES PARA OBTENER EL NIVEL EQUIVALENTE DIARIO, SE DEBEN REALIZAR CON UN SONÓMETRO INTEGRADOR-PROMEDIADOR O UN DOSÍMETRO

Una de las funciones más útiles es el cálculo del *nivel sonoro equivalente*, que se define como el nivel que debería tener un ruido de nivel constante para que la cantidad de energía sonora sea la misma que la del ruido real, suponiendo que ambos tienen la misma duración. Los sonómetros convencionales no pueden indicar el nivel equivalente directamente. Dicho parámetro

de obtiene por medición utilizando sonómetros integradores-promediadores o dosímetros.

La relación matemática que define el nivel sonoro equivalente es:

$$L_{eq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left[\frac{p(t)}{p_0} \right]^2 dt \right]$$

siendo

$T = t_2 - t_1$: la duración del ruido.

$p(t)$: la presión sonora del ruido en pascales.

p_0 : el valor de referencia de 20 micropascales ($20 \cdot 10^{-5}$ Pa).

$L_{eq,T}$: el nivel de ruido equivalente (dB).

El nivel equivalente, o nivel de ruido continuo equivalente, es útil para expresar mediante un solo número la magnitud de

un ruido de nivel sonoro intermitente, variable o de impacto.

Como es obvio, si el ruido es continuo los valores del nivel sonoro y del nivel equivalente coinciden.

Si la presión sonora es ponderada con la curva A, entonces se habla de un nivel sonoro equivalente ponderado A, y su unidad será el dB(A).

La definición de nivel equivalente coincide con lo que habitualmente se conoce como valor medio ponderado en el tiempo, es decir, el nivel sonoro equivalente es el nivel sonoro medio ponderado en el tiempo.

EL NIVEL SONORO EQUIVALENTE
ES EL NIVEL SONORO MEDIO PONDERADO
EN EL TIEMPO

En higiene industrial es habitual el uso del concepto de “dosis de ruido”; este concepto es una medida de la cantidad de energía sonora que alcanza a un trabajador en un periodo relativamente largo de tiempo (típicamente toda la jornada laboral). La dosis de ruido es proporcional al cuadrado de la presión sonora y al tiempo. Por convenio se eligen un valor de presión sonora y un tiempo de exposición como referencia, a cuya combinación se le asigna el valor 1 (o 100%) de dosis. Normalmente la combinación de referencia es 85 dB(A) durante 8 horas.

Dosímetros

En los dosímetros el resultado se puede expresar en forma de dosis de ruido en tanto por uno o tanto por cien, también denominado porcentaje de Exposición Máxima Permitida (%EMP).

La relación entre el nivel equivalente y la lectura de un dosímetro es:

$$L_{Aeq,T} = L_{ref} + \left[\frac{\% EMP}{100} \frac{T_{ref}}{T_{med}} \right]$$

siendo:

$L_{Aeq,T}$: el nivel equivalente en dB o dB(A) durante el tiempo T_{med} .

L_{ref} : el nivel sonoro de referencia (normalmente 85 dB(A)).

% EMP o dosis: la lectura del dosímetro en tanto por cien al cabo del tiempo T_{med} .

T_{ref} : el tiempo de referencia del criterio de valoración (en nuestro caso 8 horas).

T_{med} : la duración de la medida (horas).

Obsérvese que si la duración de la medida es igual al tiempo de referencia y la dosis leída es 100%, entonces el nivel equivalente es igual al nivel de referencia.

La ecuación anterior puede reescribirse así:

$$\% \text{ EMP} = 100 \frac{T_{\text{med}}}{8_f} 10^{\frac{(L_{\text{Aeq,T}} - 85)}{10}}$$

en la que puede apreciarse que el % EMP (también denominado % Dosis) indicada por el dosímetro es directamente proporcional al tiempo de medida. Esta propiedad es útil para el cálculo de la exposición laboral al ruido a partir de medidas efectuadas con dosímetros que no abarquen la totalidad del tiempo diario de exposición.

Calibrador de nivel sonoro

Es un accesorio diseñado para cada modelo de sonómetro o dosímetro que genera una señal de nivel conocido. Sirve para comprobar que la indicación del instrumento es correcta y su uso es obligado antes y después de cada serie de mediciones.

No se debe confundir esta comprobación rutinaria con la verificación de los sonómetros que se ha mencionado antes. Una verificación debe hacerla un laboratorio acreditado siguiendo los procedimientos fijados por las normas de calidad o de control metrológico y certifica la idoneidad del instrumento para medir niveles sonoros en todo su rango de aplicación, mientras que la calibración rutinaria sólo comprueba la exactitud de la lectura en un caso muy concreto (frecuencia y nivel sonoro de la señal generada por el calibrador).

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL A RUIDO

El procedimiento para la evaluación de las exposiciones laborales a ruido está definido en el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. De acuerdo con lo dispuesto en este real decreto el empresario deberá evaluar la exposición a ruido en todos los puestos de trabajo y aplicar las medidas preventivas pertinentes.

EL EMPRESARIO ESTÁ OBLIGADO A EVALUAR LA EXPOSICIÓN A RUIDO EN TODOS LOS PUESTOS DE TRABAJO Y REPETIR LA EVALUACIÓN PERIÓDICAMENTE

Para la evaluación de los riesgos derivados de la exposición a ruido, el Real Decreto 286/2006 establece los siguientes valores de referencia:

- Valores límite de exposición:

$$L_{\text{Aeq,d}} = 87 \text{ dB(A)} \text{ y } L_{\text{pico}} = 140 \text{ dB(C)}, \text{ respectivamente;}$$

- Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción:
 $L_{Aeq,d} = 85 \text{ dB(A)}$ y $L_{pico} = 137 \text{ dB(C)}$, respectivamente;
- Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción:
 $L_{Aeq,d} = 80 \text{ dB(A)}$ y $L_{pico} = 135 \text{ dB(C)}$, respectivamente.

En caso de ser alcanzados o superados los valores superior e inferior de exposición que dan lugar a una acción se debe llevar a cabo algún tipo de actuación preventiva siendo máxima la exigencia por encima de los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción.

Por otra parte la exposición de los trabajadores no puede vulnerar los denominados “valores límite”. Dichos valores no son exactamente limitaciones ambientales y puede utilizarse el valor de la atenuación del protector auditivo, en caso de que se use, para la comparación de los valores obtenidos por medición con los valores límite.

Ejemplo: En un puesto de trabajo se obtiene, por medición, que el nivel equivalente diario es $L_{Aeq,d} = 90 \text{ dB(A)}$, pero se utiliza un protector auditivo que atenúa 20 dB. Se puede concluir que:

1. Ya que $90 \text{ dB(A)} - 20\text{dB} = 70 \text{ dB(A)}$, no se supera el valor límite establecido en el RD 286/2006.
2. No obstante para comparar los valores medidos con los valores superiores e inferiores de exposición, no se puede utilizar la teórica atenuación del protector por lo que, en este caso ($L_{Aeq,d} = 90 \text{ dB(A)}$), se supera el valor superior de exposición que da lugar a una acción ($L_{Aeq,d} = 85 \text{ dB(A)}$).

La primera conclusión está condicionada a que el trabajador utilice el protector auditivo durante la exposición al ruido. La utilización incorrecta o durante un tiempo insuficiente, provoca que la atenuación, en realidad, sea menor (a menudo mucho menor), que la calculada.

La evaluación, y la correspondiente medición, se deben efectuar como mínimo, cada año en los puestos de trabajo en los que se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, o cada tres años cuando se sobrepasen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.

LA EVALUACIÓN DEBE BASARSE EN LA MEDIDA DEL NIVEL DE RUIDO DIARIO EQUIVALENTE Y DEL NIVEL DE PICO MÁXIMO

La medición no es necesaria cuando la directa apreciación profesional acreditada permite llegar a una conclusión sin necesidad de ella, pero esto, en la práctica, sólo es posible cuando el $L_{Aeq,d}$ y el L_{pico} son mucho más bajos que los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción, por ejemplo en una oficina.

Nivel de pico máximo y nivel equivalente diario

El nivel de pico máximo se mide directamente con un sonómetro que disponga de la función “*peak*”. El RD 286/2006 requiere que se determine el valor máximo existente durante la jornada laboral. En la práctica ello equivale a medir el nivel de pico en las fases del trabajo en las que se puede prever que ocurrirá el de nivel más alto.

Nivel de ruido diario equivalente

El nivel de ruido diario equivalente está definido en el Real Decreto 286/2006 como:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8}$$

siendo

$L_{Aeq,T}$: el nivel de ruido continuo equivalente durante la exposición al ruido.

T: la duración diaria de dicha exposición en horas.

Si se utilizan dosímetros la relación entre el nivel de ruido diario equivalente y la dosis diaria de ruido es:

$$L_{Aeq,d} = L_{ref} + 10 \log \frac{\% EMP}{100}$$

Donde normalmente $L_{ref} = 85 \text{ dB(A)}$, aunque debe comprobarse en la configuración del dosímetro.

La dosis diaria de ruido es la que indica un dosímetro cuando es utilizado durante toda la jornada laboral, es decir, cuando el tiempo de medida coincide con el tiempo de exposición.

Ejemplo 1: Un operario de mantenimiento debe visitar regularmente una sala de compresores. La duración de la ronda por la sala es de 30 minutos. Se ha medido un nivel equivalente de 98 dB(A) durante ese tiempo. En el resto de la jornada no existe exposición a ruido, o sea el nivel sonoro es claramente inferior a 80 dB(A). El $L_{Aeq,d}$ equivalente será:

$$L_{Aeq,d} = 98 + 10 \log 0,5/8 = 86 \text{ dB(A)}$$

Ejemplo 2: En un puesto de trabajo de control de un molino triturador de plástico la duración de la jornada es de 10 horas diarias. Se ha medido un nivel equivalente durante toda la jornada de 89 dB(A). El nivel diario equivalente será:

$$L_{Aeq,d} = 89 + 10 \log 10/8 = 91 \text{ dB(A)}$$

EL NIVEL DE RUIDO DIARIO EQUIVALENTE ES UNA COMBINACIÓN DE LOS VALORES DE LOS DOS PARÁMETROS QUE DEFINEN EL RIESGO DE UNA EXPOSICIÓN A RUIDO, EL NIVEL SONORO MEDIO Y EL TIEMPO DIARIO DE EXPOSICIÓN

Nótese que en ambos ejemplos se considera como “duración de la jornada” la duración diaria de la exposición a ruido, y que en ambos la medición del nivel equivalente abarca ese tiempo.

El nivel de ruido diario equivalente es un indicador global de la exposición a ruido ya que combina los dos factores que determinan el riesgo: la intensidad media del ruido y la duración de la exposición. En los ejemplos expuestos, el segundo tiene una exposición a ruido mayor, aunque el nivel sonoro sea menor, debido a la mayor duración diaria de la exposición.

Si el ruido es variable entre cada día de la semana se utilizará como nivel de referencia el nivel de exposición semanal al ruido ($L_{Aeq,s}$).

$$L_{Aeq,s} = 10 \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{i=m} 10^{0,1 \cdot (L_{Aeq,d})_i}$$

siendo

m: el número de días de la semana en que el trabajador está expuesto al ruido.

$(L_{Aeq,d})_i$: el nivel de ruido diario equivalente correspondiente al día "i".

Cuando se utiliza el nivel equivalente semanal la valoración se lleva a cabo comparando ese parámetro con los valores de exposición (superior e inferior) y con el valor límite, tal como se hace con el $L_{Aeq,d}$. Las condiciones que establece el Real Decreto 286/2006 para utilizar el nivel semanal en lugar del diario son:

- Que la exposición diaria al ruido varíe considerablemente de una jornada laboral a otra. Es decir que el trabajo sea diferente día a día.
- Que el $L_{Aeq,s}$ no supere el valor límite (como en el caso del $L_{Aeq,d}$).
- Que se adopten medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo. Es decir que no se utilice el nivel semanal como una excusa para rebajar la media.

CUANDO EL RUIDO VARÍA CONSIDERABLEMENTE DE UNA JORNADA LABORAL A OTRA, ES DECIR QUE EL TRABAJO SEA DIFERENTE DÍA A DÍA, SE PUEDE UTILIZAR EL NIVEL EQUIVALENTE SEMANAL EN VEZ DEL DIARIO

Ejemplo: En un taller de construcción metálica un trabajador utiliza una máquina de corte por plasma dos días por semana. La determinación de *los niveles diarios equivalentes* los días en que utiliza esta máquina es de 92 dB(A), y en otros dos días que no utiliza la máquina es de 86 dB(A). La jornada diaria es de 10 horas y, por ello, trabaja sólo cuatro días por semana. Aplicando la ecuación anterior el nivel semanal equivalente resulta ser:

$$L_{Aeq,s} = 10 \log \frac{1}{5} (10^{0,1 \cdot 92} + 10^{0,1 \cdot 92} + 10^{0,1 \cdot 86} + 10^{0,1 \cdot 86}) = 89 \text{ dBA}$$

Nótese que el hecho de que la jornada diaria sea de 10 horas ya se ha tenido en cuenta al calcular los niveles diarios equivalentes que figuran en la fórmula anterior.

De acuerdo con el Real Decreto 286/2006 el resultado, $L_{Aeq,s} = 89$ dB(A), indica que se supera el valor superior de exposición que da lugar a una acción (85 dB(A)), por lo que es obligatorio establecer un programa de medidas técnicas y organizativas para reducir los niveles de ruido. Mientras dura la aplicación del programa se deben utilizar protectores auditivos cuya atenuación debe ser tal que, en la práctica, la exposición del trabajador sea inferior, como mínimo, a 87 dB(A).

Condiciones de la medición

La práctica de la medición es aparentemente sencilla, basta con conectar el instrumento, verificar que tiene las baterías en buen estado, comprobar su calibración y de forma inmediata leer en la escala o el visualizador el resultado de la medición.

No obstante, para que la lectura coincida con el valor real del nivel sonoro es preciso, y así lo exige el RD 286/2006, que la medición se realice de forma que el resultado sea representativo de la exposición del trabajador al ruido.

El cumplimiento del requisito de representatividad de la medición exigido por el RD 286/2006 requiere el análisis de cada caso particular para establecer las condiciones en que debe realizarse la medición. Como criterios de aplicación general pueden utilizarse los siguientes:

Lugar de medición

Si el puesto de trabajo es fijo, es suficiente con situar el micrófono de medida a la altura de la cabeza del trabajador y próximo a ella evitando los posibles efectos de apantallamiento. Idealmente debería medirse el nivel sonoro en el lugar ocupado por el oído del trabajador pero sin que éste se encuentre presente. También es importante evitar que el propio individuo que realiza la medición apantalle el ruido, para ello deberá mantenerse el sonómetro alejado del cuerpo y por supuesto debe evitarse la presencia de “mirones” alrededor del instrumento ya que el efecto de apantallamiento que ocasionan invalidaría las mediciones. Si es necesario se puede utilizar un cable prolongador para conseguir situar el micrófono fuera de los efectos de apantallamiento de las personas que manipulan los instrumentos de medida.

Si el puesto de trabajo es móvil, se debe desplazar el instrumento junto con el trabajador para lo cual son muy convenientes los dosímetros ya que son portados por el propio trabajador (en el bolsillo de la camisa, por ejemplo) con el micrófono colocado sobre el casco, el cuello de la camisa o en un arnés para que la situación del micrófono sea, dentro de lo posible, muy próxima a la oreja.

EL USO DEL DOSIMETRO DE RUIDO ES NECESARIO CUANDO LA MOVILIDAD DEL TRABAJADOR ES GRANDE Y SU EXPOSICIÓN AL RUIDO VARIA MUCHO DURANTE LA JORNADA LABORAL

Duración de la medición

Si se trata de un ruido continuo o estable es suficiente una medida de corta duración para obtener un valor representativo. En este caso es posible utilizar un sonómetro convencional.

Si el ruido es variable o de impacto será necesario prolongar la medición durante un periodo de tiempo suficiente para poder recoger todos los aumentos y disminuciones de nivel y obtener un resultado válido, en este caso es imprescindible utilizar un sonómetro integrador-promediador o un dosímetro. Cuanto mayor sea la variabilidad del nivel sonoro mayor deberá ser el periodo de medida, en los casos extremos la duración de la medición será la de la jornada laboral completa.

Si el ruido es intermitente, existen dos alternativas: o bien se utiliza un sonómetro integrador-promediador en forma similar al caso de ruidos variables, o bien se utiliza un sonómetro convencional (este último solo si el ruido dentro de cada fase es estable) registrando el nivel sonoro y la duración de cada fase de ruido, con estos datos se calcula el $L_{Aeq,d}$ con la ecuación:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=n} T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i}$$

siendo

n: el número de fases de ruido.

T_i : la duración de cada fase en horas/día.

L_i : el nivel sonoro en cada una de ellas en dB(A).

Ejemplo: Un operario ocupa su jornada de 7,5 horas en realizar las operaciones siguientes:

Operación	duración (horas)	Nivel sonoro continuo dBA
Acopio de materiales	0,75	70
Manejo de un torno	5	88
Ajuste del torno	0,5	85
Control de calidad	1,25	75

Aplicando la fórmula anterior el nivel de ruido diario equivalente resulta ser:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \left[\frac{1}{8} 0,75 \cdot 10^{70/10} + 5 \cdot 10^{88/10} + 0,5 \cdot 10^{85/10} + 1,25 \cdot 10^{75/10} \right] = 86 \text{ dB(A)}$$

Si se utilizan dosímetros para las mediciones, al configurar el instrumento, es conveniente comprobar que el nivel de refe-

rencia que se emplea en la medición es el adecuado a la normativa nacional (85 dB(A)) y asegurarse de que la tasa de cambio es de 3 dB (otros países utilizan 4 o 5 dB).

La tasa de cambio es la relación de compensación entre un aumento o disminución en el nivel de ruido y el cambio correspondiente de la duración de exposición permitida. Como ejemplo, si el nivel equivalente es 88 dB(A) y el tiempo de exposición es 4 horas, el dosímetro indicará %EMP=100% ya que equivale a 85 dB(A) durante 8 horas. La diferencia de 3 dB es la correspondiente a dividir la energía sonora por dos. Al interpretarse en Europa (ISO 1999:97) que el daño es atribuible a la energía total recibida, la mitad de ésta se compensa con el doble del tiempo para mantener la dosis equivalente.

$$T_{\text{máximo}} = \frac{8}{2^{(L_{\text{eq}} - L_{\text{ref}})/Q}}$$

y

$$\% \text{ EMP} = \frac{T_{\text{exposición}}}{T_{\text{máximo}}}$$

donde L_{ref} es el valor máximo de referencia admitido por la normativa en cada país.

Mientras que en la UE, $L_{\text{ref}}=85$ dB(A) y $Q=3$ dB, en Estados Unidos $L_{\text{ref}}=90$ dB(A) y $Q=5$ dB, por lo que los dosímetros que se comercializan suelen tener la opción de aplicar la diferente configuración en lo que respecta a esos parámetros.

El dosímetro calcula el porcentaje de la dosis en función del tiempo máximo de exposición, que depende de la tasa de cambio, como puede verse en la ecuación correspondiente.

En el caso de utilizar dosímetros y sonómetros integradores-promediadores, cuando el instrumento indica directamente el valor del $L_{\text{Aeq,d}}$, debe comprobarse la validez del dato pues a menudo el instrumento utiliza para dicho cálculo el tiempo de medición en lugar del tiempo de exposición.

El procedimiento para calcular el nivel diario equivalente requiere calcular los niveles de ruido equivalentes a partir de las lecturas del dosímetro y de las duraciones de cada medición, y posteriormente calcular el nivel diario tal como se ha expuesto. Por supuesto la duración de la medición debe ser suficiente para que sea representativa, lo que puede obligar en algunos casos a tener que prolongar la medición durante toda la jornada.

Ejemplo: En un puesto de trabajo en el que el nivel sonoro es variable se utiliza un dosímetro ajustado para indicar el 100% al cabo de 8 horas a 85 dB(A). La duración de la medición es de

3 horas, la lectura es del 35%. La duración de la jornada laboral es de 7 horas.

Cálculo del nivel de ruido equivalente:

$$L_{Aeq,T} = 85 + 10 \log \left[\frac{35}{100} \cdot \frac{8}{3} \right] = 85 \text{ dB(A)}$$

Cálculo del nivel diario equivalente:

$$L_{Aeq,d} = 85 + 10 \log \left[\frac{7}{8} \right] = 84 \text{ dB(A)}$$

Alternativamente puede utilizarse la proporcionalidad de la lectura de dosis con el tiempo de exposición al ruido:

Cálculo de la dosis diaria:

$$\% \text{ EMP} = 35 (7/3) = 81,7\%$$

Cálculo del nivel diario equivalente:

$$L_{Aeq,d} = 85 + 10 \log (0,817) = 84 \text{ dB(A)}$$

Debido a la incertidumbre asociada al resultado, no sólo en este cálculo sino en general, se debe presentar el nivel equivalente diario redondeando los decimales al entero más próximo.

De esta forma,

$$L_{Aeq,d} = 84 \text{ dB(A)}$$

Número de mediciones

El número de mediciones adecuado depende de la variabilidad del nivel de ruido y del tiempo de exposición. Es recomendable disponer de mediciones representativas de las diferentes operaciones que el trabajador lleve a cabo. Cuando el ruido es estable pueden ser suficientes 3 o 5 mediciones durante la exposición.

Una alternativa al uso de sonómetros integradores, cuando el ruido es variable, puede ser la medida con un sonómetro no integrador de valores puntuales distribuidos de forma aleatoria a lo largo de la jornada laboral y aplicar un tratamiento estadístico de los resultados con el objetivo de determinar el intervalo en el que se encontrará el verdadero valor de la media. En este caso el número de mediciones debe ser suficiente para acotar la media en un intervalo en el que pueda llegarse a una conclusión sobre el plan de actuación a desarrollar, de acuerdo con los criterios que se expone en el apartado siguiente.

La norma ISO 9612:1997 (o la que corresponda en su sustitución) indica los requisitos que deben cumplir las mediciones de ruido respecto a tiempo, oportunidad y localización. También indica como calcular la incertidumbre asociada a los resultados.

Debe tenerse en cuenta que, en la práctica, la incertidumbre asociada al valor del nivel equivalente diario puede alcanzar fácilmente el valor de 1,5 dB.

CONTROL DE LAS EXPOSICIONES

Como norma general el Real Decreto 286/2006 establece la obligación del empresario de reducir la exposición al ruido al nivel más bajo técnica y razonablemente posible habida cuenta del progreso técnico y la disponibilidad de medidas de control aplicadas a las instalaciones o procesos existentes.

La misma política deberá aplicarse en la concepción y construcción de nuevos centros de trabajo o en la adquisición de nuevos equipos.

LA NORMATIVA DE SEGURIDAD EN MÁQUINAS (RD 1435/1992) OBLIGAN AL PROVEEDOR Y AL COMPRADOR A INTERCAMBIAR INFORMACIÓN SOBRE EL RUIDO QUE EMITEN LAS MÁQUINAS ANTES DE LA INSTALACIÓN

El Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE (derogada por la Directiva 98/37/CE, a su vez derogada por la Directiva 2006/42/CE), relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros

sobre máquinas, establece que el ruido producido por una máquina es una característica de peligrosidad, lo cual obliga a que el fabricante o comercializador de la misma suministre la información correspondiente. En esencia en este reglamento aparecen las siguientes obligaciones:

- a) En el manual de instrucciones se ofrecerán las prescripciones relativas a la instalación y montaje dirigidas a reducir el ruido y las vibraciones producidas.
- b) En el manual de instrucciones se darán las siguientes indicaciones sobre el ruido emitido por la máquina:

Nivel de presión sonora equivalente ponderado A en los puestos de trabajo cuando supere 70 dB(A). Si este nivel es inferior o igual a 70 dB(A) deberá mencionarse.

Valor máximo de presión sonora instantánea (nivel de pico), si es superior a 130 dB.

Nivel de potencia sonora emitida por la máquina, si el nivel de presión sonora en los puestos de trabajo es superior a 85 dB(A) (o superior a 80 dB(A) al transponer la nueva Directiva 2006/42/CE).

Cuando los puestos de trabajo no estén definidos, o no puedan definirse, la medición de los niveles de presión sonora se efectuará a 1 m de distancia de la máquina y a una altura de 1,6

m por encima del suelo o de la plataforma de acceso. Se indicará la posición y el valor máximo del nivel sonoro.

Según sea el resultado de la evaluación, es decir, el valor del nivel de ruido diario equivalente, el Real Decreto 286/2006 obliga a la implantación de un conjunto de medidas que se indican a continuación, y cuya periodicidad depende del valor obtenido en la evaluación.

En los puestos en los que se alcancen o superen los niveles inferiores de exposición que dan lugar a una acción, el trabajador afectado o sus representantes recibirán información respecto a:

- los riesgos derivados de la exposición al ruido,
- las medidas de prevención adoptadas,
- los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción,
- los resultados de las evaluaciones y mediciones del ruido realizados,
- la conveniencia y la forma de detectar e informar sobre indicios de lesión auditiva (como la dificultad para entender u oír las conversaciones o la existencia de pitidos en los oídos),
- el derecho a la vigilancia de la salud,
- las prácticas de trabajo seguras con el fin de reducir al mínimo la exposición al ruido.

Cuando se superen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción la periodicidad con que se repita la evaluación y medición será de tres años.

A los trabajadores cuya exposición supere los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción se les debe proporcionar protectores auditivos si lo solicitan. Además tienen derecho al control audiométrico preventivo si la evaluación y la medición indican que existe riesgo para su salud. El control audiométrico se realizará cada cinco años.

En los puestos en los que la exposición supere los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción se analizarán los motivos y se desarrollará un programa de medidas técnicas y organizativas, destinado a reducir la exposición de los trabajadores. Mientras se ejecuta el mencionado programa es obligatorio el uso de protección individual auditiva y se debe señalar esta circunstancia.

Dichos puestos de trabajo se delimitarán y serán objeto de una limitación de acceso en lo que sea técnica y razonablemente posible.

Medidas preventivas derivadas de la evaluación

Anualmente se repetirá la evaluación y la medición y cada tres años se llevará a cabo el control de la función auditiva, obligatoria en estos casos de acuerdo con la reglamentación.

Control técnico del ruido

Para minimizar los efectos perjudiciales que el ruido tiene para los trabajadores, el Real Decreto 286/2006 exige que, en la medida de lo posible, se adopten medidas tendentes a disminuir el nivel de ruido al que están expuestos, lo que se puede conseguir de diferentes formas:

- disminuyendo la generación de ruido en el origen (foco),
- disminuyendo el nivel de presión acústica en el ambiente desde el origen al receptor (transmisión) y
- disminuyendo el nivel de presión acústica en el trabajador (receptor).

Reducción de la emisión de ruido

Para disminuir el ruido emitido por una máquina o instalación hay que tener presente que el ruido siempre es consecuencia de la vibración de un sólido o de turbulencias en el flujo de un fluido, por tanto cualquier medida tendente a disminuir vibraciones o turbulencias tendrá una respuesta inmediata en disminución del nivel sonoro. En este sentido las acciones típicas de mantenimiento preventivo son básicas para evitar la aparición de niveles sonoros elevados en las máquinas o instalaciones.

La exposición completa de las técnicas de insonorización excede del alcance de este texto, no obstante, como ejemplos de acciones que pueden disminuir el nivel de ruido se pueden citar:

- La modificación de los procesos en el sentido de evitar aplicaciones de fuerzas de elevada intensidad durante poco tiempo utilizando en su lugar sistemas de aplicación de fuerzas de menos intensidad durante un tiempo mayor (atornillar en vez de clavar, doblar mediante presión en vez de golpear, corte progresivo en vez de corte instantáneo).
- Los cerramientos totales o parciales de una máquina, o parte de ella, para impedir la emisión del ruido hacia el exterior.
- El recubrimiento de las superficies metálicas con materiales viscoelásticos o pinturas especiales (caucho o látex) para amortiguar las vibraciones de esas superficies.
- La fijación de la máquina ruidosa, y en definitiva vibrante, al suelo del local a través de un anclaje que garantice una buena atenuación de las vibraciones que ella misma genera

en su funcionamiento, evitando así que entren en vibración otras superficies cercanas, que a su vez se convierten en nuevas fuentes de ruido. Es importante solicitar al proveedor de una máquina las instrucciones pertinentes sobre el modo de anclar la máquina y sobre los métodos de aislamiento de vibraciones más adecuados para ella.

- Una transmisión por correas, cuya anchura se consiga a base de varias bandas independientes, en lugar de una transmisión cuya anchura se consigue con una única cinta.

En ocasiones se tiene que recurrir a soluciones de ingeniería más complejas, como pueden ser el diseñar cerramientos para las máquinas ruidosas que en la medida de lo posible no incluyan en su interior al trabajador; tomando las debidas precauciones para evitar la propagación del ruido por vía directa en el aire, por reflexión en las paredes, suelos y demás superficies del local y por transmisión a través de suelos y paredes a otros locales o puestos de trabajo.

Un caso muy frecuente es el ruido generado en las descargas de aire comprimido que puede ser reducido fácilmente mediante la instalación de silenciadores y el uso de boquillas de soplado con diseños aerodinámicos.

Reducción en la transmisión

Para conseguir la disminución del nivel de presión acústica durante la transmisión se puede actuar preferentemente de dos formas: una, interponiendo barreras absorbentes de ruido entre el foco de ruido y el receptor y otra, separándolos al máximo el uno del otro aumentando la distancia.

El caso más elemental es construir entre la máquina ruidosa y el trabajador una mampara de una determinada altura, reves-

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

tida de material absorbente de ruido, cuidando que la característica de absorción del material elegido sea adecuada a las frecuencias dominantes del ruido en cuestión. Hay que buscar un equilibrio entre número de mamparas y superficie de cada una de ellas y una funcionalidad productiva del local, pero teniendo en cuenta que cuanto mayor sea la superficie absorbente que se instale en el camino del ruido mayor será la absorción conseguida.

También es posible revestir de materiales absorbentes el techo y las paredes, por lo menos parte de ellos, para la reducción del ruido en su transmisión.

Reducción en el receptor

Se puede, en primer lugar, diseñar un cerramiento insonorizado que encierre todo el puesto de trabajo y que esté construido con los materiales que presenten una absorción óptima frente al ruido, teniendo en cuenta no sólo las paredes, sino también el suelo y el techo como puntos a proteger frente a la propagación del ruido.

Se puede proporcionar al trabajador un equipo de protección individual (EPI) auditiva (cascos auriculares, tapones) que, correctamente elegidos con el fin de ofrecer la mayor atenuación posible frente a cada tipo de ruido (en función de su intensidad y de su espectro de frecuencias), consiguen que el nivel de presión acústica ponderado percibido por el trabajador sea menor.

Control mediante medidas organizativas

Sin modificar el nivel de ruido ponderado, para disminuir el nivel de ruido diario equivalente, se pueden reducir los tiempos de exposición al ruido, mediante rotación de los puestos de trabajo. En efecto, el nivel de ruido diario equivalente incluye en su definición el tiempo diario de exposición, de forma que la reducción de este tiempo implica una reducción del nivel de exposición a razón de 3 dB(A) cada vez que se reduce el tiempo a la mitad como se muestra en la tabla.

Protección individual frente al ruido

La protección individual frente al ruido (orejeras o tapones) sólo debe considerarse como medida complementaria en aquellos casos en que no sea técnicamente posible reducir el nivel sonoro hasta niveles seguros, también mientras se implantan las medidas tendentes a reducirlo, o en algunas circunstancias especiales (acceso esporádico a salas de máquinas, por ejemplo).

El Real Decreto 286/2006 establece la obligatoriedad de uso del protector auditivo cuando se superan los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, por eso, aunque la limitación a 8 horas por jornada está establecida en dicho real

decreto, para un $L_{Aeq,d} = 87 \text{ dB(A)}$, la limitación efectiva es a partir de 85 dB(A) , y así se ha construido la tabla anterior.

Selección y uso de equipos de protección individual

De acuerdo con el Real Decreto 286/2006 los equipos de protección individual deberán ser proporcionados por el empresario y serán elegidos en consulta con los responsables internos de seguridad y salud en el trabajo y los representantes de los trabajadores.

Los criterios que deben guiar la selección de un protector son:

- Que se ajuste a lo dispuesto en la normativa general sobre equipos de protección individual (RD 773/1997).
- Que proporcione una atenuación suficiente.
- Que se adapte a los trabajadores que deben utilizarlo y a las circunstancias particulares de su trabajo.

El uso de protectores auditivos individuales debe ir acompañado de:

- Un programa de información a los trabajadores de cómo usar los protectores, en particular los tapones, para evitar que una colocación incorrecta inutilice la protección teórica.
- Instrucciones concretas sobre los procedimientos de limpieza y conservación de los protectores, incluyendo cómo evitar que se ensucien al colocárselos o al guardarlos de un día para otro.
- Indicaciones sobre signos externos de deterioros que obligan a la sustitución del protector (elasticidad de las almohadillas, defectos del arnés, rotura o grietas de los casquetes, etc.). Es una buena práctica conservar un ejemplar del protector sin usar que sirva como elemento de comparación para decidir cuándo se debe reemplazar un protector usado.

$L_{Aeq,T}$ en dB(A)	Tiempo máximo de exposición
85	8 horas
88	4 horas
91	2 horas
94	1 hora
97	1/2 hora
100	1/4 hora
103	7 1/2 minutos

LA SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL DEBE HACERSE CON LA PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJADORES

Atenuación del ruido proporcionada por un protector auditivo

Un mismo protector auditivo presenta atenuaciones bien distintas en función del tipo de ruido al que se le enfrente, ello es debido al diferente comportamiento de cualquier protector frente a la frecuencia del ruido y no hay reglas generales por lo que la determinación de la atenuación conseguida con un protector determinado es una operación que debe realizarse en cada caso.

La norma UNE-EN 458:2005 propone un conjunto de procedimientos para calcular el nivel sonoro percibido por un trabajador que utilice una protección individual, hay que hacer notar que, en general, cuanto mayor es la atenuación proporcionada por un equipo también lo son las molestias que ocasiona, por ello se recomienda elegir equipos de protección individual con los que el nivel sonoro percibido se reduzca hasta un valor seguro, pero sin excesos, normalmente es suficiente un valor entre 65 y 80 dB(A).

La norma UNE-EN 458:2005 define tres tipos de información que el fabricante de un protector auditivo puede suministrar relativos a la atenuación que proporciona:

- Atenuación en bandas de octava.
- Atenuación a frecuencias bajas (L), medias (M) y altas (H).
- Índice SNR.

Los datos necesarios para el cálculo de la atenuación se indican en la tabla.

Método de calculo	Información necesaria
Bandas de octava	Ruidos continuos: Niveles sonoros en bandas de octava
	Ruidos variables o impulsivos: Niveles equivalentes en bandas de octava
Método HML	Ruidos continuos: Niveles sonoros con ponderación A y C
	Ruidos variables o impulsivos: Niveles sonoros equivalentes con ponderación A y C
Método SNR	Igual que el anterior

Método de las bandas de octava

El dato de partida es el valor del nivel sonoro en cada banda de octava. A estos valores se les resta algebraicamente la corrección de la escala A y el valor de la atenuación esperada del protector (dato suministrado por el fabricante). La suma logarítmica de los niveles resultantes en cada banda de octava es el nivel ponderado A que percibirá el trabajador al usar el protector. En la tabla se esquematiza este procedimiento de cálculo.

Este procedimiento tiene en cuenta la diferente atenuación que proporciona un protector en cada frecuencia y por ello es el más exacto y es el recomendado. Tiene el inconveniente de que necesita conocer el espectro del ruido, que es una información no siempre disponible.

Frec octava	63	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	Global
Nivel sonoro	79	81	85	90	93	97	95	88	100 dBC
Ponder A	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1	
Nivel corregido	53	65	76	87	93	98	96	87	101 dBA
Atenuación del protector	2	2	8	14	21	26	31	25	
Nivel atenuado	51	63	68	73	72	72	65	62	78 dBA

Método HML

A diferencia del método anterior no precisa conocer el espectro del ruido, es suficiente conocer los valores del nivel sonoro con ponderación A y sin ponderación, que es una información más asequible puesto que no precisa para la medición un instrumento que incorpore filtros de octava. Los valores de H, M y L los debe proporcionar el fabricante del protector. Son valores que se calculan a partir de las atenuaciones en cada octava según un procedimiento de cálculo descrito en la norma UNE-EN ISO 4869-2, e indican “*grosso modo*” las atenuaciones a alta, media y baja frecuencia. El procedimiento de cálculo es:

Si la diferencia de niveles sonoros sin ponderar y ponderado A es menor o igual a 2:

$$\text{Atenuación en dB(A)} = M - (L_C - L_A - 2) * (H - M)/4$$

Y si la diferencia es mayor que 2:

$$\text{Atenuación en dB(A)} = M - (L_C - L_A - 2) * (M - L)/8$$

En ambas expresiones LC representa el valor del nivel sonoro sin ponderar (o ponderado según la escala C) y LA el nivel sonoro ponderado A; H, M y L son los valores de atenuación del protector dados por el fabricante.

En el caso expuesto antes el valor de LC - LA es -1. Si se dispone de un protector cuyos valores son H = 25, M = 19 y L = 13 entonces:

$$\text{Atenuación} = 19 - (-1 - 2) \cdot (19 - 13) / 4 = 23,5 \text{ dB(A)}$$

Y el nivel percibido será: 101-23,5 = 77,5 dB(A)

Método SNR

Al igual que el método anterior se trata de un método aproximado que no precisa conocer el espectro del ruido, es suficiente conocer los valores del nivel sonoro con ponderación A y sin

ponderación. El valor del índice SNR lo debe proporcionar el fabricante del protector y se calcula a partir de las atenuaciones en cada octava según un procedimiento de cálculo descrito en la norma UNE-EN ISO 4869-2. El procedimiento de cálculo es:

Nivel atenuado (dB(A)) = Nivel sonoro sin ponderar – SNR

Por ejemplo en el caso del ruido citado antes (Nivel sin ponderar = 100 dB) el uso de un protector cuyo SNR fuese de 21 dB, el nivel atenuado sería de $100 - 21 = 79$ dB(A).

Es el procedimiento más simple y más inexacto; para dar una idea se puede decir que tiene un error de 2 a 3 dB, por lo que al resultado hay que exigirle un margen de seguridad. En el ejemplo indicado no sería recomendable el uso de ese protector ya que no hay seguridad de que el nivel atenuado sea inferior a 80 dB(A).

VIGILANCIA DE LA SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A RUIDO

El objetivo del control de la función auditiva es la prevención y no el diagnóstico de una enfermedad, por lo que la vigilancia de la salud debe realizarse de forma que posibilite la detección precoz de los posibles casos de hipoacusia debida a la exposición a ruido antes de que se produzcan.

La prueba más importante de la vigilancia de la salud para exposición laboral al ruido es la audiometría de tonos puros, que permite conocer el estado auditivo del individuo.

Ya se ha indicado que el Real Decreto 286/2006 otorga el derecho al control audiométrico preventivo si la evaluación y la medición indican que existe riesgo para la salud. En concreto, en los puestos en los que la exposición supere los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción se realizará control de la función auditiva cada tres años.

También se realizará control audiométrico cuando la exposición se encuentre entre los valores inferiores y superiores de exposición que dan lugar a una acción si en la evaluación de riesgos se pone de manifiesto que pueden dar lugar a riesgos para la salud. Éste puede ser el caso en el que se dé una especial sensi-

bilidad o cuando las circunstancias de la exposición son atípicas y no se ajustan a las estándares para las que están indicados los criterios de valoración, por ejemplo cuando los trabajos son esporádicos pero dan lugar a niveles muy elevados.

LA VIGILANCIA DE LA MÉDICA
DE LA FUNCIÓN AUDITIVA
ES UN ELEMENTO DE PREVENCIÓN
DE LA PÉRDIDA DE CAPACIDAD AUDITIVA
INDUCIDA POR RUIDO

Algunas condiciones que pueden dar lugar a una mayor sensibilidad del trabajador a la pérdida de audición son, por ejemplo:

- la exposición simultánea a ototóxicos (agentes químicos con propiedades tóxicas para el oído) tanto de origen laboral como extralaboral (por ejemplo, fármacos, tabaco),
- ciertas alteraciones metabólicas como la diabetes,
- infecciones del oído,
- hipertensión arterial,
- edad del trabajador.

En lo que respecta al embarazo, debe considerarse la exposición de la mujer embarazada (aumento de la presión arterial y fatiga) además de que el ruido puede afectar a la capacidad auditiva del futuro niño, por lo que en estos casos deben respetarse escrupulosamente los valores de referencia establecidos teniendo en cuenta que la utilización de protectores auditivos sólo protege, en el mejor de los casos, a la madre.

De acuerdo con el Real Decreto 286/2006, cuando el control de la función auditiva ponga de manifiesto que un trabajador padece una lesión auditiva que puede ser consecuencia de una exposición al ruido durante el trabajo, se debe comunicar al trabajador el resultado que le afecte personalmente, mientras que es responsabilidad del empresario lo siguiente:

- Revisar la evaluación de los riesgos existente.
- Revisar las medidas previstas para eliminar o reducir los riesgos pudiendo exigir el uso de los protectores auditivos durante la revisión de aquellas medidas y hasta que se eliminen o reduzcan los riesgos.
- Tener en cuenta las recomendaciones del médico responsable de la vigilancia de la salud al aplicar cualquier otra medida que se considere necesario para eliminar o reducir riesgos, incluida la posibilidad de asignar al trabajador otro trabajo donde no exista riesgo de exposición.
- Disponer una vigilancia sistemática de la salud y el examen del estado de salud de los demás trabajadores que hayan sufrido una exposición similar.

FÍSICA Y DEFINICIONES

Una vibración consiste en el movimiento de un cuerpo sólido alrededor de su posición de equilibrio sin que exista desplazamiento neto del objeto que vibra. Las vibraciones se transmiten por el interior de un objeto y también a través de los puntos de contacto entre diferentes objetos.

En prevención de riesgos laborales se estudian dos modelos diferenciados de vibración: las que afectan a todo el cuerpo y las que afectan al sistema mano-brazo. Son ejemplos de las primeras las vibraciones transmitidas por los asientos de vehículos o máquinas, o la vibración de una plataforma o piso; en el segundo caso quedan incluidas las vibraciones transmitidas por herramientas manuales, como taladros o amoladoras, o por elementos de equipos de trabajo que se sujetan con las manos, como las palancas de mando o el volante de un vehículo.

El movimiento vibratorio más simple es el de tipo sinusoidal, es decir, la función que describe la variación temporal del desplazamiento es una senoide. La vibración se caracteriza por su frecuencia y por su intensidad. La frecuencia es el número de veces por segundo que se realiza el ciclo completo de oscilación y se mide en hercios (Hz); 1 Hz equivale a un ciclo por segundo. Teniendo en cuenta los efectos causados en el organismo humano, tienen interés las vibraciones cuya frecuencia está comprendida entre 1 y 1.500 Hz.

Las vibraciones tal como se presentan en la práctica resultan de la combinación de un gran número de vibraciones simples. El análisis de la intensidad de la vibración

Caracterización de las vibraciones

EN HIGIENE INDUSTRIAL TIENEN INTERÉS
LAS VIBRACIONES CUYAS FRECUENCIAS
ESTÁN COMPRENDIDAS ENTRE 1 Y 1.500 HZ

de cada una de las frecuencias sinusoidales de que se compone se llama “análisis de frecuencia”.

Para este análisis se descompone el espectro de frecuencia antes citado, de 1 a 1.500 Hz, en bandas de tercios de octava. La

definición de la banda de tercio de octava ya se expuso en el capítulo de ruido. Los valores centrales normalizados y los límites aproximados de las bandas de tercio de octava se indican en la tabla.

La intensidad de una vibración puede medirse indistintamente en unidades de desplazamiento, velocidad o aceleración del elemento vibrante. Las tres magnitudes están relacionadas entre sí, de forma que sólo es necesario medir una de ellas para conocer completamente la intensidad de la vibración.

Aceleración eficaz

Habitualmente se utiliza el valor eficaz de la aceleración como magnitud característica de la intensidad de una vibración, en cuyo caso la unidad de medida es el m/s^2 . El valor eficaz de la aceleración viene dado por la expresión:

$$a = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt \right]^{1/2}$$

siendo

a: el valor eficaz de la aceleración (m/s^2)

a(t): el valor instantáneo de la aceleración (m/s^2)

T: el tiempo de medida (s)

Este valor siempre está definido, cualquiera que sea la forma de variación de la aceleración; en otras palabras, no es necesario que la variación sea de tipo sinusoidal para que el valor eficaz de la aceleración esté definido.

Esta definición coincide con la raíz cuadrada del valor cuadrático medio observado durante un periodo cualquiera. Físicamente el valor cuadrático medio es proporcional a la energía mecánica asociada a la vibración.

FRECUENCIAS CENTRALES Y LÍMITES APROXIMADOS DE LAS BANDAS DE TERCIO DE OCTAVA

frec.inferior	frec.central	frec.superior
0,9	1	1,1
1,1	1,25	1,4
1,4	1,6	1,8
1,8	2	2,3
2,3	2,5	2,8
2,8	3,15	3,5
3,5	4	4,5
4,5	5	5,7
5,7	6,3	7
7	8	9
9	10	11
11	12,5	14
14	16	18
18	20	22
22	25	28
28	31,5	35,5
35,5	40	44
44	50	56
56	63	71
71	80	88
88	100	112
112	125	142
142	160	176
176	200	224
224	250	284
284	315	355
355	400	448
448	500	568
568	630	710
710	800	895
895	1000	1135
1136	1250	1420
1420	1600	1760

Para fines de evaluación de riesgos también tienen interés otras expresiones de la intensidad de las vibraciones.

LA ENERGÍA MECÁNICA IMPLICADA EN UNA VIBRACIÓN ES PROPORCIONAL AL VALOR CUADRÁTICO MEDIO DE LA ACELERACIÓN

Valor pico de la aceleración

Es el valor máximo instantáneo observado de la aceleración en un periodo determinado.

$$a_p = \max_t[a(t)]$$

La relación entre el valor de pico y el valor eficaz observados durante el mismo periodo de tiempo se llama “factor de cresta de la vibración”.

Valor máximo transitorio

Es el máximo del valor medio móvil durante el periodo de medición.

El valor medio móvil en cada momento es la raíz cuadrada del valor cuadrático medio de la aceleración en un periodo de tiempo corto inmediatamente anterior al momento de observación.

$$a(t_0) = \frac{1}{\tau} \left[\int_{t_0-\tau}^{t_0} [a(t)]^2 dt \right]^{1/2}$$

siendo

$a(t_0)$: el valor medio móvil en el instante t_0 (m/s^2)

$a(t)$: el valor instantáneo de la aceleración (m/s^2)

t : el tiempo de integración para el valor móvil (s). Normalmente se recomienda un valor de 1 s.

Esta definición coincide con la raíz del valor cuadrático medio de la aceleración durante el tiempo “ τ ” inmediatamente anterior al momento de observación. Si la vibración es de intensidad constante coincidirá con el valor eficaz, pero si la vibración presenta choques o fenómenos transitorios el valor móvil experimentará crecimientos y decrecimientos que seguirán las variaciones de la amplitud de la vibración.

EL VALOR EFICAZ DE UNA ACELERACIÓN Y EL VALOR MÓVIL SÓLO SE DIFERENCIAN EN EL TIEMPO SOBRE EL QUE SE HACE EL PROMEDIO

El valor móvil máximo, que se llama valor máximo transitorio de la aceleración (MTVV, *Maximum Transient Vibration Value*), viene determinado por:

$$MTVV = \max_t[a(t_0)]$$

No debe confundirse este valor con el máximo valor de pico definido antes. En este caso es el máximo de los valores promediados durante un tiempo (normalmente 1 segundo), mientras que el pico es el máximo del valor instantáneo, sin realizar ningún tipo de promedio.

Dosis de vibración a la cuarta potencia

Si bien este parámetro no es aceptado como indicador para la evaluación del riesgo en el Real Decreto 1311/2005, sí que lo está en la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2002/44/CE, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones), para el caso de las vibraciones transmitidas al cuerpo entero.

Es un tipo de medida de la amplitud de las vibraciones que es más sensible a los picos o transitorios que el valor de pico máximo, o el valor MTVV.

Se trata de una medida de dosis, que queda definida por la expresión:

$$VDV = \left[\int_0^T a(t)^4 dt \right]^{1/4}$$

La unidad de VDV (*Vibration Dose Value*) es el $m/s^{1.75}$

Nótese que el valor de VDV no es un promedio, sino la raíz cuarta de la acumulación de los valores de la aceleración instantánea, elevados a la cuarta potencia, a lo largo del periodo de medida, es decir, se trata de una dosis, y su valor aumenta constantemente a medida que aumenta el tiempo de observación. Los criterios de evaluación definirán cuál es la dosis máxima permisible en un periodo de tiempo prefijado (una hora, un día, etc.).

También es posible calcular la dosis total de una exposición a vibraciones que se compone de varios periodos, cada uno de ellos con valores de dosis diferentes mediante la expresión:

$$VDV_{total} = (\sum VDV_i^4)^{1/4}$$

Instrumentación de medida de la intensidad de una vibración

Para la medida de la intensidad de una vibración, es decir, del valor eficaz de la aceleración, se utiliza un transductor llamado acelerómetro que se fija firmemente al objeto vibrante. El acelerómetro convierte la aceleración del movimiento en una señal eléctrica que se conduce mediante un cable hasta la unidad de medida, en la que se encuentra el integrador de la señal y el circuito de presentación del valor eficaz, o de cualquiera de los otros parámetros que se acaban de definir. El conjunto de todos estos elementos se llama “vibrómetro”.

Si el circuito de medida incorpora un filtro de tercios de octava, los resultados leídos serán los valores correspondientes a las frecuencias incluidas en la banda seleccionada en el filtro.

Puesto que el movimiento vibratorio se produce en las tres direcciones del espacio, si se dispone de un acelerómetro monoaxial será necesario realizar varias mediciones cambiando la posición del acelerómetro para obtener el valor de cada

una de las tres componentes espaciales. Sin embargo, es preferible utilizar simultáneamente tres acelerómetros montados en una cápsula con tres cables de salida separados, o bien utilizar un acelerómetro triaxial. En todo caso la caracterización completa de una vibración requiere la medida de su intensidad en tres ejes perpendiculares entre sí.

PARA TENER EN CUENTA EL EFECTO DIFERENCIAL DEBIDO A LA FRECUENCIA DE LA VIBRACIÓN LAS MEDICIONES DE ACELERACIÓN SE REALIZAN CON ESCALAS DE PONDERACIÓN FRECUENCIAL

Ya se ha indicado que normalmente las vibraciones no tienen una frecuencia determinada, sino que están compuestas por un conjunto de oscilaciones de distintas frecuencias, y, de forma similar al caso del ruido, la agresividad de la vibración depende de su frecuencia. Por ello en los criterios de evaluación se utilizan escalas de ponderación que modifican la señal en función de la peligrosidad de cada frecuencia.

Las escalas de ponderación son distintas para las vibraciones que afectan al sistema mano-brazo o a todo el cuerpo, y en este caso también son distintas según el eje de medida (longitudinal o transversal respecto al eje cabeza-pie). En las últimas ediciones de las normas de evaluación también se proponen escalas de ponderación distintas en función de que el objetivo de la medición sea evaluar el riesgo para la salud, el confort o la percepción de las vibraciones.

EFECTOS DE LAS VIBRACIONES SOBRE EL ORGANISMO

El tipo de efecto que pueden ocasionar las vibraciones en el organismo de una persona expuesta depende de su frecuencia y de si actúan sobre todo el cuerpo o sobre el sistema mano-brazo.

Las vibraciones de muy baja frecuencia (inferiores a 1 Hz), que afectan a todo el cuerpo, pueden originar pérdida de equilibrio, mareos y vómitos. Es el caso bien conocido de los mareos ocasionados por el movimiento de balanceo de los barcos o de otros medios de transporte.

Las vibraciones de frecuencias comprendidas entre 1 y 80 Hz, que afectan a todo el cuerpo, pueden ocasionar lumbalgias, hernias, pinzamientos discales y lesiones raquídeas, así como síntomas neurológicos tales como la dificultad para mantener el equilibrio. Este tipo de vibraciones, y las lesiones asociadas a ellas, suelen observarse en los puestos de trabajo de conductor de vehículos de todo tipo, así como en casos de permanencia, sentado o de pie, sobre plataformas sometidas a vibración.

Las vibraciones de frecuencias comprendidas entre 20 y 1.500 Hz son las típicas de las herramientas manuales rotativas o al-

LOS FACTORES A TENER EN CUENTA PARA EVALUAR EL RIESGO SON LA INTENSIDAD Y LA FRECUENCIA DE LA VIBRACIÓN, LA DURACIÓN DE LA EXPOSICIÓN Y LA PARTE DEL CUERPO AFECTADA

ternativas y sus efectos se concentran en el sistema mano-brazo. Son muy comunes las lesiones óseas de muñeca y codo y las alteraciones angioneuróticas de la mano, como calambres o trastornos en la sensibilidad. Una de sus posibles manifestaciones es el llamado síndrome de *Raynaud* o

de dedo blanco, inducido por vibración.

En cualquier caso, la gravedad de los efectos de las vibraciones sobre el organismo depende de las características de la vibración (aceleración y frecuencia), de la duración de la exposición, de la parte del cuerpo afectada (todo el cuerpo o el sistema mano-brazo) y de la dirección del movimiento vibratorio respecto al cuerpo.

LA EXPOSICIÓN A VIBRACIONES PUEDE OCASIONAR LESIONES OSEAS, MUSCULARES, ARTICULARES Y ANGIONEURÓTICAS QUE ESTÁN RECONOCIDAS COMO ENFERMEDAD PROFESIONAL

En el RD 1299/2006, 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, se incluyen las enfermedades osteo-musculares o angioneuróticas provocadas por las vibraciones mecánicas.

EVALUACIÓN DEL RIESGO

El conjunto de factores mencionado conlleva a la definición de varios criterios de valoración de las vibraciones, según se trate de evaluar el confort, la percepción o los efectos para la salud. En este último caso se consideran dos circunstancias: las vibraciones que afectan al cuerpo entero y las vibraciones que afectan al sistema mano-brazo.

LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LAS VIBRACIONES ESTABLECEN UN VALOR LÍMITE Y UN NIVEL DE ACCIÓN

El RD 1311/2005 establece los criterios para la evaluación del riesgo, así como el valor que da lugar a una acción y el valor límite para cada uno de los dos casos anteriores.

El criterio de evaluación se basa en calcular un parámetro denominado A(8), que indica el valor de la exposición diaria a vibraciones normalizado para un periodo de 8 horas, y compararlo con el valor que da lugar a una acción y el valor límite establecidos, lo que puede conducir a tres situaciones en función de si el valor de A(8) está:

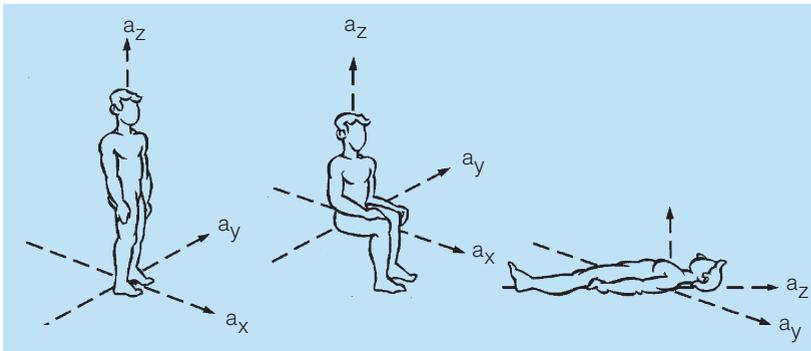
- Por debajo del valor que da lugar a una acción.
- Entre el valor que da lugar a una acción y el valor límite.

- Por encima del valor límite.

El citado parámetro depende de la intensidad de la vibración, expresada en términos de la aceleración eficaz ponderada en frecuencia, y del tiempo de exposición. Para su cálculo, que se realiza de forma diferente según se trate de vibraciones que afectan a todo el cuerpo o de vibraciones mano-brazo, se remite a las normas ISO 2631 y UNE-EN-ISO 5349 respectivamente.

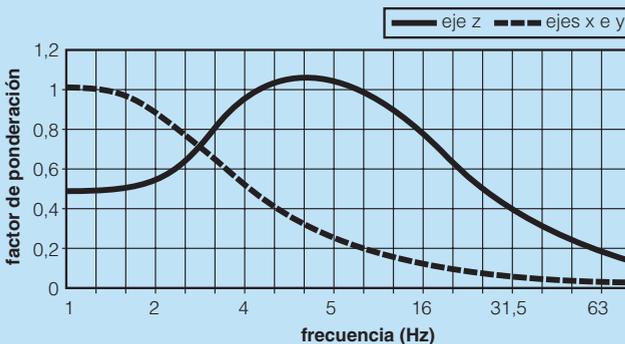
La intensidad de la vibración se expresa en forma de la aceleración eficaz ponderada en frecuencia en cada uno de los tres ejes del sistema ortogonal ligado al cuerpo, la orientación de los cuales se indica en la figura.

Vibraciones transmitidas a todo el cuerpo



Para la evaluación de riesgos para la salud se consideran las frecuencias comprendidas entre 0,5 y 80 Hz agrupadas en bandas de tercios de octava. Como ya se ha dicho, diversos estudios han llevado a la conclusión de que no todas las frecuencias son igualmente dañinas, por lo que se ha establecido una tabla que pondera la contribución de cada banda de frecuencias a través de un factor w_i .

FACTORES DE PONDERACIÓN PARA VIBRACIONES QUE AFECTAN A TODO EL CUERPO



FACTORES DE PONDERACIÓN APLICABLES EN CADA EJE PARA LAS FRECUENCIAS CENTRALES

Frecuencia central (Hz)	Factor de ponderación Ejes x, y	Factor de ponderación Eje z
0,5	0,853	0,418
0,63	0,944	0,459
0,8	0,992	0,477
1	1,011	0,482
1,25	1,008	0,484
1,6	0,968	0,494
2	0,890	0,531
2,5	0,776	0,631
3,15	0,642	0,804
4	0,512	0,967
5	0,409	1,039
6,3	0,323	1,054
8	0,253	1,036
10	0,212	0,988
12,5	0,161	0,902
16	0,125	0,768
20	0,100	0,636
25	0,080	0,513
31,5	0,0632	0,405
40	0,0494	0,314
50	0,0388	0,246
63	0,0295	0,186
80	0,0211	0,132

La escala de ponderación aplicable en cada dirección, para las frecuencias centrales de las bandas de tercios de octava comprendidas entre 0,5 y 80 Hz, se indica en la figura y la tabla.

Por otra parte, como una misma intensidad en determinada frecuencia puede ser más lesiva en una dirección que otra, también se han establecido unos factores de ponderación (k_x , k_y , k_z) para cada uno de los ejes del sistema de referencia.

Si los datos disponibles de amplitud de la vibración están especificados en forma de valores de aceleración eficaz en bandas de tercio de octava, es posible calcular la aceleración eficaz ponderada en cada eje mediante la expresión:

$$a_w = \left[\sum_i (w_i a_i)^2 \right]^{1/2}$$

siendo

a_w : la aceleración eficaz ponderada en frecuencia en cada eje (m/s^2)

a_i : la aceleración eficaz en cada banda de tercio de octava en cada eje (m/s^2)

w_i : el factor de ponderación dado en la tabla o figura anteriores correspondiente a cada banda de tercio de octava

El subíndice "i" hace referencia a cada una de las bandas de tercio de octava en que se divide el rango total de 0,5 a 80 Hz.

La intensidad total de la vibración, es decir, la acumulación en una sola cifra de la intensidad de la vibración en los tres ejes, viene dada por:

$$a_v = \left[k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right]^{1/2}$$

siendo

a_v : la aceleración total ponderada en frecuencia (m/s^2)

k_x , k_y , k_z : los factores de ponderación de cada eje

a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} : los valores de la aceleración eficaz ponderada en frecuencia en cada eje (m/s^2)

Con fines de evaluación de riesgos para la salud, los valores de los factores de ponderación de cada eje son:

$$\begin{aligned} k_x &= k_y = 1,4 \\ k_z &= 1 \end{aligned}$$

Suponiendo que el riesgo sea proporcional a la energía mecánica transmitida al cuerpo por la vibración, el valor ponderado en frecuencia de la aceleración eficaz podrá ser referenciado a una duración diaria de 8 h, mediante la expresión:

$$A_i(8) = k_i a_{w,T} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

siendo

$A(8)$: la aceleración eficaz ponderada en frecuencia referida a 8 horas (m/s^2)

k_i : el factor adimensional que depende del eje de medida

$a_{w,T}$: la aceleración eficaz ponderada en frecuencia durante el tiempo T (m/s^2)

T : la duración diaria de la exposición (h)

T_0 : el tiempo de referencia (en este caso 8 horas)

El valor de $A(8)$ se puede calcular para cada uno de los tres ejes de referencia y es un valor que engloba todos los parámetros que determinan el riesgo de la exposición, es decir, intensidad y frecuencia de la vibración y duración de la exposición.

Para llevar a cabo la evaluación se calcula el valor de $A(8)$ para cada uno de los tres ejes:

$$A_x(8) = 1,4a_{wx} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_y(8) = 1,4a_{wy} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_z(8) = a_{wz} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

y se toma el mayor de ellos para compararlo con el valor límite y con el valor que da lugar a una acción, que se han establecido respectivamente en $1,15 m/s^2$ y $0,5 m/s^2$, es decir:

$$A(8) = \max \left[A_x(8), A_y(8), A_z(8) \right]$$

Puede darse el caso de que el trabajador esté expuesto a las vibraciones en más de una operación a lo largo de la jornada laboral, por ejemplo utilizando una carretilla elevadora para cargar un camión y después conduciendo el camión para reparar las mercancías. En este caso, para evaluar el riesgo deberán calcularse los $A_i(8)$ ($i = x, y, z$) correspondientes a cada operación y después obtener el valor global en cada eje mediante la expresión:

$$A_i(8) = \sqrt{\sum_{j=1}^n A_{i,j}(8)^2} \quad \text{para } i = x, y, z$$

siendo n el número de operaciones con exposición a vibraciones.

El RD 1311/2005 ofrece la posibilidad de que en determinadas circunstancias no deba recurrirse a la medición de la acele-

ración sino que puedan utilizarse, a efectos de evaluación del riesgo, los datos sobre la vibración contenidos en el manual de instrucciones del equipo correspondiente o bien los que pueden obtenerse en diferentes bases de datos. (Con carácter general, desde enero de 1995, los fabricantes de máquinas fijas, móviles o portátiles deben informar sobre el nivel de vibración que tienen sus productos).

Para poder determinar la aceleración sin tener que recurrir a su medición deben cumplirse todas y cada una de las siguientes condiciones:

- a) Disponer de los valores de emisión del equipo, que pueden ser suministrados por el fabricante o proceder de otras fuentes.
- b) Las condiciones de funcionamiento reales del equipo deben ser similares a aquéllas para las que se han obtenido los niveles de emisión publicados.
- c) El equipo debe estar en buenas condiciones y su mantenimiento debe realizarse según las recomendaciones del fabricante.
- d) Las herramientas insertadas y los accesorios utilizados deben ser similares a los empleados para la determinación de los valores declarados de la aceleración.

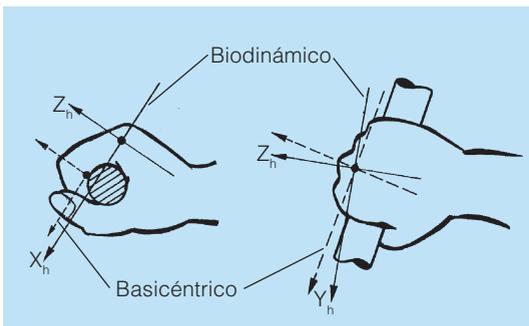
En caso de que no se cumplan las condiciones anteriores deberá recurrirse a la medición de la aceleración, que deberá hacerse de forma que se obtenga el valor de la aceleración eficaz en el punto de contacto entre el cuerpo humano y el objeto vibrante. Además, la duración de la medición debe ser suficiente para obtener un valor representativo de la exposición.

Vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo

Como en el caso anterior, la intensidad de la vibración se expresa en forma de la aceleración eficaz ponderada en frecuencia en relación a tres ejes ortogonales orientados en relación al sistema mano-brazo, tal como se indica en la figura. Según se

desprende de la figura, para el estudio de las vibraciones mano-brazo se han definido dos sistemas de coordenadas: el basicéntrico y el biodinámico.

El sistema biodinámico tiene su origen en la cabeza del tercer hueso metacarpiano, con el eje z orientado según el eje de dicho hueso. Los otros dos ejes se orientan perpendicularmente al z : el eje x en sentido dorso-palma de la mano, y el eje y en sentido transversal con sentido positivo hacia el pulgar. A efectos prácticos suele utilizar-



se el sistema basicéntrico, que se obtiene girando el anterior en el plano $y-z$ de manera que el eje y quede paralelo al eje de la mano. La razón de este cambio está en que así el eje y coincide con la dirección de la empuñadura de la herramienta, tal como se observa en la figura.

Las magnitudes que se utilizarán para la evaluación del riesgo son las mismas que en el apartado anterior, pero en este caso se afectarán de un subíndice “h” para indicar que se refieren al sistema mano-brazo. Asimismo, el parámetro $A(8)$ se calcula de manera diferente.

Para la evaluación del riesgo en el caso de las vibraciones que afectan al sistema mano-brazo se toman en consideración las bandas de tercio de octava cuya frecuencia central esté comprendida entre 6,3 y 1.250 Hz. También en este caso se han establecido unos factores de ponderación w_{hi} para cada una de éstas bandas, los cuales se indican en la tabla. A diferencia del caso de las vibraciones que afectan a todo el cuerpo, los factores w_{hi} son iguales para los tres ejes.

Si se dispone de los valores de la aceleración en cada una de las bandas de tercio de octava, la aceleración eficaz ponderada en cada eje vendrá dada por:

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (w_{hi} a_{hi})^2}$$

y la intensidad total de la vibración será:

$$a_{hw} = \sqrt{a_{hw x}^2 + a_{hw y}^2 + a_{hw z}^2}$$

(nótese que en este caso no se introducen factores de ponderación diferentes según el eje de que se trate).

Para evaluar el riesgo se determina el valor del parámetro $A(8)$ utilizando la expresión:

$$A(8) = a_{hw} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DEBIDO A LAS VIBRACIONES QUE AFECTAN A LA MANO SE BASA EN LA MEDIDA DE LA ACELERACIÓN EFICAZ PONDERADA EN FRECUENCIA EN CADA UNO DE LOS TRES EJES DE UN SISTEMA ORTOGONAL LIGADO A LA MANO

PONDERACIÓN FRECUENCIAL DE LAS VIBRACIONES MANO-BRAZO

Frecuencia central (Hz)	Factor de ponderación
6,3	0,727
8	0,873
10	0,951
12,5	0,958
16	0,896
20	0,782
25	0,647
31,5	0,519
40	0,411
50	0,324
63	0,256
80	0,202
100	0,160
1	0,127
160	0,101
200	0,0799
250	0,0634
315	0,0503
400	0,0398
500	0,0314
630	0,0245
800	0,0186
1000	0,0135
1250	0,00894

En el caso de estar expuesto a más de una fuente de vibración por el hecho de utilizar, por ejemplo, diversas herramientas, se determina el valor de $A(8)$ para cada una por separado y después se obtiene el valor global mediante la ecuación:

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i(8)^2}$$

siendo i el número de fuentes de exposición.

En ambos casos el riesgo se evalúa comparando el valor de $A(8)$ con el valor que da lugar a una acción y con el valor límite, que se han fijado en 2,5 y 5 m/s^2 , respectivamente.

También en el caso de las vibraciones mano-brazo se contempla la posibilidad de evaluar el riesgo sin recurrir a la medición siempre que se cumplan las condiciones ya citadas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el Comité Europeo de Normalización ha publicado un informe técnico en el que se recomienda, a efectos de evaluación del riesgo, modificar los valores de emisión declarados por los fabricantes de máquinas portátiles, multiplicándolos por un factor comprendido entre 1,5 y 2 en el caso de herramientas neumáticas o eléctricas.

LOS EFECTOS DE LAS VIBRACIONES NO SON BIEN CONOCIDOS Y POR TANTO LOS VALORES LÍMITE TIENEN UN GRADO DE INCERTIDUMBRE ELEVADO

CONTROL DE EXPOSICIONES

De acuerdo con la normativa vigente, cuando se rebasen los valores que dan lugar a una acción, deberá establecerse un programa de medidas técnicas y/o de organización destinado a reducir al mínimo la exposición a las vibraciones. Para ello se adoptarán medidas tendentes a disminuir la magnitud de la aceleración transmitida, ya sea a la mano o a todo el cuerpo, o bien a disminuir los tiempos de exposición.

Para disminuir el nivel de vibración de una máquina se deberán implantar medidas técnicas destinadas a evitar la generación de vibraciones debidas al desgaste de superficies, holguras, cojinetes dañados, giro de ejes, etc. mediante la adopción de programas de mantenimiento adecuados. También se puede actuar desintonizando las vibraciones a través de la modificación de la frecuencia de resonancia, lo cual se consigue variando la masa o la rigidez del elemento afectado. Igualmente puede atenuarse su transmisión al trabajador interponiendo materiales aislantes y/o absorbentes de las vibraciones.

El diseño de los asientos de vehículos y de sus puntos de anclaje es el elemento prioritario para reducir las vibraciones en estos casos. Asimismo, el diseño ergonómico de las empuña-

duras y los métodos de unión de éstas a las máquinas son los puntos clave a considerar en la reducción de vibraciones que afecten al sistema mano-brazo.

También es importante como medida preventiva el manejo correcto de las herramientas manuales y mantener las manos y el cuerpo calientes y secos. La herramienta se debe sujetar con la menor fuerza prensil posible compatible con un uso seguro.

Reducir el tiempo de trabajo contribuye a una disminución de la exposición, convirtiendo en tolerables niveles de vibración que no lo serían de prolongarse la exposición. Cuando se está expuesto a una vibración continua, un pequeño descanso de unos 10 minutos cada hora ayuda a moderar los efectos adversos que la vibración tiene para el trabajador, sin perjuicio de que deba comprobarse el valor de A(8).

El uso de protecciones individuales, por ejemplo guantes, puede ayudar a evitar los efectos perjudiciales de las vibraciones, pero siempre deben ser considerados como elementos complementarios de las medidas de tipo técnico. En particular, la eficacia de los guantes para evitar la transmisión de vibraciones a la mano no está muy bien comprobada y no se puede confiar en ellos como elemento primario de prevención de riesgos.

Debe informarse a los trabajadores de los niveles de vibración a los que están expuestos y de las medidas preventivas de que disponen. También es necesario enseñar al trabajador cómo puede optimizar su esfuerzo muscular y cuál es la mejor postura para realizar su trabajo.

También debe implantarse un programa de vigilancia de la salud a todos los trabajadores expuestos a vibraciones. El objetivo será la detección de síntomas precoces de las posibles alteraciones, teniendo en cuenta el tipo de vibración y la parte del cuerpo afectada.

EL DISEÑO CORRECTO DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS ES LA MEDIDA PREVENTIVA PRIMARIA Y MÁS EFICAZ PARA EVITAR RIESGOS DEBIDOS A VIBRACIONES

EL ORGANISMO HUMANO Y EL AMBIENTE TÉRMICO

El ser humano es un organismo homeotermo, esto implica que las reacciones metabólicas requieren una temperatura constante ($37 \pm 1^\circ\text{C}$) para desarrollarse, y en consecuencia el propio organismo dispone de mecanismos muy potentes de regulación de la temperatura interna. Los sistemas de termorregulación son muy complejos, pero los conceptos básicos necesarios para comprender su funcionamiento con el fin de aplicarlos a la prevención de riesgos laborales se pueden exponer de forma relativamente simple.

Los procesos bioquímicos necesitan energía para elaborar las sustancias propias del organismo y desarrollar trabajo muscular. Esta energía se obtiene por descomposición de los principios inmediatos (carbohidratos, lípidos y proteínas), no obstante, la mayor parte de la energía producida se libera como energía térmica (calor).

La energía térmica siempre fluye desde los lugares con mayor temperatura hacia los lugares más fríos. Cuando cualquier objeto recibe calor su temperatura aumenta, y si pierde calor su temperatura disminuye, de forma que el flujo de calor tiende a equilibrar las temperaturas. No se pueden evitar ni el flujo de calor ni el equilibrio final de la temperatura de un cuerpo con su entorno, lo que significa que, por bueno que sea el aislamiento, si no hay aporte de calor, la temperatura de un cuerpo acabará siendo igual a la del ambiente que le rodea.

La consecuencia de este fenómeno, aplicada al organismo humano, es que para mantener una temperatura interna constante es necesario que se esté produciendo calor de forma con-

LA ACTIVIDAD FÍSICA DEL HOMBRE ES UN MECANISMO IMPORTANTE DE GENERACIÓN DE CALOR

tinua y que funcionen unos mecanismos que faciliten la entrada de calor a los órganos en caso de que pierdan temperatura, o la evacuación de calor si la ganan, y unos mecanismos de evacuación hacia el exterior del calor excedente.

EN CONDICIONES DE EQUILIBRIO TÉRMICO EL CUERPO HUMANO ESTÁ GENERANDO, RECIBIENDO Y PERDIENDO CALOR DE FORMA CONTINUA, Y EL BALANCE TÉRMICO ES NULO

El conjunto de los mecanismos de termorregulación está gobernado por el hipotálamo, un área del sistema nervioso central situada en la base del cerebro. Su funcionamiento es similar al de un termostato, recibe información mediante una amplia red de receptores sensibles a la

temperatura y sus variaciones distribuidos por todo el organismo, y activa los mecanismos fisiológicos necesarios para mantener la temperatura interna constante, incluyendo la descomposición de principios inmediatos para producir energía térmica en caso necesario.

Unidades de medida de las magnitudes térmicas

Las unidades clásicas de medida de la energía térmica, la caloría y su múltiplo, la kilocaloría, no están incluidas en el sistema internacional de unidades de uso legal en España.

La unidad oficial de energía o calor es el joule (símbolo J), que equivale a 0,239 calorías.

El flujo térmico se medirá en watts (símbolo W) o kilowatts (kW). Un kW equivale a 861 kcal/h.

En estudios de Fisiología y de Higiene Industrial tiene interés el flujo térmico por unidad de superficie corporal, que se medirá en W/m^2 , o kW/m^2 .

En algunos estudios se utiliza la unidad met, que equivale a un flujo térmico de $58 W/m^2$ (o $50 kcal h^{-1}m^{-2}$). La definición de met se deduce al considerar el flujo térmico equivalente a la generación media de calor de una persona en reposo ($104 W$ o $90 kcal/h$), a través de la superficie corporal media ($1,8 m^2$).

Generación metabólica de calor

El organismo humano genera calor de forma continua. Se puede considerar el calor generado como un subproducto de cualquier reacción bioquímica o de cualquier trabajo mecánico realizado. Es costumbre identificarlo con el nombre de carga o consumo metabólico, o simplemente metabolismo si no hay posibilidad de confusión. El símbolo es M y la unidad de medida el watt, o el $watt/m^2$ si se refiere a la superficie corporal.

Considerado desde el punto de vista termodinámico el organismo humano es una máquina muy poco eficiente, ya que la mayor parte de la energía liberada por la descomposición del combustible (principios inmediatos) se convierte en calor. Sólo

en algunos tipos de movimiento (subir escaleras, por ejemplo) se alcanzan rendimientos del orden del 20%, pero en la mayor parte de las actividades cotidianas o laborales el rendimiento es muy bajo, incluso en muchos casos nulo, como ocurre con el trabajo estático.

De lo anterior se deduce que, cuanto más intensa sea la actividad física del individuo, mayor será también la carga metabólica. Incluso en condiciones de reposo absoluto y en ayunas se genera una cierta cantidad de calor que recibe el nombre de metabolismo basal. El valor medio del metabolismo basal es de 70 W.

CASI TODA LA ENERGÍA QUE SE PRODUCE EN LOS PROCESOS METABÓLICOS SE TRANSFORMA EN CALOR

Medida de la producción de calor por el organismo

Los métodos aplicables para la medida de la producción de calor por la actividad metabólica se pueden agrupar en dos categorías; los basados en la medida del consumo de oxígeno y los basados en la medida de la frecuencia cardiaca.

Existe una relación casi lineal entre la carga metabólica y el consumo de oxígeno. A una tasa de consumo de oxígeno de 1 l/s le corresponde una carga metabólica de 20,2 kW. Desgraciadamente la realización de este tipo de mediciones requiere una instrumentación muy sofisticada difícil de usar en entornos laborales y su uso queda limitado a experimentos de laboratorio.

En los últimos años han aparecido instrumentos para medir la carga metabólica que están basados en la medida de la frecuencia cardiaca, y que pueden ser utilizados en entornos laborales. Se basan en el aumento de irrigación sanguínea que requiere la realización de un trabajo muscular. Hasta el momento se han desarrollado protocolos de medida adecuados para evaluar la penosidad o fatiga de un trabajo físico, pero no con el fin de estimar la generación de calor por la actividad metabólica.

AUNQUE EXISTEN INSTRUMENTOS PARA ELLO, LA MEDIDA DIRECTA, O INDIRECTA, DE LA CARGA METABÓLICA NO ES FRECUENTE EN EL ÁMBITO DE LA HIGIENE INDUSTRIAL

Estimación del calor generado por el metabolismo

Ante la falta de procedimientos experimentales que permitan una medición es habitual el recurso al uso de procedimientos basados en la estimación a partir de datos tabulados. Todos los procedimientos de este tipo tienen un patrón común, consisten en tablas en las que se indican valores de la producción de calor a partir de circunstancias observables del trabajo realizado. Las tablas pueden ser muy simples (categorías de trabajo ligero, moderado o pesado) o muy detalladas. La norma UNE-EN-ISO 8996:2005 describe varios procedimientos de este tipo basados

en distintos modos de categorización de las tablas (por actividades, por profesiones, etc.).

Puesto que existe una relación entre la actividad física y la generación de calor el modo más simple de presentar los datos es una tabla como la adjunta

CLASIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD METABÓLICA		
Actividad	Generación de calor (W/m²)	Valor medio Para cálculos (W/m²)
Reposo absoluto	M<65	65
Actividad ligera	65<M<130	100
Actividad moderada	130<M<200	165
Actividad pesada	200<M<260	230
Actividad muy pesada	M>260	290

Con el fin de aclarar los significados se muestran tablas con ejemplos de cada categoría:

EJEMPLOS DE ACTIVIDAD LIGERA

Sentado cómodamente: escribir, dibujar, costura, mecanografía, clasificación de materiales ligeros, conducir un coche, maniobrar un interruptor de pedal.

De pie: taladrado o fresado de piezas pequeñas, mecanizar con útiles de poca potencia, marcha ocasional.

EJEMPLOS DE ACTIVIDAD MODERADA

Trabajo mantenido de manos y brazos: claveteado, llenado.

Trabajo con brazos y piernas: maniobras sobre camiones.

Trabajo de brazos y tronco: martillo neumático, enyesado, recolección de frutos.

Empuje o tracción de carretas ligeras o carretillas.

Marcha a velocidad inferior a 5 km/h.

EJEMPLOS DE ACTIVIDAD PESADA

Trabajo intenso con brazos y tronco.

Transporte de materiales pesados: serrado, cincelado de madera dura, segar a mano, cavar.

Empuje o tracción de carretillas muy pesadas.

Marcha a velocidad entre 5 y 7 km/h.

EJEMPLOS DE ACTIVIDAD MUY PESADA

Subir escaleras.
Cavar y palear intensamente.
Marcha a velocidad superior a 7 km/h, correr.

Un procedimiento más detallado consiste en estimar el consumo metabólico a partir de componentes de la actividad. En las tablas se indican los consumos correspondientes a la postura, al tipo de trabajo y al desplazamiento. La carga metabólica total será la suma de todos ellos y el metabolismo basal. El metabolismo basal depende de la edad, el sexo y otros factores individuales. Una aproximación de uso general es asignarle un valor de 50 W/m².

CONSUMO METABÓLICO DEBIDO A LA POSICIÓN DEL CUERPO (W/m²)

Sentado	10
Arrodillado	20
Agachado	20
De pie	25
De pie inclinado	30

CONSUMO METABÓLICO DEBIDO AL TIPO DE TRABAJO (W/m²)

	valor medio	intervalo
Trabajo con las manos		
ligero	15	<20
medio	30	20-35
intenso	40	>35
Trabajo con un brazo		
ligero	35	<45
medio	55	45-65
intenso	75	>65
Trabajo con dos brazos		
ligero	65	<75
medio	85	75-95
intenso	105	>95
Trabajo con el tronco		
ligero	125	<155
medio	190	155-230
intenso	280	230-330
muy intenso	390	>330

CONSUMO METABÓLICO DEBIDO AL DESPLAZAMIENTO	
	M (W/m²)/(m/s)
Velocidad de desplazamiento considerada en sentido horizontal	
Andar entre 2 y 5 km/h	110
Andar en subida entre 2 y 5 km/h	
inclinación 5°	210
inclinación 10°	360
Andar en bajada, 5 km/h	
inclinación 5°	60
inclinación 10°	50
Andar con carga (4 km/h)	
carga de 10 kg	125
carga de 30 kg	185
carga de 50 kg	285
Velocidad de desplazamiento considerada en sentido vertical	
Subir una escalera	1725
Bajar una escalera	480
Subir una escala inclinada	
sin carga	1660
carga de 10 kg	1870
carga de 50 kg	3320
Subir una escala vertical	
sin carga	2030
carga de 10 kg	2335
carga de 50 kg	4750

Los valores indicados en las tablas se pueden promediar para obtener valores medios a lo largo de un tiempo determinado.

En actividades laborales corrientes es muy raro encontrar cargas metabólicas sostenidas durante toda la jornada laboral superiores a 200 W/m². En periodos más cortos de tiempo pueden alcanzarse, sin embargo, valores muy superiores, hasta de varios miles de W/m², como ocurre al realizar un esfuerzo, pero siempre estarán compensados con periodos de menor actividad, de forma que el valor medio diario raramente supera el valor indicado.

El cuerpo humano está recibiendo o cediendo constantemente calor al medio ambiente a través de diversos mecanismos. Los más importantes son: la evaporación del sudor, la convección y la radiación. Además de éstos, se intercambia calor con el entorno por contacto directo con superficies más frías o más calientes (conducción), y con el aire de la respiración, aunque estos mecanismos son cuantitativamente menos importantes y se pueden ignorar en un estudio básico.

Intercambios con el ambiente

Evaporación del sudor

La evaporación del sudor es un mecanismo de eliminación de calor, pues el sudor, que esencialmente es agua, toma de la piel con la que está en contacto el calor necesario para el paso del estado líquido a vapor. Es importante destacar que la eliminación de calor se produce sólo si el sudor se evapora y no por el mero hecho de sudar. En un ambiente muy húmedo, por ejemplo, es posible sudar mucho pero no evaporar prácticamente el sudor, por lo que el efecto de eliminación de calor por sudoración queda anulado.

La cantidad de sudor que puede evaporarse por unidad de tiempo depende fundamentalmente de dos variables ambientales: la humedad absoluta y la velocidad del aire. Cuanto mayor es la humedad más difícil es evaporar el sudor; asimismo, cuanto mayor es la velocidad del aire tanto mayor es el flujo de sudor que es posible evaporar.

LA EVAPORACIÓN DEL SUDOR ES UN MECANISMO DE ELIMINACIÓN DE CALOR, QUE DEPENDE DE LA HUMEDAD ABSOLUTA Y DE LA VELOCIDAD DEL AIRE

Como es obvio, la evaporación del sudor es un mecanismo exclusivamente de eliminación de calor, a diferencia del resto, que son bidireccionales.

La humedad absoluta del aire, que es la variable ambiental con mayor influencia en el proceso de eliminación de calor por evaporación, es la concentración de vapor de agua en el aire, y no debe confundirse con la forma habitual de indicar la humedad que es una medida relativa que sólo tiene un interés indirecto en Higiene Industrial.

La humedad absoluta se mide en términos de gramos de vapor de agua por unidad de masa de aire seco (masa de aire contenida en la mezcla de aire y vapor de agua). También se puede indicar en términos de presión parcial del vapor medida en pascales. La presión parcial del vapor es la presión que ejercería el vapor de agua en el supuesto de que ocupara todo el volumen de la mezcla aire-vapor de agua.

La presión de vapor del agua a la temperatura de la piel (35°C) es de 5,6 kPa; se producirá evaporación del sudor siempre que

ES POSIBLE EVAPORAR SUDOR INCLUSO SI LA HUMEDAD RELATIVA ES DEL 100%

la presión parcial del vapor en el aire sea inferior a ese valor, independientemente de cual sea la humedad relativa. En otras palabras: es posible eliminar calor por evaporación del sudor incluso cuando la humedad del aire es del 100%.

Con ayuda de un diagrama psicrométrico es posible conocer el valor de la humedad absoluta a partir de los valores de la temperatura del aire y de su humedad relativa.

Convección

El organismo puede ganar o perder calor por convección. La convección es un mecanismo de intercambio de calor entre la piel y el aire en contacto con ella. El flujo de calor se produce en el sentido de mayor a menor temperatura.

La temperatura de la piel varía en función de las necesidades del organismo de evacuar calor, aunque siempre se encuentra alrededor de 35 °C. Cuando la temperatura del aire es inferior a la de la piel, el mecanismo de convección posibilita la evacuación de calor, pero si el ambiente está a una temperatura superior se producirá una ganancia de calor a través de

LA CONVECCIÓN DEPENDE DE LA TEMPERATURA Y DE LA VELOCIDAD DEL AIRE. SU SENTIDO ES DESDE EL CUERPO MÁS CALIENTE HACIA EL MÁS FRÍO

la piel. Asimismo, puede también demostrarse que esta magnitud, en cualquiera de los dos sentidos, es tanto mayor cuanto más elevada es la velocidad del aire.

Hay que resaltar que el intercambio ocurre entre la piel y el aire en contacto con ella, no con el aire ambiental; el uso, o carencia, de prendas de ropa incide en el intercambio global, ya que supone una barrera adicional a la transferencia de calor entre el ambiente y la piel.

El aislamiento térmico debido al uso de ropa también se da en los dos sentidos y eso explica la aparente paradoja cuando se observa que los trabajadores de hornos, para acceder a lugares con temperaturas elevadas, utilizan gruesos abrigos de lana, porque les proporcionan un aislamiento durante el tiempo que permanecen en el lugar.

Radiación

Otro mecanismo de intercambio es la radiación. La radiación es un fenómeno de intercambio térmico que se produce entre dos cuerpos sólidos cuyas superficies están a diferente temperatura y que se encuentran uno "a la vista" del otro.

El origen de este fenómeno se encuentra en el hecho de que cualquier objeto emite radiación infrarroja en cantidad tanto

mayor cuanto más elevada es su temperatura; al mismo tiempo, absorbe una parte de la radiación infrarroja que recibe de otros objetos que lo rodean y refleja el resto. Este es el mecanismo de transporte de energía desde el Sol hasta la Tierra.

LA RADIACIÓN ES UN MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR QUE SÓLO DEPENDE DE LAS TEMPERATURAS DE LOS CUERPOS SÓLIDOS QUE SE "VEN" ENTRE SÍ

Puesto que todo cuerpo sólido está emitiendo constantemente radiación infrarroja, en una cantidad que depende de su temperatura, y recibiendo rayos infrarrojos emitidos por los objetos que lo rodean, el resultado neto es que se establece un intercambio de calor por radiación entre cualquier cuerpo y su entorno. La velocidad de intercambio de calor por este mecanismo depende de las temperaturas de las superficies de los cuerpos que se "ven" y de la superficie "vista" de cada uno de ellos.

Para poder cuantificar el fenómeno se define la temperatura radiante media, que es la temperatura media de los objetos que rodean el cuerpo (ponderada con la superficie de los distintos objetos y con la distancia al cuerpo). Según que la temperatura del cuerpo sea superior o inferior a la temperatura radiante media del entorno el efecto neto será una ganancia, o una pérdida, de calor del cuerpo en cuestión. El intercambio de calor por radiación no está influenciado por la velocidad ni la temperatura del aire ni ninguna otra magnitud ambiental, excepto la temperatura radiante media.

De lo expuesto hasta ahora se puede deducir el proceso que describe la interacción entre el cuerpo humano y las variables ambientales termohigrométricas.

Balance térmico del cuerpo humano

- a) El cuerpo genera calor.
- b) Para mantener la temperatura interna a 37 °C (condición indispensable para la vida) el cuerpo debe evacuar hacia el ambiente exterior todo el calor que genera, a la misma velocidad que lo genera, es decir, no puede acumular o perder calor.
- c) La capacidad para evacuar el calor depende de mecanismos fisiológicos y de variables ambientales, incluyendo entre estas el vestido.

En términos estrictamente físicos estas condiciones se pueden concretar diciendo que el balance térmico del cuerpo humano debe ser nulo. El balance térmico nulo se expresa mediante la ecuación:

$$M = E + R + C$$

siendo:

M: la generación de calor por el metabolismo

E: la pérdida de calor por evaporación

C: la pérdida de calor por convección (será negativa si se trata de una ganancia).

R: la pérdida de calor por radiación (será negativa si se trata de una ganancia).

Cualquier situación ambiental debe permitir que la relación anterior se cumpla. La condición de balance térmico nulo es necesaria para el mantenimiento de la actividad vital del ser humano. Pero además, si las condiciones ambientales son muy extremas (por calor o frío), pueden requerir un esfuerzo excesivo a los mecanismos fisiológicos de regulación, que se conoce con el nombre de estrés térmico o estrés por frío, con consecuencias perjudiciales en la salud y que, por tanto, deben ser evitadas. Así pues, la prevención de riesgos consistirá, por tanto, en identificar, evaluar y evitar las circunstancias ambientales que pueden dar lugar a una situación de estrés.

EL BALANCE TÉRMICO EQUILIBRADO ES LA CONDICIÓN INDISPENSABLE PARA EVITAR EL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO

Limitándonos ahora a los elementos ambientales se puede afirmar que el intercambio térmico entre el hombre y el medio ambiente está controlado por cinco variables ambientales:

- a) La temperatura del aire, que controla el intercambio por convección.
- b) La humedad absoluta del aire, que controla el intercambio por evaporación.
- c) La velocidad del aire, que afecta a la magnitud de los dos anteriores.
- d) La temperatura radiante media, que controla el intercambio por radiación.
- e) El tipo de vestido, que afecta a la magnitud de todos los intercambios.

Cuando se desee efectuar una evaluación de la agresividad térmica de un ambiente será pues necesario tener en cuenta las cinco variables, bien sea de forma directa utilizando los valores de las mismas medidos experimentalmente, bien mediante el empleo de índices de evaluación ambiental en los que se combinen los efectos de varias o de la totalidad de dichas variables.

Medida de las magnitudes ambientales

Las medidas ambientales necesarias para la evaluación de riesgos requieren el uso de instrumentos fiables y calibrados. Los requisitos exigibles de los instrumentos están descritos en la norma UNE-EN ISO 7726:2002. A continuación se hace un resumen de las características de los instrumentos y de las condiciones de medida más significativas.

Temperatura del aire

La temperatura del aire se mide con termómetros. Puede utilizarse cualquier tipo, tanto los clásicos de vidrio como los basados en sensores con indicación digital. Se recomienda una precisión mejor que 0,5°C.

Aunque a primera vista la medida de la temperatura del aire con un termómetro parezca algo nimio, es preciso respetar ciertas condiciones para que el resultado sea correcto:

- La lectura no es inmediata, hay que esperar el tiempo necesario para que se alcance un valor estable. El tiempo necesario depende del tipo y tamaño del termómetro.
- Es conveniente que exista movimiento del aire alrededor del bulbo ($v > 1$ m/s). Si en el lugar de medida el aire está en reposo se puede forzar el movimiento con un pequeño ventilador.
- La temperatura a medir debe estar en el rango de medida del termómetro.
- El elemento sensor debe estar protegido del calor radiante. Normalmente es suficiente con una pantalla brillante que evite la incidencia sobre el elemento sensor de las radiaciones emitidas por los cuerpos calientes (o fríos) situados en el entorno.

Humedad del aire

Existen instrumentos, llamados higrómetros, que dan una indicación directa de la humedad del aire en forma absoluta (g de vapor/kg de aire), o relativa (%). Se recomienda una precisión en la medida de la humedad absoluta mejor que 0,15 kPa.

Los higrómetros que utilizan materiales orgánicos (higrómetros de pelo) se basan en la característica de ciertos polímeros orgánicos de cambiar su longitud en función de su contenido de agua, lo que a su vez es función de la humedad relativa del ambiente. Son baratos y muy populares, pero de baja precisión y no válidos para los fines de evaluación de riesgos.

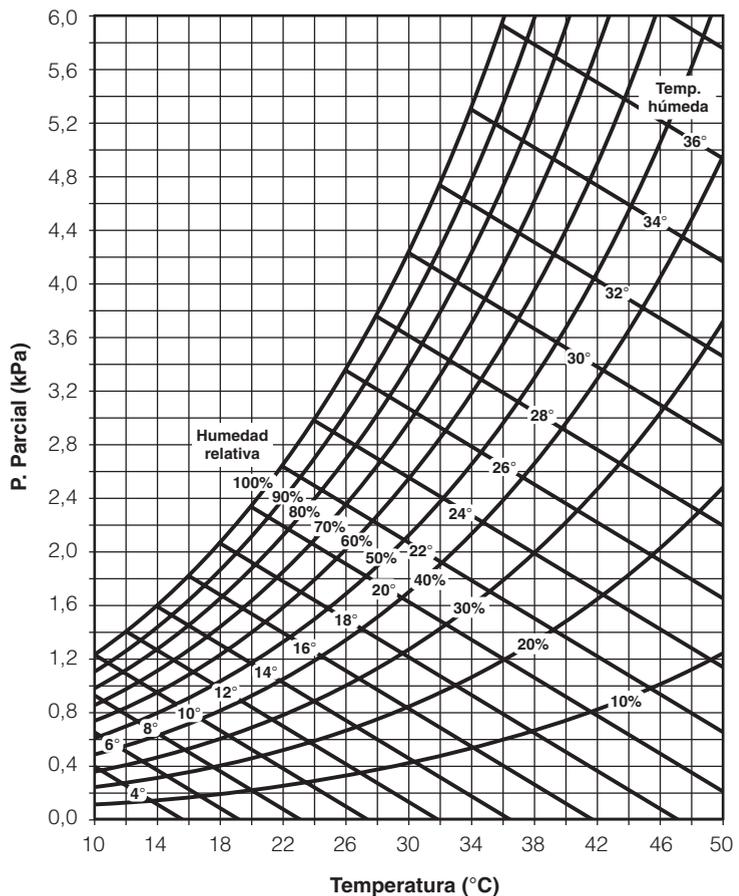
Otros tipos de higrómetros, generalmente diseñados para uso en laboratorio, se basan en la medida del punto de rocío, en la medida de la resistencia eléctrica de un film salino o de ciertos polímeros, como el poliestireno sulfonado, o en el aumento de peso de sustancias higroscópicas como el cloruro de litio. Las indicaciones son más precisas, aunque en general se trata de instrumentos delicados, no previstos para usos en ambientes sucios o contaminados, aunque ya se pueden encontrar algunos equipos diseñados para ser usados en esos ambientes.

El instrumento más utilizado para la medida de la humedad del aire es el sicrómetro. Un sicrómetro está formado por dos termómetros, uno de ellos es un termómetro ordinario y mide

la temperatura del aire, que se identifica con el nombre de “temperatura seca”. El segundo termómetro tiene el bulbo, o elemento sensor, recubierto con un paño de algodón empapado en agua destilada; el objeto es mantener una película fina de agua que moje completamente el elemento sensor del termómetro de forma que la indicación de éste sea la temperatura de la película de agua. Esta temperatura se identifica con el nombre de “temperatura húmeda del aire”.

Conociendo los valores de las temperaturas seca y húmeda la composición del aire húmedo queda completamente definida y se pueden leer en un diagrama sicrométrico el resto de magnitudes de interés (humedad absoluta, humedad relativa, punto de rocío, etc.).

DIAGRAMA SICROMÉTRICO PARA USO EN HIGIENE



Las indicaciones dadas antes para obtener un valor correcto de la temperatura seca siguen siendo válidas, pero, además, el termómetro de bulbo húmedo requiere precauciones adicionales:

- La lectura no es inmediata, hay que esperar el tiempo necesario para que se alcance un valor estable. El tiempo necesario depende del tipo y tamaño del termómetro.
- El paño de algodón debe estar limpio.
- El agua destilada debe empapar completamente el paño, pero sin gotear.
- Es imprescindible que exista movimiento del aire alrededor del bulbo ($v > 1\text{ m/s}$). Si en el lugar de medida el aire está en reposo, será necesario forzar el movimiento con un pequeño ventilador.
- La temperatura a medir debe estar en el rango de medida del termómetro.
- El elemento sensor debe estar protegido del calor radiante. Normalmente es suficiente con una pantalla brillante que evite la incidencia sobre el elemento sensor de las radiaciones emitidas por los cuerpos calientes (o fríos) situados en el entorno.

Velocidad del aire

La medida de la velocidad del aire se realiza con anemómetros. Existe una gran variedad de modelos de diferentes diseños y aplicables a la medida de la velocidad del aire en puestos de trabajo. No obstante, la medida de la velocidad del aire no es sencilla, debido a la enorme variabilidad de esta magnitud tanto respecto al tiempo como al espacio.

Para mediciones aplicables a la evaluación de riesgos el instrumento utilizado debe ser lo menos direccional posible, es decir, debe indicar el valor correcto de la velocidad del aire independientemente de su dirección, y ser capaz de medir con precisión a partir de 0,2 m/s.

Temperatura radiante media

Los radiómetros son instrumentos que miden el flujo térmico por radiación, a partir del cual se puede deducir el valor de la temperatura radiante media del entorno. Son instrumentos apenas utilizados hasta ahora en el campo de la evaluación de riesgos. En épocas recientes se han empezado a utilizar para evaluar ambientes desde el punto de vista de confort térmico.

En el ámbito de la evaluación de riesgos, la estimación de la temperatura radiante media se realiza de forma indirecta, a partir de la temperatura de globo.

La temperatura de globo es la temperatura indicada por un termómetro situado en el centro de una esfera de cobre de 15 cm de diámetro pintada de color negro mate (emisividad > 0,95).

Con esta disposición, el termómetro indica la temperatura de la esfera de cobre, la cual a su vez es la temperatura a la que se establece un estado de equilibrio estacionario en el que el flujo de calor que recibe la esfera por radiación desde el entorno es igual al que sale de la esfera por convección. Puesto que el primero es función de la temperatura radiante media y el segundo es función de la velocidad y temperatura del aire se puede deducir la ecuación que relaciona estas variables:

$$T_R = \left[(T_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v^{0,6} (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273$$

siendo

T_r : la temperatura radiante media (°C).

T_g : la temperatura de globo (°C)

T : la temperatura del aire (°C)

v : la velocidad del aire (m/s)

Esta ecuación se puede linealizar para valores de T_g en el entorno de 50 °C resultando:

$$T_R = T_g + 1,6 \cdot v^{0,6} (T_g - T_a)$$

que se puede utilizar cuando no es necesaria una precisión muy elevada.

Al igual que en los casos anteriores es preciso tomar ciertas precauciones para que la lectura del termómetro sea correcta:

- La lectura no es inmediata, hay que esperar el tiempo necesario para que se alcance un valor estable. El tiempo necesario depende de los valores de la temperatura, pero es normal que sea superior a los 15 minutos.
- En este caso no es imprescindible que exista movimiento del aire alrededor del bulbo, pero no hay inconveniente en forzar el paso del aire, si con ello se puede facilitar la medida de la velocidad que es un dato necesario para estimar la temperatura radiante.
- La temperatura a medir debe estar en el rango de medida del termómetro.
- El globo no debe estar protegido del calor radiante del entorno. Hay que vigilar que la presencia del trabajador, o del técnico que hace las mediciones, no constituya una pantalla entre los focos de calor radiante (superficies calientes) y el instrumento.

EVALUACIÓN DE LAS EXPOSICIONES AL CALOR

El hecho de que el organismo genere calor establece una diferencia sustancial con los demás contaminantes del mundo laboral, en el que el agente agresivo tiene su origen en el medio ambiente en el que el trabajador se encuentra inmerso.

Cuando se pretende evaluar el riesgo para la salud de un trabajador ocasionado por una situación térmicamente agresiva, la evaluación debe tener en cuenta tanto las características térmicas del ambiente (agresividad térmica ambiental) como la intensidad del trabajo realizado por el individuo. En cierta forma el propio individuo es uno de los orígenes de la contaminación.

Otro aspecto importante que diferencia las agresiones térmicas de los restantes tipos de contaminación se encuentra en el ámbito de las consecuencias. Los efectos de la mayor parte de las agresiones ambientales se ponen de manifiesto a largo plazo, de una forma lenta y progresiva y, generalmente, reversible si cesa la exposición; este es el proceso típico de las enfermedades profesionales.

En el caso del calor, sin embargo, las cosas suceden de una forma distinta. La exposición excesiva al calor no da lugar a un deterioro lento y progresivo de ninguna función vital; dicho de otra forma: no se conocen “enfermedades profesionales” derivadas de una exposición intensa y duradera a un ambiente térmico agresivo. Muy al contrario, las consecuencias se manifiestan bruscamente, en forma de lo que podríamos llamar “accidentes biológicos”, de los que quizá el más familiar es el desmayo de los soldados que hacen largas horas de guardia en un día caluroso.

Sin duda el efecto más grave de la exposición a situaciones de calor intenso es el “golpe de calor”, que consiste en un colapso de los mecanismos de termorregulación del organismo; las consecuencias pueden ir desde el simple desmayo hasta dejar secuelas irreversibles e incluso la muerte. El agotamiento y los calambres son otros de los síntomas que se observan como consecuencia de la exposición al calor. Junto con estos efectos se manifiestan también los debidos a la descompensación de los electrolitos en los fluidos orgánicos y la deshidratación asociados a la pérdida de líquidos fisiológicos que implica la sudoración.

Siempre se trata de efectos agudos, es decir, se producen como consecuencia inmediata de la exposición, prácticamente sin tiempo de latencia, y el organismo re-

Efectos en la salud de la exposición al calor

LOS EFECTOS DE UNA EXPOSICIÓN EXCESIVA A CALOR SON INMEDIATOS

cupera su estado normal cuando cesa la exposición, con la excepción evidente de los daños irreversibles que se hayan podido producir durante la misma.

Índices de evaluación ambiental

Como ya hemos visto, el intercambio térmico entre el hombre y el medio ambiente viene controlado por cinco variables ambientales: la temperatura del aire, la humedad, la velocidad del aire, la temperatura radiante media y el vestido. En el caso de exposiciones laborales al calor la última puede ser obviada, ya que la mayoría de las personas utiliza el mismo tipo de vestido en esas condiciones (camisa y pantalón de tejido ligero de algodón).

UN ÍNDICE ES UNA COMBINACIÓN DE LOS VALORES DE LAS VARIABLES AMBIENTALES QUE CONTROLAN LOS PROCESOS TÉRMICOS. POSIBILITA EL USO DE UN SOLO NÚMERO PARA INDICAR LA AGRESIVIDAD DE UN AMBIENTE

El conjunto de los valores de las cuatro variables restantes es el que determina la agresividad del medio ambiente desde el punto de vista térmico, pero, dado

lo incómodo que resulta trabajar con cuatro variables independientes, desde hace muchos años se han desarrollado investigaciones encaminadas a proponer índices que engloban en una sola cifra la agresividad térmica ambiental.

Índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

Este índice, desarrollado en 1957, es sin duda el más utilizado en el ámbito de la Higiene Industrial. Se calcula directamente a partir de lecturas de termómetros. Las ecuaciones de cálculo son:

$WBGT = 0,7 THN + 0,3 TG$, aplicable en interiores, o exteriores en la sombra; o

$WBGT = 0,7 THN + 0,2 TG + 0,1 TA$, aplicable si hay radiación solar

siendo

WBGT: el valor del índice.

THN: la temperatura húmeda natural, que es la temperatura indicada por un termómetro húmedo, pero sin forzar la circulación del aire y sin apantallar, es decir que el movimiento del aire alrededor del sensor y la radiación son las existentes en el lugar de medida.

TG: es la temperatura indicada por un termómetro de globo de 15 cm de diámetro.

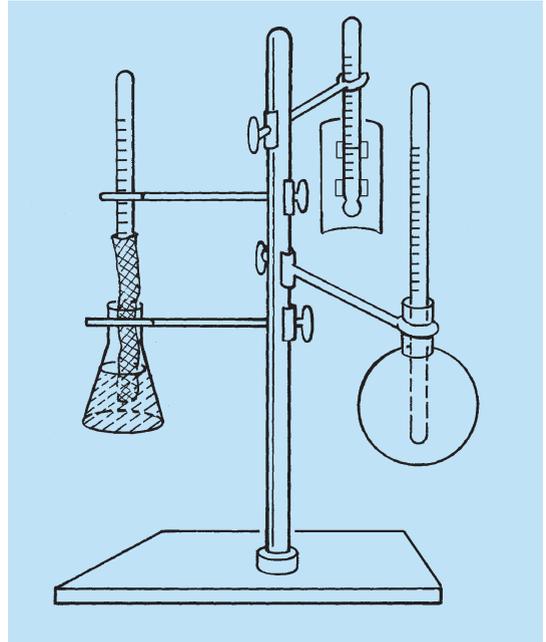
TA: es la temperatura del aire.

Puesto que todas las variables ambientales tienen unidades de temperatura, el índice también vendrá expresado en unidades de temperatura, aunque es evidente que no corresponde a la tem-

peratura de ningún cuerpo ni puede medirse directamente.

Obsérvese que las definiciones de TG y TA coinciden con las dadas al mencionar los instrumentos de medida, mientras que la de temperatura húmeda natural no es equivalente a la temperatura húmeda sicrométrica definida antes y, por tanto, no debe utilizarse como dato ni puede leerse en un diagrama sicrométrico. En la figura se muestra una disposición práctica de la instrumentación necesaria para obtener el WBGT.

Se han desarrollado instrumentos de medida equipados con tres sensores que indican directamente el valor del WBGT; en estos instrumentos el globo suele ser de un tamaño inferior al indicado, pero el instrumento incorpora las correcciones necesarias para que la lectura sea la correspondiente a la definición.



La utilidad de este índice es evidente: no precisa instrumentos complicados, es fácil de calcular y en el resultado influyen todas las variables ambientales que intervienen en los intercambios térmicos del organismo humano. En la práctica todas las organizaciones implicadas en temas de salud laboral (OSHA, NIOSH, ACGIH, OMS, INSHT, ISO, UNE) recomiendan su uso, si bien siempre aclaran que debe usarse como método rápido para discriminar si en una situación dada hay riesgo de estrés térmico, y no como método cuantitativo de evaluación del riesgo.

Índice de sudoración requerida y cálculo de la sobrecarga térmica estimada

Se basan en calcular, a partir de las medidas ambientales, los términos del balance térmico expuesto antes, dejando como incógnita el término debido a la evaporación del sudor; en otras palabras: usando la ecuación del balance térmico se calcula cuál debe ser el flujo de calor por evaporación de sudor para mantener el equilibrio térmico del cuerpo. A este término se le llama “evaporación requerida”.

Independientemente de otras consideraciones, la evaporación requerida es una indicación útil para evaluar el riesgo, ya que es una medida de la velocidad a que se está perdiendo líquido por sudoración, y este hecho puede representar en sí mismo un riesgo.

Independientemente de otras consideraciones, la evaporación requerida es una indicación útil para evaluar el riesgo, ya que es una medida de la velocidad a que se está perdiendo líquido por sudoración, y este hecho puede representar en sí mismo un riesgo.

El siguiente paso del procedimiento consiste en estimar la cantidad máxima de sudor que se puede evaporar teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por el ambiente, básicamente la humedad y el tipo de vestido del individuo. A este término se le llama “evaporación máxima”.

La comparación de la evaporación requerida con la evaporación máxima, expresada en forma de porcentaje, es el valor del índice. Un valor inferior al 100% indica que se puede alcanzar el equilibrio térmico, mientras que un valor superior al 100% indica que las condiciones no permiten alcanzar el equilibrio térmico y, por tanto, el riesgo de estrés térmico es elevado.

PARA CALCULAR EL TIEMPO MÁXIMO DE PERMANENCIA SE COMPARA LA CANTIDAD DE SUDOR QUE DEBE EVAPORARSE, PARA MANTENER EL EQUILIBRIO TÉRMICO, CON LA CANTIDAD MÁXIMA DE SUDOR QUE PUEDE EVAPORARSE EN EL AMBIENTE EN ESTUDIO

Otra información adicional que proporciona este método es el tiempo que un trabajador puede permanecer en el ambiente considerado, que es un dato muy útil para la planificación de tareas en ambientes calurosos extremos (reparación de hornos o accesos a cámaras climáticas,

por ejemplo). La metodología del índice de sudoración requerida, muy útil para calcular el tiempo máximo de permanencia, ha sido mejorada y en la actualidad se considera más adecuado emplear el sistema del cálculo de la sobrecarga térmica estimada. En él se introducen nuevas consideraciones sobre la forma con que se acumula el calor en el organismo y sobre la temperatura rectal como otro elemento de control del tiempo máximo de permanencia. La exposición detallada del procedimiento de cálculo excede de los límites de este texto, pero está descrito en la norma UNE EN ISO 7933:2005. “Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del estrés térmico mediante el cálculo de la sobrecarga térmica estimada”.

Evaluación del riesgo de estrés térmico por calor

De los muchos métodos que se han propuesto para evaluar las situaciones de agresión intensa por calor (estrés térmico), los basados en el índice WBGT como indicador de la agresividad ambiental, combinando su valor con el de la carga térmica metabólica, son los que han encontrado mayor aceptación tanto por su sencillez como por su eficacia. La norma UNE EN 27243:95 propone los valores máximos del índice WBGT en función de la carga metabólica del individuo que se indican en la tabla.

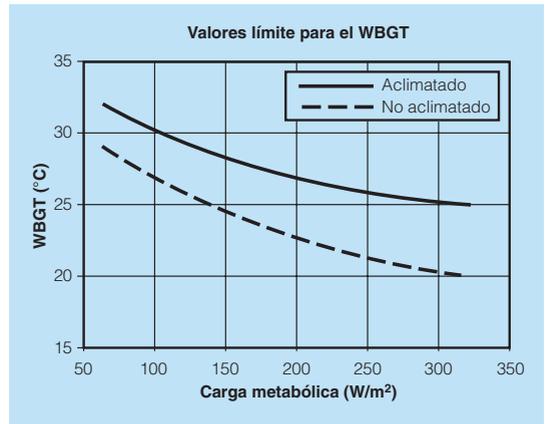
VALORES LÍMITE DEL ÍNDICE WBGT				
Metabolismo, M (W/m ²)	Valor límite del WBGT (°C)			
	Individuo aclimatado al calor		Individuo no aclimatado al calor	
<65	33		32	
65<M<130	30		29	
130<M<200	28		26	
	Sin movimiento del aire	Movimiento del aire perceptible	Sin movimiento del aire	Movimiento del aire perceptible
200<M<260	25	26	22	23
M>260	23	25	18	20

Estos límites son aplicables en el caso de un individuo vestido con ropa ligera, que es la que habitualmente usan los trabajadores cuando desarrollan su tarea en ambientes calurosos, y tiempos de exposición no muy cortos. El concepto de aclimatación al calor se expone más adelante.

Si el individuo no utiliza ropa ligera se puede utilizar una corrección propuesta en el TLV de la ACGIH que consiste en corregir el valor límite con los valores indicados en la tabla.

Cuando el individuo deba utilizar ropa que dificulte la evaporación de sudor, o el tiempo de exposición sea de pocos minutos, se deben utilizar otros métodos de evaluación más precisos.

Si el trabajo no se realiza en condiciones ambientales constantes, o a un ritmo (carga térmica metabólica) uniforme, los valores del índice WBGT y de la carga térmica metabólica deben promediarse. El tiempo máximo en el que este promedio ha de basarse es de una hora; en otras palabras: el límite ha de respetarse dentro de cada hora. De no ser así, sería posible "compensar" largos períodos en condiciones muy agresivas con otros períodos igualmente largos en situación relativamente confortable. Puesto que la respuesta del cuerpo humano no admite estos promedios el límite debe respetarse en cualquier periodo de una hora de la jornada.



CORRECCIÓN DEL VALOR LÍMITE DEL WBGT PARA ROPA	
Tipo de ropa	Corrección WBGT
Ropa de verano	0
Bata de algodón	-2
Ropa de invierno	-4
Protección antihumedad, permeable	-6

Los promedios horarios se calculan con las expresiones:

$$\bar{M} = \frac{\sum M_i \cdot T_i}{\sum T_i}$$

$$\overline{\text{WBGT}} = \frac{\sum \text{WBGT}_i \cdot T_i}{\sum T_i}$$

En ambas expresiones el subíndice i hace referencia al valor de la carga metabólica o del índice WBGT en cada periodo y T a su duración. El valor de $\sum T_i$ debe ser de 1 hora.

Control de los riesgos debidos al calor

Como se deduce de lo expuesto, reducir el riesgo existente en una situación dada puede lograrse bien reduciendo la actividad física del sujeto, bien reduciendo la agresividad ambiental existente, bien actuando sobre ambos factores a la vez; en cada situación concreta deberá analizarse cuál es la contribución al riesgo de cada factor y actuar en consecuencia.

Reducción de la agresividad ambiental

Muchas situaciones de estrés térmico están asociadas a la existencia de focos radiantes de importancia y, por ello, deberá prestarse una atención particular al apantallamiento de los mismos, para evitar que la radiación térmica llegue al trabajador, o deberán aislarse los elementos calientes para reducir la temperatura de la superficie. Hay que tener en cuenta que la emisión de radiación se produce desde las superficies calientes hacia las superficies más frías que se pueden “ver” desde el foco.

PARA PROTEGER A UN TRABAJADOR DE LA RADIACIÓN TÉRMICA SE DEBEN DISPONER PANTALLAS ENTRE LAS SUPERFICIES CALIENTES Y ÉL

La indicación experimental de que el calor radiante es el causante de una situación de estrés térmico la da la comparación de la temperatura de globo con la temperatura del aire. En efecto, analizando la ecuación de la temperatura radiante media expuesta antes, se deduce que cuanto mayor es la diferencia entre ambas mayor es la temperatura radiante media, que es la variable ambiental que condiciona la transferencia de calor por radiación.

SI LA RADIACIÓN ES INTENSA SE OBSERVA QUE LA TEMPERATURA DE GLOBO ES MUY SUPERIOR A LA TEMPERATURA DEL AIRE

Al disponer pantallas hay que prever su enfriamiento, precisamente por recibir la radiación la pantalla se calentará y se convertirá en un foco de radiación, en vez de un elemento de protección. La refrigeración puede conseguirse si la pantalla tiene láminas metálicas en forma de aletas de refrigeración, o cualquier otro dispositivo que aumen-

te la superficie de contacto con el aire de forma que se facilite la evacuación del calor recibido por radiación. También se puede refrigerar con serpentines de agua integrados en la pantalla.

Es conveniente que las pantallas tengan la superficie reflectora de radiaciones, colores claros y acabado brillante, al menos en la superficie que está enfrentada al foco de calor radiante, con ello se minimiza la absorción de calor por la pantalla y se evita su calentamiento. En un entorno industrial no es fácil conseguir este objetivo, las superficies se ensucian y pierden el brillo con rapidez, por ello resulta más práctico pensar en una refrigeración de la pantalla.

La temperatura y la humedad elevadas también pueden ser causas de situaciones de estrés térmico, aunque generalmente se quedan en factores que generan un ambiente muy inconfortable sin llegar a ocasionar situaciones de estrés térmico. En estos casos los sistemas de climatización son la solución. La presunción de que un sistema de climatización de un taller es algo irrealizable no tiene por qué ser cierta en todos los casos. Por una parte los equipos de climatización son cada vez más asequibles y, por otra, no conviene perder de vista que el objetivo es lograr un ambiente que no presente riesgos, por lo que las exigencias de temperatura y humedad son menos rigurosas que en el caso de pretender un ambiente confortable desde el punto de vista termohigrométrico.

Otro procedimiento para reducir la agresividad del ambiente puede ser aumentar la velocidad del aire alrededor del trabajador hasta el límite de lo tolerable. De esta forma se favorece la evaporación del sudor y el intercambio de calor por convección. Pero para que estos efectos sean beneficiosos hace falta, además, que la humedad absoluta sea inferior a 5,6 kPa (en caso contrario no es posible que el sudor se evapore) y que la temperatura del aire sea inferior a 35 °C, ya que si es superior el flujo de calor será desde el aire hacia la piel y no al contrario. Si la temperatura del aire es superior a 35 °C el aumento de la velocidad puede ser contraproducente.

SI LA TEMPERATURA ES INFERIOR A 35 °C Y LA HUMEDAD ABSOLUTA INFERIOR A 5,6 kPa, LAS DUCHAS DE AIRE SON EFICACES PARA REDUCIR EL RIESGO

Una disposición práctica para evitar reducir el riesgo favoreciendo el intercambio térmico lo constituyen las duchas de aire. La forma más simple de ducha de aire es el clásico ventilador dispuesto de forma que lanza un chorro de aire sobre el trabajador. En diseños más sofisticados este chorro puede estar atemperado, con el objetivo de crear un ambiente alrededor del trabajador con condiciones de temperatura y humedad menos agresivas que las existentes en el ambiente general.

En cualquier caso la adopción de medidas tendentes a reducir la agresividad ambiental requiere un análisis detallado de la situación para determinar el efecto individual de cada medida concreta y es recomendable recurrir a un experto que aconseje en la adopción de las medidas para cada caso.

Reducción de la carga metabólica

Pueden también considerarse distintos medios de reducir la actividad física, por ejemplo empleando medios mecánicos para el manejo de piezas, o bien reducir el tiempo de exposición estableciendo una rotación entre distintos puestos, o bien periodos de descanso. Ya se ha indicado que debido a la inmediatez de los efectos de la exposición al calor los periodos de descanso deben ser cortos y frecuentes, es decir: es correcto programar una actividad de forma que se descanse 15 minutos cada hora, pero no 1 hora de cada cuatro, aunque la proporción trabajo/descanso sea la misma.

LOS DESCANSOS PARA RECUPERACIÓN DEBEN SER DE CORTA DURACIÓN Y FRECUENTES

Protección individual

En el caso de exposiciones intensas a calor los equipos de protección individual consisten en vestimentas que aíslan al trabajador del medio. Normalmente tienen su aplicación en el contexto de ofrecer una protección adecuada durante el tiempo necesario para realizar ciertas operaciones de inspección o mantenimiento. Consisten en trajes, o prendas de vestir, aislantes y aluminizados, que en ocasiones son casi herméticos y disponen de algún mecanismo que permite climatizar el interior del traje. Su aplicación debe realizarse bajo la supervisión de un experto

ES NECESARIA LA SUPERVISIÓN DE UN EXPERTO DURANTE EL USO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE AL CALOR

que decida sobre la protección real que ofrece el equipo frente al ambiente, así como sobre el tiempo que puede ser usado y la duración y frecuencia de los periodos de descanso. Hay que tener presente que el equipo aísla del ambiente, y ello es un factor de protección, pero al mismo tiempo dificulta la eliminación del calor generado por el metabolismo, lo cual es un factor de riesgo.

No se deben confundir los equipos de protección contra ambientes térmicamente agresivos con los destinados a proteger de quemaduras por contacto con objetos calientes, los que protegen contra proyecciones de partículas candentes o los de protección de los ojos contra radiaciones.

Aclimatación al calor

Por otra parte es muy importante tener en cuenta que las

exposiciones próximas a los límites máximos señalados, basados en índices simples como el WBGT o similares, no son admisibles para cualquier trabajador sin más. Las personas que se exponen a tales situaciones han de ser sometidas a un reconocimiento médico previo exhaustivo, que garantice su perfecto estado de salud, especialmente en lo que hace referencia a su sistema cardiocirculatorio; el control médico debe, además, realizarse con frecuencia, para garantizar que la aptitud inicial se mantiene en el tiempo. De manera general puede decirse que las exposiciones límite sólo son admisibles en trabajadores aclimatados y controlados médicamente

Así pues, suponiendo que se cumple lo anterior, la exposición debe ir precedida de un período de aclimatación. La aclimatación es un fenómeno fisiológico de origen mal conocido en virtud del cual los individuos, sometidos a una situación de estrés térmico intenso, mejoran la calidad de su respuesta fisiológica frente a la agresión que reciben. Así, por ejemplo, un individuo aclimatado es capaz de soportar una situación dada con menor ritmo cardíaco que antes de aclimatarse y, al mismo tiempo, reduce también la concentración salina del sudor. La aclimatación se logra en un periodo breve (una semana aproximadamente) pero se pierde también con rapidez, hecho que debe tenerse en cuenta tras una ausencia prolongada del trabajo cualquiera que sea su causa. Para lograr la aclimatación se recomienda ir incrementando paulatinamente la duración de la exposición hasta alcanzar, en su caso, la totalidad de la jornada laboral.

Habida cuenta de que los trabajadores expuestos a ambientes térmicos agresivos sudan con gran intensidad, es necesario estimular la reposición del agua perdida poniendo a su disposición agua abundante no demasiado fría, de manera que puedan beberla con frecuencia. Es recomendable que el agua sea ligeramente salada (1 g de sal por litro) a menos que los trabajadores estén bien aclimatados y, de motu proprio, sazonen abundantemente su comida.

LA ACLIMATACIÓN AL CALOR SE CONSIGUE EN POCO TIEMPO, PERO TAMBIÉN SE PIERDE CON FACILIDAD

LOS TRABAJADORES DEBEN TENER FACILIDAD PARA REPONER LAS PÉRDIDAS DE AGUA QUE IMPLICA LA SUDORACIÓN

CONFORT TÉRMICO

Por confort térmico se entiende una situación en la que el sujeto no experimenta ninguna sensación térmica, en otras palabras, no experimenta sensación de calor ni de frío. Se trata, por tanto, de evaluar sensaciones, con la carga subjetiva que ello comporta, y, por tanto, no es de extrañar que entre las herra-

mientas de estudio y análisis se incluyan las encuestas. También estos componentes subjetivos implican que los resultados siempre tendrán la forma de definición de situaciones en las que un porcentaje más o menos elevado de individuos consideran que es confortable, con la consecuencia, asumida desde el principio, de que es imposible alcanzar la unanimidad entre todo un colectivo respecto a la confortabilidad de una situación.

Aplicación de la ecuación del balance térmico al estudio del confort

También para el estudio de estas situaciones es necesario recurrir al uso de la ecuación del balance térmico del individuo con el medio ambiente, si bien las ecuaciones son ligeramente distintas a las utilizadas cuando se estudian situaciones de estrés térmico.

En primer lugar, el confort térmico vendrá dado no sólo porque se verifique el intercambio térmico equilibrado, además, será necesario que esa condición se alcance sin necesidad de un esfuerzo excesivo para los mecanismos de regulación. Por ejemplo, no será confortable una situación en la que se requiera una gran sudoración para mantener el balance, ni tampoco una situación en la que haga falta ir muy abrigado o desarrollar una actividad muy elevada para no enfriarse; en otras palabras: para que una situación ambiental dada pueda ser calificada de confortable es preciso que los intercambios térmicos entre los individuos y el ambiente no sean de gran magnitud.

En esas condiciones, la ecuación del balance térmico se complica, ya que debe incluir términos que en las situaciones de exposición a calor son de magnitud despreciable, por ejemplo, los términos que cuantifican el intercambio de calor debido a la respiración. Otra complicación aparece al tener que cuantificar de forma precisa elementos que en situaciones de estrés térmico pueden ser simplificados, como por ejemplo la resistencia térmica o la permeabilidad del vestido.

Respuesta subjetiva al calor

La sensación térmica producida por un ambiente se evalúa mediante una escala de 7 puntos que se indica en la tabla.

Calificación del ambiente	Muy caluroso	Caluroso	Ligeramente caluroso	Neutro	Ligeramente frío	Frío	Muy frío
Puntuación	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

Realizando una encuesta sobre un número grande de personas se puede obtener el voto medio estimado (PMV, del inglés: *predicted mean vote*), que será el valor medio de las puntuaciones otorgadas por cada individuo al ambiente considerado.

La norma internacional UNE-EN ISO 7730: 2006 propone una fórmula para el cálculo del índice PMV a partir de los valores de la actividad metabólica de los individuos, la resistencia térmica de la ropa que utilizan y los valores de la temperatura, velocidad y humedad del aire y de la temperatura radiante media; en definitiva, es posible estimar, a partir de datos ambientales, cuál será la opinión media de un grupo de individuos en lo que respecta a la sensación de confort térmico.

La exposición del procedimiento detallado de estimación del PMV excede de los límites de este texto, pero el lector interesado puede recurrir a la bibliografía especializada.

De forma global se pueden citar las condiciones ambientales que delimitan la zona de confort, es decir, los límites fuera de los cuales es imposible que se den sensaciones térmicas confortables. Estos límites son:

- Carga metabólica entre 46 y 232 W/m² (Actividad desde reposo hasta moderada).
- Aislamiento del vestido inferior a 0,310 m² °C/W (Ropa interior completa y traje de invierno como máximo).
- Temperatura del aire entre 10 y 30°C.
- Temperatura radiante media entre 10 y 40°C.
- Velocidad del aire inferior a 1 m/s. (Si la actividad es sedentaria, una velocidad dentro de este rango puede ser molesta).
- Presión parcial del vapor de agua inferior a 2,7 kPa.
- Humedad relativa entre el 30% y 70% .

Debe quedar claro que el respeto de estos límites es condición necesaria pero no suficiente para que la sensación sea de confort térmico.

Como ya se ha indicado, no es posible alcanzar la unanimidad en el grupo. Si el valor del PMV es nulo, significa que la

PMV	Proporción de individuos que puntúan con			
	0	-1, ó +1	-2, +2	-3, +3
-2	5	20	45	30
-1	27	48	20	5
0	55	40	5	0
+1	27	48	20	5
+2	5	20	45	30

PMV	PPD
-2	75
-1	25
0	5
+1	25
+2	75

media de las puntuaciones obtenidas será nula, pero algunos individuos experimentarán una sensación de ambiente caluroso y otros, de ambiente frío. La significación real del valor del índice PMV puede comprenderse mejor observando las tablas en las que se indica, para un PMV dado, la distribución prevista de puntuaciones y el llamado porcentaje previsto de insatisfechos (PPD, del inglés: *predicted percentage dissatisfied*), es decir, la proporción de individuos que consideran una situación como muy calurosa, calurosa, fría o muy fría (valores +3, +2, -2, -3 de la escala de valoración).

Nótese, por ejemplo, que, cuando la valoración media es neutra (PMV = 0), sólo el 55% de los individuos consideran que el ambiente sea neutro, un 40% tiene la sensación de que es ligeramente caluroso o ligeramente frío (+1, y -1) y el 5% restante tienen una sensación clara de frío o calor (+2, y -2). Incluso una situación claramente calurosa en promedio (PMV = +2) es considerada neutra por el 5% de los individuos, sólo ligeramente calurosa por un 20% adicional, calurosa por el 45% y muy calurosa por el 30% restante.

Condiciones termohigrométricas reglamentarias

El Artículo 7 y el Anexo III del RD 486/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo establecen las condiciones mínimas ambientales que deben reunir los lugares de trabajo. Como principio general se establece que el ambiente de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores y, en la medida de lo posible, se debe evitar que constituyan una fuente de incomodidad o molestia.

Establece asimismo unas condiciones concretas que deberán cumplirse en los locales de trabajo cerrados, si bien en su aplicación deberán tenerse en cuenta las limitaciones que puedan imponer en cada caso las características del lugar de trabajo, los procesos que se desarrollen en él y el clima de la zona. De todas formas, el Anexo III del citado real decreto establece que en los locales de descanso, los de personal de guardia, los servicios higiénicos, los comedores y los locales de primeros auxilios deberán cumplir esas condiciones en todo caso.

Las condiciones establecidas son:

Temperatura: entre 17 °C y 27 °C si se realizan trabajos sedentarios o entre 14 °C y 25 °C si son trabajos ligeros.

Humedad relativa: entre 30% y 70%, excepto si hay riesgo por electricidad estática en cuyo caso el límite inferior será 50%

Velocidad del aire: inferior a 0,25 m/s en ambientes no calurosos; inferior a 0,5 m/s en trabajos sedentarios en ambientes

calurosos; inferior a 0,75 m/s en trabajos no sedentarios en ambientes calurosos. Se exceptúan las corrientes de aire expresamente diseñadas para evitar el estrés térmico en situaciones de exposición intensa al calor. Para los sistemas de aire acondicionado los límites son 0,25 m/s en trabajos sedentarios y de 0,35 m/s en los demás casos.

EXPOSICIÓN A FRÍO

En los trabajos que deben desarrollarse en condiciones extremas de frío, naturales o artificiales, normalmente los trabajadores conocen o reciben formación sobre los riesgos de su tarea, de forma que toman las debidas precauciones y van adecuadamente protegidos con vestimenta de abrigo.

La exposición al frío puede ser también debida al trabajo en determinados ambientes industriales en los que, por razones técnicas, la temperatura ha de mantenerse muy baja, en ocasiones hasta 50 °C bajo cero.

La exposición al frío intenso, aun por periodos breves, puede producir congelación. La congelación se localiza preferentemente en la periferia del cuerpo, siendo las zonas más afectadas las mejillas, nariz y orejas, ya que el rostro no suele cubrirse. Los dedos de las manos y los pies también pueden sufrir congelación.

Sentir dolor en las extremidades es el primer síntoma de peligro ante el estrés por frío. Otro síntoma externo indicativo de una exposición peligrosa a frío es la tiritera, que alcanza el máximo cuando la temperatura interna del cuerpo baja a 35 °C. La tiritera es un mecanismo de defensa del organismo para generar el calor necesario que compense la pérdida de calor hacia el ambiente. La aparición de tiritones debe ser considerada como una señal de peligro inminente y tiene que cesar la exposición a frío de forma inmediata cuando se observa que un trabajador comienza a tiritar.

Otra forma de lesión local por frío es el pie de trinchera, proceso originado por la exposición crónica al frío, sobre todo por la inmersión prolongada en agua fría, y que se va agravando por el empleo de calzado ajustado.

La más grave consecuencia de la exposición al frío es la hipotermia, que consiste en una pérdida del calor corporal. La disminución de la temperatura cerebral produce confusión, segui-

COMO EN EL CASO DE LA EXPOSICIÓN AL CALOR, LOS EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN AL FRÍO SON INMEDIATOS, Y LOS TRABAJADORES DEBEN ESTAR ENTRENADOS PARA IDENTIFICAR LOS SÍNTOMAS DE UNA EXPOSICIÓN EXCESIVA A FRÍO

da de descoordinación, incapacidad para mantener el ritmo de trabajo y aletargamiento. En casos extremos, pero raros, puede sobrevenir la muerte.

Evaluación del riesgo de estrés por frío

En situaciones normales los riesgos debidos a la exposición a ambientes fríos pueden evitarse mediante una combinación de actividad metabólica, es decir, de generación de calor por el organismo, y de aislamiento para evitar la pérdida de calor.

La evaluación debe enfocarse desde el punto de vista de analizar la posibilidad de un enfriamiento general del cuerpo, y de analizar la posibilidad de que se produzcan efectos locales debidos al enfriamiento de zonas de la piel no protegidas o poco protegidas.

Índice IREQ (Aislamiento requerido de la vestimenta)

Este índice, descrito en la norma UNE ENV ISO 11079:98, no es fácil de calcular; no obstante, el procedimiento de cálculo detallado puede encontrarse en la propia norma o en la bibliografía especializada.

Sirve para evaluar el riesgo por enfriamiento general del cuerpo. Se basa en cuantificar el aislamiento térmico que debe proporcionar la vestimenta para evitar una pérdida neta de calor del cuerpo que tendría como consecuencia el enfriamiento general. Los datos de partida son las medidas ambientales de temperatura, velocidad del aire, humedad y radiación, y la estimación de la carga metabólica.

Aun en el caso de que el aislamiento de la ropa sea correcto,

TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO (°C)											
Velocidad del viento (m/s)	Temperatura del aire (°C)										
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
1,8	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
2	-1	-6	-11	-16	-21	-27	-32	-37	-42	-47	-52
3	-4	-10	-15	-21	-27	-32	-38	-44	-49	-55	-60
5	-9	-15	-21	-28	-34	-40	-47	-53	-59	-66	-72
8	-13	-20	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	-83
11	-16	-23	-31	-38	-46	-53	-60	-68	-75	-83	-90
15	-18	-26	-34	-42	-49	-57	-65	-73	-80	-88	-96
20	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68	-76	-84	-92	-100

es necesario prestar atención a la protección de manos, pies y cara, ya que son superficies muy expuestas y podrían aparecer efectos locales de congelación.

Índice WCI (Índice de enfriamiento por el viento)

Este índice está diseñado para evaluar el efecto local de enfriamiento, teniendo en cuenta la temperatura del aire y la velocidad del viento. Está pensado para ser usado en la evaluación de ambientes exteriores y se supone que la persona expuesta utiliza una ropa de abrigo adecuada.

Una interpretación práctica del WCI es la temperatura de enfriamiento, que se define como la temperatura ambiente que en condiciones de calma (1,8 m/s) produce el mismo enfriamiento de las superficies expuestas de la piel que las condiciones ambientales reales. Los valores de la temperatura de enfriamiento se indican en la tabla. También se indican los efectos de la temperatura de enfriamiento en las partes del cuerpo descubiertas.

EFECTOS DE LA TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO	
Temperatura de enfriamiento (°C)	Efectos
-14	Sensación de frío intenso
-22	Sensación de frío muy intenso
-30 -38	Las partes del cuerpo descubiertas se congelan en un intervalo de una hora
-45 -53	Las partes del cuerpo descubiertas se congelan en un intervalo de un minuto
-61 -69	Las partes del cuerpo descubiertas se congelan en un intervalo de 30 segundos

Dado que, en la mayor parte de los casos, no es posible modificar las condiciones ambientales, las medidas preventivas deben orientarse hacia la protección, la formación y la ergonomía.

Esencialmente la protección debe basarse en el empleo de ropas adecuadas, en cuya selección deben tenerse en cuenta tres factores importantes: que el frío suele ir acompañado de viento y humedad; que el trabajo está indisolublemente unido a la producción de calor, y que las ropas voluminosas dificultan el movimiento.

La formación en el empleo adecuado de la ropa, en la toma de conciencia de que

Protección frente al frío

LA PROTECCIÓN FRENTE AL FRÍO SE FUNDAMENTA EN EL USO DE ROPA DE ABRIGO Y EN LA PROGRAMACIÓN DE PAUSAS EN EL TRABAJO PARA RECUPERAR EL CALOR PERDIDO

el frío entraña riesgos y en la detección de los síntomas y signos de la exposición y congelación precoces, así como en la realización de la tarea, son requerimientos esenciales para que el trabajo se desarrolle en condiciones seguras.

La ergonomía del trabajo en ambiente frío debe incluir un diseño adecuado de las máquinas, poniendo atención al tamaño y separación de los mandos, al aislamiento térmico de las partes metálicas a manipular y a la eliminación de bordes cortantes.

También es importante evitar las tareas de mera vigilancia y aumentar el esfuerzo en los trabajos ligeros.

Si se tiene que realizar un trabajo que requiera destreza manual por debajo de 16°C es necesario adoptar medidas que mantengan las manos calientes (chorros de aire caliente, aparatos de calefacción por radiación o placas de contacto calientes). Hay que evitar el contacto de la piel con superficies que estén a temperaturas inferiores a - 7°C; para ello se deben utilizar guantes o manoplas.

En la tabla se indica un plan de trabajo/calentamiento para una jornada de cuatro horas propuesto por la ACGIH en los TLV. En la preparación de esta tabla se ha supuesto que los trabajadores desarrollan una actividad entre moderada y fuerte, que están protegidos contra el frío con la vestimenta adecuada que

TLVs PARA EL PLAN DE TRABAJO/CALENTAMIENTO PARA UN TURNO DE CUATRO HORAS

Temperatura del aire Cielo despejado °C (aprox.)	Sin viento apreciable		Viento de 8 Km/h		Viento de 16 Km/h		Viento de 25 Km/h		Viento de 32 Km/h	
	Periodo de trabajo máximo	N*								
De -26° a -28°	(interr. normales)	1	(interr. normales)	1	75 minutos	2	55 minutos	3	40 minutos	4
De -29° a -31°	(interr. normales)	1	75 minutos	2	55 minutos	3	40 minutos	4	30 minutos	5
De -32° a -34°	75 minutos	2	55 minutos	3	40 minutos	4	30 minutos	5	E**	↓
De -35° a -37°	55 minutos	3	40 minutos	4	30 minutos	5	E**	↓		
De -38° a -39°	40 minutos	4	30 minutos	5	E**	↓	↓		↓	
De -40° a -42°	30 minutos	5	E**	↓	↓			↓		↓
De -43° e inferior	E**	↓	↓			↓	↓		↓	

N* = Número de interrupciones de 10 minutos en lugar templado.

E** = El trabajo que no sea de emergencia, deberá cesar.

Nota: Se supone una actividad entre moderada y fuerte. Para trabajo entre ligero y moderado, aplicar el plan en un escalón inferior.

se mantiene seca, y que disponen de un lugar caldeado en el que pueden permanecer durante los periodos de descanso, que se fijan de 10 minutos. Si el trabajo es entre ligero y moderado, se debe aplicar un escalón inferior del plan.

Por ejemplo, un trabajo de tala de árboles con motosierra, realizado un día en que la temperatura es de $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el viento tiene una velocidad de 16 km/h deberá programarse de forma que los periodos máximos de trabajo sean de 40 minutos, separados por un periodo de 10 minutos en un lugar caldeado para la recuperación de calor. En la jornada de 4 horas habrá por tanto 5 periodos de trabajo de 40 minutos cada uno (200 minutos) y cuatro periodos de 10 minutos de recuperación (40 minutos).

Se considera que en trabajos en exteriores en condiciones de frío intenso, el tiempo de exposición no debe exceder de 4 horas diarias.

Radiaciones no ionizantes

9

NATURALEZA DE LAS RADIACIONES. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Las radiaciones electromagnéticas son una forma particular de propagación de energía que tiene su origen en cambios del nivel energético a nivel atómico o molecular. Todos los cuerpos emiten y absorben radiaciones, es decir, las radiaciones son capaces de interactuar con la materia.

Una radiación electromagnética está asociada a un campo electromagnético, que a su vez se origina cuando una carga eléctrica o magnética es variable. Una carga eléctrica fija tiene asociado un campo eléctrico estático, y un imán fijo tiene asociado un campo magnético estático, pero si una carga eléctrica o un imán se mueven, la consecuencia es que además de que el campo asociado a la carga o el imán se mueva, aparece un campo del otro tipo; en otras palabras: no puede existir un campo eléctrico variable sin que exista asociado a él un campo magnético variable y viceversa. Al conjunto se le llama campo electromagnético y una de sus propiedades es la capacidad de transportar energía sin necesidad de un soporte material.

Este parecido físico en su origen es la justificación para incluir los efectos y los límites de exposición de los campos eléctricos y magnéticos estáticos junto con las radiaciones electromagnéticas, pero un campo estático no tiene asociada ninguna radiación, es decir, no implica una propagación de energía. Podría decirse que se trata de una radiación electromagnética de frecuencia 0.

LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA ES UNA FORMA DE PROPAGACIÓN DE ENERGÍA

UNA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA ESTÁ ASOCIADA A UN CAMPO ELECTROMAGNÉTICO. UN CAMPO ELÉCTRICO O MAGNÉTICO VARIABLE SIEMPRE TIENE ASOCIADO UN CAMPO DEL OTRO TIPO, LA COMBINACIÓN DE AMBOS CONSTITUYE EL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

PUEDEN EXISTIR CAMPOS ELÉCTRICOS
Y MAGNÉTICOS ESTÁTICOS
E INDEPENDIENTES, PERO NO TIENEN
RADIACIÓN ASOCIADA A ELLOS

Las radiaciones electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y su intensidad. Todas las radiaciones electromagnéticas tienen una energía intrínseca, que es la energía del fotón, proporcional a su frecuencia.

La energía de un fotón viene dada por:

$$Q = h \cdot f$$

siendo

Q: la energía del fotón (J).

h: la Constante de Planck = $6,63 \cdot 10^{-34}$ (J·s).

f: la frecuencia de la radiación (Hz).

La energía del fotón es un factor de riesgo importante, ya que de él dependerá su capacidad de alterar la materia, o sea, el tipo de efecto que puede ocasionar cuando interaccione con ella. Se

trata por tanto de un aspecto cualitativo. Las radiaciones más energéticas, las de mayor frecuencia, pueden ocasionar la fragmentación de los átomos (ionización). En este caso se habla de radiaciones ionizantes, que serán tratadas en el capítulo siguiente. Este capítulo está dedica-

LA ENERGÍA INTRÍNSECA DE UNA
RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA
ES PROPORCIONAL A LA FRECUENCIA
DE LA RADIACIÓN

do a las radiaciones no ionizantes (RNI), es decir, las que no tienen suficiente energía para ionizar la materia, y a los campos eléctricos y magnéticos estáticos.

Para ionizar un átomo se precisa una energía superior a $2 \cdot 10^{-18}$ J. Para que un fotón tenga esta energía, su frecuencia debe ser superior a $3 \cdot 10^{15}$ Hz (3 PHz).

Las radiaciones de alta frecuencia se suelen identificar por su longitud de onda, que es el cociente entre la velocidad de propagación (300.000.000 m/s) y la frecuencia. De esta forma resultan números más fáciles de manejar.

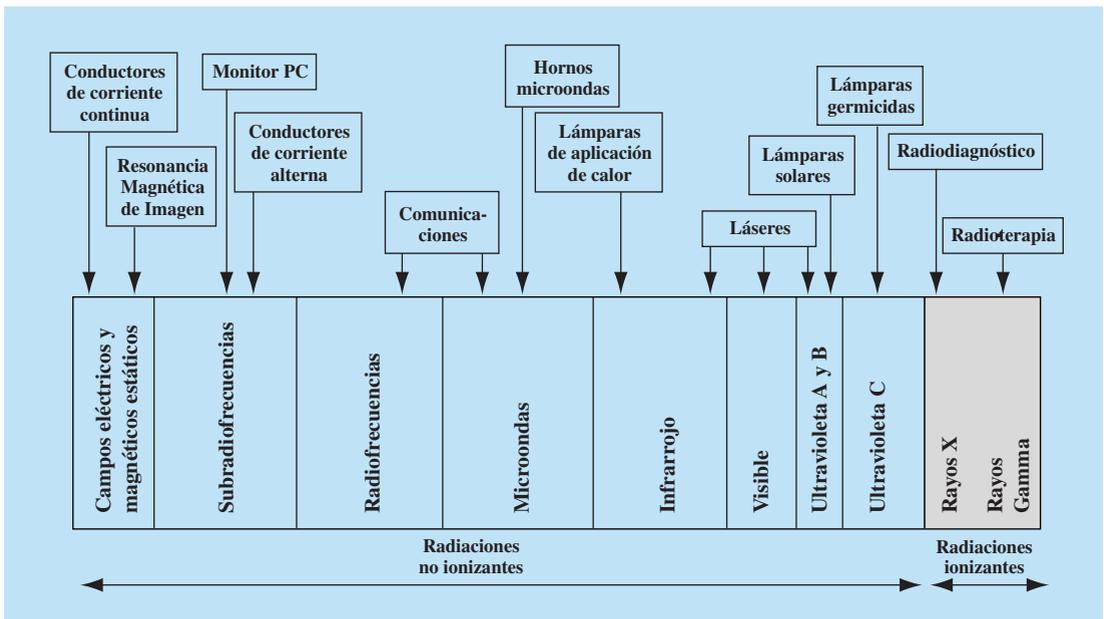
$$\lambda \text{ (m)} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{f \text{ (Hz)}}$$

La longitud de onda de una radiación de 3 PHz es de 10^{-7} m, es decir, 100 nm, que se establece como el límite inferior de longitud de onda de la radiación ultravioleta.

Así pues, el espectro de radiaciones no ionizantes comprende desde las radiaciones de extremadamente baja frecuencia (Radiaciones ELF) hasta las radiaciones ultravioleta de 100 nm de longitud de onda (3 PHz), aunque en la práctica, para la valoración de la radiación ultravioleta no se considera la franja

entre 100 y 180 nm (1,66 PHz), como se verá más adelante en lo relativo a valores límite de exposición. Este rango tan amplio de frecuencias se divide en bandas, cada una de las cuales recibe un nombre. En orden decreciente de frecuencia, o sea de mayor a menor energía del fotón, se habla de radiaciones ultravioleta (UV), visible (Vis), infrarroja (IR), microondas, radiofrecuencia y radiaciones ELF. Las separaciones entre las diferentes bandas no obedecen a ningún criterio ni propiedad física definida, son simplemente divisiones arbitrarias que sirven para establecer una clasificación según el tipo de efecto biológico que puede producir la radiación, o según sus aplicaciones técnicas.

REGIONES ESPECTRALES DE LA RNI		
Región espectral	Longitud de onda	Frecuencia
Ultravioleta	180 a 400 nm	750 THz a 1.660 THz
Visible	400 a 770 nm	400 THz a 750 THz
Infrarrojo	770 nm a 1 mm	300 GHz a 400 THz
Microondas	1 mm a 1 m	300 MHz a 300 GHz
Radiofrecuencia	1 m a 100 km	3 kHz a 300 Mhz
Radiaciones ELF	100 km a 100 000 km	3 Hz a 3 kHz



LA RADIACIÓN LÁSER ES UNA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA BANDA ÓPTICA (UV, Vis, IR) QUE NO SE DISPERSA, Y POR ELLO TIENE PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

Las tres primeras bandas (UV, Vis e IR) también se agrupan bajo el nombre de radiaciones ópticas, debido a que se comportan de acuerdo con las leyes físicas de la óptica geométrica.

La radiación láser es una forma particular de radiación óptica que no se dispersa al propagarse. Sus efectos son cualitativamente los que corresponden a su longitud de onda, pero su característica no dispersiva implica que la magnitud de los riesgos es distinta, y su evaluación necesita consideraciones particularizadas.

MAGNITUDES Y UNIDADES DE MEDIDA DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES

El aspecto cuantitativo de las radiaciones electromagnéticas está determinado por la intensidad de la radiación, que normalmente se indica mediante la densidad de potencia de la radiación o irradiancia (E), que es el flujo de energía por unidad de tiempo y de superficie que transporta la radiación.

EL TIPO DE EFECTO QUE OCASIONAN LAS RADIACIONES VIENE DETERMINADO POR SU FRECUENCIA, Y LA MAGNITUD DEL EFECTO, POR LA DENSIDAD DE POTENCIA DE LA RADIACIÓN

Es importante tener presente que para las radiaciones no ionizantes existe un umbral de intensidad por debajo del cual no aparecen efectos perjudiciales en la mayoría de las personas expuestas a esa

intensidad de radiación; en otras palabras, es posible definir valores límite de exposición en el sentido habitual del término.

Para la cuantificación de las radiaciones se utilizan dos sistemas de unidades, el radiométrico y el fotométrico. El sistema radiométrico es un sistema estrictamente físico, mientras que el fotométrico es un subconjunto del anterior que se utiliza exclusivamente para la radiación visible y que tiene en cuenta la sensibilidad del ojo humano.

PARA LA MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN CON FINES DE EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD SE UTILIZA EL SISTEMA DE UNIDADES RADIOMÉTRICO QUE ES UN SISTEMA Estrictamente FÍSICO

El sistema radiométrico de unidades es el más utilizado con fines de evaluación de riesgos por exposición a radiaciones, mientras que el fotométrico se usa en el

campo del confort para establecer límites o especificaciones de iluminación y, en algunos casos, para la evaluación de riesgos debidos a la radiación visible.

La conversión de magnitudes entre ambos sistemas sólo es posible si se conoce el espectro de la radiación, ya que para rea-

lizar la conversión se debe multiplicar el valor radiométrico en cada frecuencia del rango por la sensibilidad del ojo a esa frecuencia.

Es la energía emitida, transferida o recibida en forma de radiación. Se suele identificar con el símbolo Q y su unidad es el joule (J).

Energía radiante

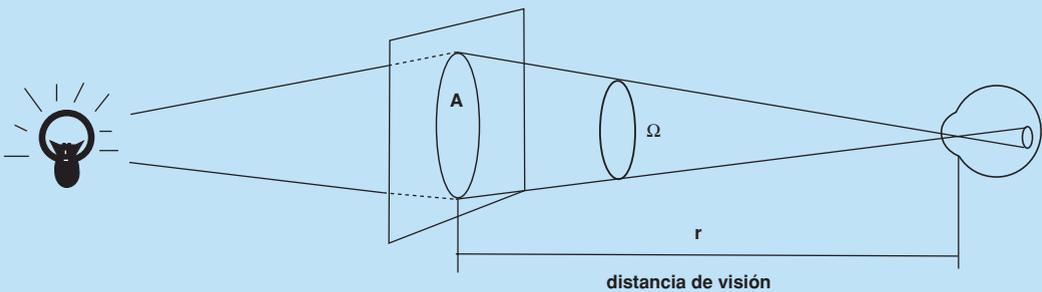
Es la cantidad total de energía radiante emitida por una fuente, transferida por una radiación, o que incide en una superficie en la unidad de tiempo. Se identifica con el símbolo P y su unidad es el watt (W). El equivalente fotométrico de esta magnitud se llama flujo luminoso y su unidad es el lumen (lm). El lumen es la cantidad de potencia radiante en la banda visible ponderada con la sensibilidad del ojo humano.

Flujo o potencia radiante

Es el flujo radiante emitido por una fuente puntual de radiación por unidad de ángulo sólido (medido en estereorradián, sr) en una dirección determinada. Se identifica con el símbolo I , y su unidad es el W/sr. Para su medida hay que conocer el ángulo sólido subtendido por la fuente sobre el detector. Se usa para cuantificar la distribución espacial del flujo radiante emitido por una fuente, y si I es constante, se dice que la fuente es isotrópica. Su equivalente fotométrico se llama intensidad luminosa, cuya unidad es la candela (cd) que equivale a un flujo de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián (lm/sr). La candela es la unidad fundamental del sistema fotométrico, es decir, se define como un patrón primario y las demás unidades se derivan de esta definición.

Intensidad radiante

ÁNGULO SÓLIDO SUBTENDIDO POR LA FUENTE SOBRE EL DETECTOR (Ω)



Irradiancia Es el flujo radiante que incide sobre la unidad de superficie. Es común identificarla con el símbolo E y su unidad es el W/m^2 . En el caso de las radiaciones no ópticas recibe el nombre de densidad de potencia de la radiación, tiene las mismas unidades, pero se identifica con el símbolo S . Es la magnitud más utilizada para cuantificar el riesgo asociado a una radiación. El equivalente fotométrico se llama iluminancia y su unidad es el lux (lx), que equivale al lm/m^2 .

Es la magnitud que habitualmente se mide para evaluar una exposición; para ello se utilizan instrumentos de medida llamados radiómetros o, en el caso de medidas fotométricas, fotómetros.

LA IRRADIANCIA, O DENSIDAD DE POTENCIA, ES LA MAGNITUD MÁS UTILIZADA PARA EVALUAR LA EXPOSICIÓN A RADIACIONES

Normalmente los radiómetros sensibles a las radiaciones ópticas están equipados con un sistema óptico de entrada que integra el flujo radiante que llega a la superficie del sensor desde todas las direcciones del espacio siguiendo la llamada "ley del coseno", por ello la lectura depende del ángulo de incidencia de la radiación.

Los radiómetros también pueden disponer de filtros de ponderación para obtener resultados aplicables a una intención particular, como la medida de la irradiancia total ponderada según la agresividad de la frecuencia de la radiación, o medidas de la radiancia de una fuente.

Los radiómetros también pueden disponer de filtros de ponderación para obtener resultados aplicables a una intención particular, como la medida de la irradiancia total ponderada según la agresividad de la frecuencia de la radiación, o medidas de la radiancia de una fuente.

Al realizar cualquier medición, de cualquier clase de radiación, es imperativo seguir un protocolo, en el que se especifiquen las condiciones de la medición (situación del sensor respecto a la fuente de radiación y a la superficie irradiada, duración de la medida, tipo de integración espacial y temporal, etc.), a fin de que los resultados obtenidos tengan un significado concreto y puedan ser comparados con valores límite o con especificaciones.

Exitancia o emitancia radiante Es el flujo radiante que emite una fuente por unidad de superficie; es común identificarla con el símbolo M y su unidad es el W/m^2 . Sólo se aplica a las radiaciones ópticas. La diferencia con la irradiancia es que se trata de una radiación emitida, no recibida. En el sistema fotométrico recibe el mismo nombre y su unidad es el lm/m^2 .

Radiancia Se aplica a fuentes de energía radiante óptica extensas. Es el flujo radiante que se emite por la unidad de superficie de la fuente en la unidad de ángulo sólido en una dirección dada. Es común identificarla con el símbolo L y su unidad es el $W/(m^2 \cdot sr)$. Su equivalente fotométrico se llama luminancia o brillo

fotométrico y su unidad es el $\text{lm}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$ o cd/m^2 .

También se puede aplicar a la superficie irradiada, en cuyo caso es el flujo radiante que llega a la unidad de superficie en la unidad de ángulo sólido en una dirección dada.

Esta magnitud es la que mejor cuantifica las sensaciones o el riesgo que puede causar una radiación óptica en el ojo humano, en particular en la retina, ya que, debido al ángulo sólido de visión del ojo, que es relativamente pequeño, la cantidad de energía que puede llegar a la retina dependerá en gran manera de la dirección de incidencia. Por supuesto, esta consideración sólo tiene sentido para aquellas radiaciones que puedan llegar a la retina porque el sistema óptico del ojo sea transparente a ellas (entre 400 y 1.400 nm). De hecho el ojo humano es un detector de luminancia y la sensación visual se debe a las diferencias de luminancia de los objetos en el campo visual.

PARA EVALUAR EL RIESGO DE LAS RADIACIONES QUE PUEDEN ALCANZAR LA RETINA SE UTILIZA LA RADIANCIA COMO MAGNITUD SIGNIFICATIVA

Es la cantidad de energía radiante incidente en una superficie. Es común identificarla con el símbolo H y su unidad es el J/m^2 . Si el flujo radiante es constante en el tiempo, la exposición radiante será simplemente el producto del flujo por el tiempo de irradiación expresado en segundos. Si el flujo no es constante se deberá calcular, o medir, el promedio temporal del flujo radiante por el tiempo de irradiación.

Exposición radiante

En un punto alejado de la fuente de radiación (campo lejano o zona de Fraunhofer) los campos eléctrico y magnético que constituyen la radiación son perpendiculares entre sí y a su vez perpendiculares a la dirección de propagación y se cumplen relaciones sencillas entre las intensidades de cada uno de ellos y la densidad de potencia de la radiación.

$$S = \frac{E^2}{120 \cdot \pi} = H^2 \cdot 120 \cdot \pi$$

siendo

S : la densidad de potencia (W/m^2).

E : la intensidad del campo eléctrico (V/m).

H : la intensidad del campo magnético (A/m).

120π : es la impedancia espacial del aire (ohm).

Esta relación indica que en el campo lejano es suficiente conocer la intensidad de uno de los campos para caracterizar completamente una radiación.

Intensidad de campo electromagnético

La relación es general para cualquier radiación electromagnética, pero en la práctica sólo se hace uso de ella en el caso de las radiaciones no ópticas, debido a la disponibilidad de los instrumentos de medición. Para radiaciones de frecuencia superior a 100 MHz (microondas y radiaciones ópticas) los sensores de los radiómetros dan una respuesta proporcional al valor de la densidad de potencia, mientras que a frecuencias inferiores los radiómetros se basan en la medida de la intensidad de campo eléctrico o magnético, si bien el resultado se puede presentar directamente en unidades de densidad de potencia.

Hay que prestar atención al uso del símbolo E, que se utiliza para indicar la irradiancia de las radiaciones ópticas y también la intensidad del campo eléctrico.

La distancia a la fuente a la que puede considerarse que ya se ha desarrollado el campo lejano es la longitud de onda de la radiación. Esta condición se cumple fácilmente para radiaciones de microondas y frecuencias superiores (<1 m). Para las radiofrecuencias y radiaciones ELF no siempre se puede cumplir esta condición, en cuyo caso se deben medir las intensidades de campo eléctrico y magnético por separado y utilizar ambos valores para caracterizar la radiación.

EFFECTOS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES

La acción de las radiaciones sobre el organismo humano ocasiona un efecto distinto según sea la frecuencia de la radiación. Las radiaciones de frecuencia extremadamente baja (Radiación ELF) inducen corrientes eléctricas en el interior del organismo que pueden alterar la circulación de iones o provocar una estimulación directa de las células musculares y nerviosas. Las radiaciones de la banda de radiofrecuencias y microondas pueden ocasionar un calentamiento de la materia, debido a que la energía de la radiación se absorbe por las moléculas aumentando la cantidad de movimiento de las partículas atómicas, o sea, aumentando su temperatura. Las radiaciones visibles y ultravioletas, además de los efectos térmicos, pueden inducir reacciones químicas. En la tabla se muestra un resumen del tipo de interacción con la materia de las RNI.

La magnitud del efecto y su localización depende de la facilidad con que las radiaciones puedan ser absorbidas, lo cual a su vez es función de la frecuencia de la radiación. Las radiaciones de menor frecuencia afectan al organismo en su conjunto, o a moléculas situadas en cualquier punto del organismo en función de la capacidad de absorción de la energía de cada estructura molecular. Las radiaciones ópticas son absorbidas más fácilmen-

INTERACCIÓN DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES CON LA MATERIA

Región espectral	Interacción con la materia
Radiación ELF	Inducción de corrientes eléctricas
Radiofrecuencias	Inducción de corrientes eléctricas y absorción como energía vibratoria de las moléculas que se transforma en calor
Microondas	Absorción como energía rotacional y vibratoria de las moléculas que se transforma en calor
Radiación IR	Absorción como energía rotacional que se transforma en calor
Radiación visible y UV	Absorción como energía fotoquímica y calor

te por cualquier tipo de materia ya que la absorción se hace en forma de cambios de la estructura electrónica de los átomos, por tanto sus efectos sobre el organismo se localizan fundamentalmente en la parte externa (piel y ojos) que reciben directamente la radiación. Un caso particular son las radiaciones ópticas para las que el sistema óptico del ojo es transparente, puesto que entonces los daños se manifestarán en la retina. En la tabla se indica un resumen de los efectos de las radiaciones ópticas.

EFFECTOS DE LAS RADIACIONES ÓPTICAS EN PIEL Y OJOS

Región espectral	Efectos en el ojo	Efectos en la piel
UV lejano (180 a 315 nm)	Fotoqueratitis (córnea)	Eritema
		Envejecimiento acelerado
		Aumento de la pigmentación
UV próximo (315 a 400 nm)	Catarata fotoquímica (cristalino)	Oscurecimiento de los pigmentos
		Reacciones de fotosensibilización
		Quemaduras de la piel
Visible (400 a 770 nm)	Lesiones fotoquímicas y térmicas en la retina	Oscurecimiento de los pigmentos
		Reacciones de fotosensibilización
		Quemaduras de la piel
IR próximo (770 a 1.400 nm)	Quemaduras en la retina Cataratas	Quemaduras en la piel
IR lejano (1.400 nm a 1 mm)	Quemaduras en la córnea	Quemaduras en la piel

Puesto que los efectos sobre el organismo cuando se encuentra expuesto a una radiación dependen del tipo de radiación, es necesario tratar cada tipo de radiación por separado.

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La prevención de los riesgos laborales derivados de la exposición a radiaciones ópticas artificiales (incoherentes y coherentes o láseres) se encuentra bajo el ámbito de aplicación de la Directiva europea 2006/25/CE, cuya transposición al ordenamiento jurídico español está prevista a más tardar en 2010.

LAS RADIACIONES ULTRAVIOLETAS NO SON VISIBLES NI DETECTABLES POR NINGÚN SENTIDO. POR ELLO, PUEDEN PASAR INADVERTIDAS POR EL TRABAJADOR, CON EL CONSIGUIENTE PELIGRO

De entre todas las radiaciones no ionizantes, las de más energía son las radiaciones ultravioleta, que abarcan el rango de longitudes de onda comprendido entre 180 y 400 nm y no son visibles ni detectables por ningún sentido humano, lo que significa que no existe ningún procedimiento de autodefensa que alerte en caso de darse la exposición.

Existen aplicaciones industriales de radiaciones UV que pueden dar lugar a exposiciones de los trabajadores. Una situación bastante frecuente es el uso de lámparas de vapor de mercurio, o de arcos eléctricos, que generan radiaciones de este tipo para aplicaciones tales como desinfección de productos o salas, inducción de reacciones fotoquímicas, insolación de planchas en artes gráficas, etc.

También se producen radiaciones UV siempre que existe un arco eléctrico. Así, la clásica soldadura de metales al arco es el caso más extendido de riesgo de exposición a rayos UV, aunque en esta circunstancia la radiación es un “sub-producto” del proceso de soldadura.

La irradiancia UV que incide sobre una superficie se mide con un radiómetro de UV, que es un instrumento similar al fotómetro, con la única diferencia de que el sensor está especialmente diseñado para este tipo de radiación. La irradiancia se expresará en W/m^2 .

Al realizar mediciones hay que utilizar un radiómetro con un sistema óptico de entrada que sea omnidireccional y situar el sensor en el mismo plano que la piel o el ojo expuesto a la radiación, de forma que la indicación del radiómetro coincida con el flujo radiante incidente en la piel o el ojo.

LOS ARCOS ELÉCTRICOS SON LA FUENTE MÁS HABITUAL, VOLUNTARIA E INVOLUNTARIA DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Los efectos de las radiaciones UV se producen sobre todo en la piel y el ojo. Entre los efectos sobre la piel el más conocido es el eritema, que es un enrojecimiento doloroso de la parte de piel expuesta que se manifiesta de forma casi inmediata a la exposición; en situaciones de exposición prolongada la piel puede quedar afectada de forma permanente con pérdida de elasticidad.

La exposición ocular genera una conjuntivitis muy dolorosa, que aparece entre 2 y 24 horas después de la exposición, tiene una duración de entre 4 y 6 días y no suele dejar secuelas.

A largo plazo el efecto más grave de las radiaciones UV es el incremento del riesgo de desarrollar determinados tipos de cáncer cutáneo.

La peligrosidad de las radiaciones UV no es homogénea en toda la región espectral: las radiaciones de longitud de onda superior a 315 nm (UVA) son las menos agresivas, y la radiación de 270 nm es la más agresiva. Atendiendo a este hecho los criterios de evaluación de la exposición se establecen en función de la longitud de onda de la radiación.

Hasta la aparición de la Directiva 2006/24/CE, uno de los criterios de evaluación más utilizados ha sido el TLV de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) que define, para cada longitud de onda, la exposición radiante diaria (expresada en J/m^2) que puede incidir sobre la piel o el ojo sin que aparezcan efectos perjudiciales.

La Directiva, basada en los criterios científicos de ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), no difiere sustancialmente de los citados criterios de la ACGIH, y establece valores límite de exposición para la radiación UV, expresados como exposición radiante (H, en J/m^2) para radiación entre 180 y 400 nm.

Tal y como se ha dicho anteriormente, el efecto de la exposición es dependiente de la longitud de onda. Por ello, es necesario ponderar los valores medidos de irradiancia o exposición radiante (si el medidor no lo hace directamente) en cada longitud de onda o banda de longitudes de onda, según los factores $S(\lambda)$ (ponderación espectral para visible e infrarrojo A) y $B(\lambda)$ (ponderación espectral para luz azul) que pueden consultarse en las tablas 1.2 y 1.3 del Anexo I de la Directiva 2006/25/CE.

Puesto que para la comparación con el valor límite deben considerarse todas las longitudes de onda presentes en la radiación, se calculará la exposición radiante efectiva a partir de la irradiancia efectiva, calculada por sumatorio de la irradiancia

Efectos de las radiaciones ultravioletas

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SE MANIFIESTAN EN LA PIEL Y LOS OJOS

Evaluación de la exposición a radiación ultravioleta

en cada longitud de onda ponderada espectralmente, según las siguientes expresiones (siempre que el flujo radiante de la fuente luminosa sea constante):

$$H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot$$

$$E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

siendo

E_{eff} : la irradiancia efectiva ponderada espectralmente por $S(\lambda)$ (W/m^2).

E_{λ} : la irradiancia espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$).

$S(\lambda)$: la ponderación espectral (adimensional).

$\Delta\lambda$: el ancho de banda (nm).

H_{eff} : la exposición radiante efectiva (J/m^2).

Δt : el tiempo de exposición (s).

De similar forma, se calcula la exposición radiante en el rango 315-400 nm a partir de la irradiancia en el mismo rango, teniendo en cuenta que ambos límites (H_{eff} y H_{UVA}) deben cumplirse.

$$E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda=315\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

$$H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t$$

siendo

E_{UVA} : la irradiancia efectiva ponderada espectralmente por $S(\lambda)$ (W/m^2).

E_{λ} : la irradiancia espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$).

$S(\lambda)$: el ancho de banda (nm).

H_{UVA} : la exposición radiante efectiva (J/m^2).

Δt : el tiempo de exposición (s).

El valor que fija la directiva como límite de exposición para 8 horas es de $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J}/\text{m}^2$ y de $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J}/\text{m}^2$.

Para la mayor parte de las fuentes de luz, y todos los arcos sin protección, la ponderación de la irradiancia espectral entre 180 y 315 nm es suficiente para determinar la irradiancia efectiva. Sólo algunas fuentes especialmente diseñadas para emitir únicamente radiación UVA requerirán calcular la ponderación espectral en la banda de 315 a 400 nm.

Es posible utilizar los valores límite para determinar el tiempo máximo de exposición diaria conociendo la irradiancia efectiva, según:

$$T_{\text{max}} = \frac{30}{E_{\text{eff}}}$$

siendo

E_{eff} : la irradiancia efectiva (W/m^2).

T_{max} : el tiempo máximo diario de exposición (s).

Para la evaluación del riesgo por exposición a luz azul, causante de fotorretinitis, se calculará:

$$L_B = \sum_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$E_B = \sum_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

siendo

L_B : (W/m^2).

L_{λ} : (W/m^2).

E_{eff} : la irradiancia efectiva (W/m^2).

E_{eff} : la irradiancia efectiva (W/m^2).

$S(\lambda)$: la ponderación espectral (adimensional).

$\Delta\lambda$: el ancho de banda (nm).

La radiación UV es fácilmente absorbida por cualquier material, en consecuencia el control de la misma para evitar sus efectos sobre los trabajadores no ofrece dificultades particulares. Los cerramientos y apantallamientos de las fuentes son la solución típica para el caso de que no sea necesario “ver” la fuente de rayos UV. El aumento de la distancia entre la fuente y el trabajador constituye otra de las medidas más eficaces y, normalmente, de fácil implantación. También está aconsejado el acondicionamiento de locales con superficies no reflectantes de la radiación UV.

La protección de la piel de los trabajadores expuestos también se consigue prácticamente con cualquier ropa de trabajo.

Si es necesario tener visibilidad de la zona de operación o se producen radiaciones difusas por reflexiones, se pueden instalar pantallas de vidrios especiales que absorben las radiaciones UV, o bien utilizar gafas o viseras con oculares absorbentes de la radiación UV. Al seleccionar una pantalla o un ocular de protección hay que prestar atención al tipo de fuente UV que se está utilizando, ya que existen oculares para todas las fuentes, pero no todos son eficaces frente a cualquier fuente y un error en la selección podría dar lugar a exposiciones excesivas confiando en una falsa protección.

Control de las exposiciones

EL USO DE PANTALLAS O CERRAMIENTOS PARA EVITAR LA DISPERSIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA ES UNA DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS MÁS EFICACES

Un efecto secundario de la exposición a radiación ultravioleta C es la generación de ozono. Por ello deberá preverse una ventilación adecuada que mantenga su concentración a un nivel aceptable, esto es, por debajo de su valor límite ambiental de exposición.

Por último, también hay que considerar medidas preventivas de índole administrativa como la formación e información de los trabajadores, la limitación de acceso y la señalización de la zona cuando sea necesario.

RADIACIÓN VISIBLE E INFRARROJA

La radiación visible tiene longitudes de onda comprendidas entre 400 nm (azul) y 770 nm (rojo). Las longitudes de onda inmediatamente superiores, hasta 1.400 nm, constituyen el infrarrojo próximo, y entre 1.400 nm y 1 mm, el infrarrojo lejano. La radiación infrarroja también puede clasificarse en infrarrojo A, IRA (780 - 1.400 nm), infrarrojo B, IRB (1.400 - 3.000 nm) e infrarrojo C, IRC (3.000 nm - 1mm).

Efectos de las radiaciones visible e infrarroja

Los efectos de estas radiaciones sobre el cuerpo son fundamentalmente de tipo térmico (calentamiento de la superficie irradiada) y oculares (lesiones de la córnea y la retina).

Los rayos IR de mayor longitud de onda pueden causar lesiones de origen térmico en la córnea. A medida que la longitud de onda disminuye, la radiación puede llegar hasta zonas más internas del ojo y causar daños en el cristalino (cataratas) y en la retina.

LOS RIESGOS DE LA RADIACIÓN INFRARROJA Y VISIBLE SE LOCALIZAN FUNDAMENTALMENTE EN EL OJO. EL OJO HUMANO TIENE UNA BUENA CAPACIDAD DE AUTOPROTECCIÓN FRENTE A LA RADIACIÓN VISIBLE

El ojo es un "órgano con una capacidad de autoprotección frente a la luz visible muy elevada: el parpadeo y el reflejo pupilar actúan como mecanismos naturales de protección frente a los efectos de las radiaciones visibles en la retina. No obstante, las radiaciones del IR próximo (hasta 1.400 nm) pueden alcanzar la retina, y estos mecanismos de autodefensa no son eficaces en esta región del espectro.

En el caso de la radiación visible se presentan además una serie de efectos no fisiológicos como fatiga visual, dificultad de acomodación a la tarea, etc., relacionados con la iluminación de la tarea o del puesto de trabajo, que son objeto de estudio de la Ergonomía y que no se tratan en este texto.

Evaluación de las exposiciones

Al igual que en radiaciones ultravioletas, es de aplicación la Directiva 2006/25/CE, que establece límites de exposición para visible e infrarrojo, principalmente con tres objetivos:

- a) Protección de la retina frente a lesiones térmicas.
- b) Protección de la retina frente a lesiones fotoquímicas producidas por la luz azul.
- c) Protección frente a efectos retardados sobre el cristalino (cataratas).

Para realizar una evaluación de la exposición hay que conocer la radiancia espectral de la fuente luminosa y la irradiancia espectral medida en los ojos del trabajador. Para la medida de estas magnitudes se deben utilizar radiómetros equipados con filtros adecuados a las funciones de ponderación que se indican más adelante. Generalmente sólo son necesarios datos espectrales detallados de una fuente de luz si su luminancia es superior a 1 cd/cm². Para fuentes de luminancia inferior no se superarán los valores límite de exposición.

Como guía se puede indicar que un papel blanco iluminado con 1.000 lux tiene una luminancia de 0,025 cd/cm². Un tubo fluorescente tiene una luminancia de 0,5 a 1 cd/cm². Una bombilla de incandescencia mate varía entre 1 y 10 cd/cm² y entre 100 y 500 cd/cm² si es clara. Teniendo en cuenta estos valores es fácil concluir que el riesgo debido a la radiación visible sólo se puede presentar cuando exista una visión directa de fuentes de luz.

LAS SITUACIONES DE RIESGO POR EXPOSICIÓN A LUZ VISIBLE SÓLO PUEDEN DARSE EN CASOS DE VISIÓN DIRECTA DE FUENTES DE LUZ INTENSA

Protección de la retina contra efectos térmicos

La exposición a radiaciones ópticas entre 380 y 1.400 nm (visible e infrarrojo A) puede causar quemaduras en la retina. La Directiva establece los valores límite de exposición que se muestran en la tabla, basados en la radiancia espectral integrada de la lámpara, L_R, expresada en W/(m² · sr), ponderada con la función R(λ).

El cálculo de la radiancia espectral integrada ponderada con la función R(λ) viene dado por:

$$L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

siendo

L_R: la radiancia espectral integrada ponderada con la función R(λ) en W/(m² · sr).

L_λ: la radiancia espectral de la fuente en W/(m² · sr · nm).

VALORES LÍMITE PARA RADIACIÓN VISIBLE E INFRAROJA

Longitud de onda nm	Valores límite de exposición	Unidades	Observación
380 – 1.400 (visible e IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ para $t > 10$ s	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$C_\alpha = 1,7$ para $\alpha \leq 1,7$ mrad
380– 1.400 (visible e IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ para $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [segundos]	$C_\alpha = \alpha$ para $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ para $\alpha > 100$ mrad $\lambda_1 = 380$; $\lambda_2 = 1.400$
380 – 1.400 visible e (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ para $t < 10 \mu\text{s}$	[W m ⁻² sr ⁻¹]	
780 – 1.400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$ para $t < 10$ ms	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$C_\alpha = 11$ para $\alpha \leq 11$ mrad
780 – 1.400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ para $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [segundos]	$C_\alpha = \alpha$ para $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ para $\alpha > 100$ mrad (tamaño del campo visual: 11 mrad)
780 – 1.400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ para $t < 10 \mu\text{s}$	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$\lambda_1 = 780$; $\lambda_2 = 1.400$

$R(\lambda)$: el factor de ponderación.

$\Delta\lambda$: el ancho de la banda (nm).

α : el ángulo que subtiende la fuente (rad).

t: la duración de la visión (s).

La medida de la radiancia espectral de una fuente requiere el uso de radiómetros diseñados a tal fin; también es un dato que puede obtenerse del fabricante de la lámpara.

Protección de la retina de lesiones fotoquímicas producidas por la luz azul

El rango de frecuencias comprendido entre 300 y 700 nm se denomina “luz azul”, (aunque en sentido estricto la luz de color azul correspondería únicamente al intervalo entre 400 y 490 nm)

y la Directiva 2006/25/CE también establece para este tipo de radiación valores límite de exposición expresados como radiancia de la fuente (L, en W/m².sr) o irradiancia (E, en W/m²), según el valor que tome el ángulo subtendido por la fuente. Los valores que toman estos límites de exposición se detallan en la tabla.

VALORES LÍMITE PARA LUZ AZUL			
Longitud de onda nm	Valores límite de exposición	Unidades	Observación
300 – 700 (luz azul)	$L_B = \frac{10^6}{t}$ para $t \leq 10.000 \text{ s}$	L_B : [W m ⁻² sr ⁻¹]: [segundos]	para $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$
300 – 700 (luz azul)	$L_B = 100$ para $t > 10.000\text{s}$	[W m ⁻² sr ⁻¹]	
300 – 700 (luz azul)	$E_B = \frac{100}{t}$ para $t \leq 10.000 \text{ s}$	E_B : [W m ⁻²]: [segundos]	para $\alpha < 11 \text{ mrad}$
300 – 700 (luz azul))	$E_B = 0,01$ para $t > 10.000 \text{ ms}$	[W m ⁻²]	

El cálculo de la radiancia espectral, L_R , se realiza como se ha descrito en la fórmula anterior pero con ponderación $R(\lambda)$, y la irradiancia espectral ponderada E_B , según:

$$E_B = \sum_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

siendo

E_B : la radiancia espectral integrada ponderada con la función $B(\lambda)$ en W/(m².sr).

E_{λ} : la radiancia espectral de la fuente en W/(m². s r. nm).

$B(\lambda)$: el factor de ponderación del riesgo de la luz azul.

$\Delta\lambda$: el ancho de la banda (nm).

Para los trabajadores operados de cataratas (es decir, aquéllos a los que se les ha extirpado el cristalino) la función $B(\lambda)$ puede no dar una indicación correcta del riesgo para la retina producido por la exposición a la luz azul. En cualquier caso, se tratará de trabajadores especialmente sensibles a la exposición a radiaciones ópticas.

Protección de la córnea y el cristalino de lesiones térmicas

La exposición a radiación IR de longitud de onda entre 780 y 3.000 nm debe limitarse a una irradiancia total de 100 W/m² para tiempos de exposición superiores a 1.000 segundos (16 minutos) o a $18.000 \cdot t^{3/4} \cdot \text{W/m}^2$ para tiempos inferiores, según establece la Directiva 2006/25/CE.

Asimismo, en todo el rango de las radiaciones ópticas, en relación con los efectos sobre la piel, la exposición radiante (H) no deberá superar el valor de $20.000 \cdot t^{0,25}$ para tiempos inferiores a 10 segundos.

Control de las exposiciones a radiaciones visibles e infrarrojas

Dada la moderada peligrosidad de las radiaciones visible e infrarroja no es común encontrar puestos de trabajo en los que las exposiciones constituyan un riesgo y, en todo caso, el uso de apantallamientos de las fuentes de luz, para evitar la visión directa, y de oculares de protección son los procedimientos más eficaces para reducir las exposiciones hasta límites seguros.

EXPOSICIÓN LABORAL A LA LUZ SOLAR

Todo trabajador al aire libre está expuesto a la radiación solar, constituida por radiación ultravioleta, visible e infrarroja. Así pues, en algunos sectores (agricultura y ganadería, minería a cielo abierto, construcción, etc.) se trata de una exposición que afecta a un número elevado de trabajadores.

La Directiva 2006/25/CE no incluye en su ámbito de aplicación la prevención de riesgos derivados de la exposición a radiación solar, siendo el marco general de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995) la que establece la obligación del empresario de evaluar y prevenir los riesgos de cualquier naturaleza cuyo origen sea laboral, entre los cuáles se incluye, pues, la exposición a luz solar.

Entre los factores de riesgo de la exposición a la radiación solar se encuentran la localización geográfica del puesto de trabajo (latitud, altitud, altura sobre el nivel del mar), las condiciones meteorológicas y atmosféricas, que determinan todas ellas el índice de exposición ultravioleta (UVI), la hora de la exposición (por el cambio de ángulo de incidencia de la radiación) y su duración, así como el tipo de piel del individuo expuesto.

Las medidas preventivas más eficaces son el uso de ropa y sombreros capaces de apantallar la radiación, así como el uso de filtros solares (químicos o físicos). Asimismo, es de especial importancia transmitir la suficiente información y formación a

los trabajadores sobre los riesgos derivados de esta exposición, puesto que existe una cierta «aceptación social» de dicho riesgo, y por lo tanto se infravalora. El establecimiento de lugares de descanso a la sombra y la organización del trabajo de forma que se minimice la exposición son también aspectos importantes a considerar.

RADIACIÓN LÁSER

Un láser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*: Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación), es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar o amplificar la radiación electromagnética en el intervalo de la longitud de onda de la radiación óptica, produciendo un haz de luz coherente, que viaja a la velocidad de la luz.

Los parámetros que definen principalmente el riesgo de un láser son su longitud de onda, energía y duración de la emisión o tiempo de exposición, que se citan en el cuadro.

La radiación láser (radiación óptica procedente de un láser) presenta ciertas propiedades ausentes en otros tipos de radiación electromagnética: *monocromaticidad* (radiación compuesta de ondas de las misma longitud de onda), *coherencia* (las ondas mantienen la fase relativa al desplazarse) y *direccionalidad* (al alejarse de la fuente, la dispersión de la radiación, definida por el ángulo de divergencia, es muy pequeña, del orden de miliradianes).

Estas propiedades proporcionan a la radiación láser ciertas características, como lograr densidades de energía muy elevadas, que casi no disminuyen al aumentar la distancia a la fuente. Por ello es factible enviar la radiación láser a grandes distancias (un ejemplo de esta aplicación es la medición con gran precisión de la distancia entre la Tierra y la Luna).

Además de las aplicaciones cotidianas (impresoras, lectores, etc.), el láser ya se ha convertido en una herramienta especialmente valiosa en la tecnología. Debido a las ventajas y cualidades que presenta respecto a otras técnicas, su aplicación en campos como la industria, las comunicaciones o la medicina ha aumentado considerablemente en los últimos años. Cabe destacar los procesos de soldadura, corte, grabado y marcaje, ensayo y control en el sector industrial, así como las aplicaciones

PARÁMETROS MÁS CARACTERÍSTICOS DE UN HAZ DE RADIACIÓN LÁSER
Longitud de onda del rayo o haz emitido
Irradiancia o densidad de potencia del haz
Tipo de emisión (continua o pulsante)
Duración del impulso
Frecuencia de repetición de impulsos
Diámetro o distancia focal del haz
Ángulo de divergencia del haz

terapéuticas o de coagulación y vaporización de tejido blando en medicina y la red global de comunicaciones por fibra en el campo de las telecomunicaciones.

Sin embargo, a pesar de las ventajas y cualidades que presentan los dispositivos láser, también existen factores de riesgo que implican la necesaria adopción de medidas preventivas y de protección para evitar accidentes y los consecuentes posibles daños a la salud de los trabajadores expuestos a este tipo de radiaciones.

Algunos de los requisitos mínimos de seguridad para la fabricación y comercialización de productos láser son el empleo de resguardos (cubiertas o estructuras protectoras) y/o dispositivos de protección (por ejemplo, enclavamiento), uso de atenuadores del haz, etc.

Efectos de la radiación láser

En esencia, los efectos son los mismos que los de la radiación ordinaria de la misma longitud de onda, si bien en el caso de la radiación láser, por tratarse de una radiación no dispersa, la energía del haz disminuye muy poco con la distancia, lo que en la práctica se traduce en que su peligrosidad es mayor a igualdad de potencia de la fuente generadora, ya que puede concentrar la energía en una superficie muy pequeña.

PRINCIPALES RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A RADIACIONES LÁSER

Longitud de onda [nm] λ	Intervalo de radiación	Órgano afectado	Riesgo
180 – 400	UV	ojos	Lesiones fotoquímicas y lesiones térmicas
180 – 400	UV	piel	Eritema
400 – 700	visible	ojos	Lesiones de la retina
400 – 600	visible	ojos	Lesiones fotoquímicas
400 – 700	visible	piel	Lesiones térmicas
700 – 1.400	IRA	ojos	Lesiones térmicas
700 – 1.400	IRA	piel	Lesiones térmicas
1.400 – 2.600	IRB	ojos	Lesiones térmicas
2.600 – 10 ⁶	IRC	ojos	Lesiones térmicas
1.400 – 10 ⁶	IRB, IRC	ojos	Lesiones térmicas
1.400 – 10 ⁶	IRB, IRC	piel	Lesiones térmicas

Los principales riesgos derivados de la exposición de ojos y/o piel a la radiación láser en función de la longitud de onda y el órgano afectado son lesiones térmicas y fotoquímicas.

La Directiva 2006/25/CE fija las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de las radiaciones ópticas artificiales. Dicha Directiva establece los valores límite de exposición frente a este tipo de agentes físicos, así como las obligaciones de los empresarios, en cumplimiento con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

En el caso de que los trabajadores estén expuestos a radiación láser, las obligaciones del empresario engloban, entre otras, la evaluación del riesgo, la clasificación del láser empleado, el cálculo del nivel de exposición, el estudio de posibles efectos indirectos (incendio, explosión,...) y la adopción de medidas técnicas y/u organizativas encaminadas a evitar o reducir (la exposición debe ser tan baja como sea posible) dicho riesgo.

En el anexo II de la mencionada Directiva se fijan, en función de la longitud de onda y de la duración de la radiación emitida por la fuente, los valores límite de exposición para la radiación láser, para exposición de piel u ojos, diferenciando en esta última las exposiciones inferiores a 10 segundos de las de mayor duración. Los valores del nivel de exposición a la radiación pueden determinarse mediante mediciones o a partir de la información facilitada por el fabricante del equipo.

Los valores límite se expresan en unidades de irradiancia o densidad de potencia [W/m^2] o exposición radiante (integral respecto al tiempo de la irradiancia) [J/m^2].

Los láseres se clasifican en varias categorías de riesgo, en función del Límite de Emisión Accesible (LEA) para el usuario. Todos los aparatos generadores de rayos láser (productos láser) comercializados deben proporcionar información sobre dicha categoría, con el fin de permitir identificar la peligrosidad del mismo. La obligación de clasificar un láser recae sobre su fabricante.

La norma UNE-EN 60825, que trata sobre la “seguridad de los productos láser”, es uno de los documentos básicos sobre seguridad de los equipos o aparatos que utilizan radiaciones láser. Dicha norma clasifica los equipos de generación de rayos láser, en función de la potencia y la longitud de onda del haz, en siete clases o categorías.

Evaluación de los riesgos derivados de la exposición a radiación láser

Clasificación de los generadores de radiación láser

CLASIFICACIÓN DE LOS LÁSERES, SEGÚN NORMA UNE-EN 60825-1/A2-2002	
Clase	
1	Láseres que son seguros en las condiciones de funcionamiento razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos para mirar directamente al haz.
1M	Láseres emitiendo en el intervalo de longitudes de onda entre 302,5 y 4.000 nm que son seguros en condiciones de funcionamiento razonablemente previsibles, pero que pueden ser peligrosos si el usuario emplea ópticos en el haz.
2	Láseres que emiten radiación visible en el intervalo de longitudes de onda comprendido entre 400 y 700 nm donde la protección ocular se basa normalmente en la respuesta de aversión, consistente en apartar los ojos, incluyendo el reflejo palpebral. Cabe esperar que esta reacción proporcione protección adecuada en las condiciones de funcionamiento razonablemente previsibles incluyendo el uso de instrumentos ópticos para observación directa del haz.
2M	Láseres que emiten radiación visible en el intervalo de 400 a 700 nm donde la protección ocular se basa normalmente en la respuesta de aversión, incluyendo el reflejo palpebral. Sin embargo, mirar a la salida puede ser más peligroso si el usuario emplea elementos ópticos en el haz.
3R	Láseres que emiten en el intervalo de 302,5 a 10^6 nm en los que mirar al haz directamente es potencialmente peligroso, pero el riesgo es menor que para los láseres de Clase 3B. Se aplican menos requisitos de fabricación y medidas de control para el usuario que las que se aplican para los láseres de Clase 3B. El límite de emisión accesible es menor que 5 veces el LEA de la Clase 2 en el intervalo 400 - 700 nm y menor que 5 veces el LEA de la Clase 1 para otras longitudes de onda.
3B	Láseres que son normalmente peligrosos cuando ocurre exposición directa al haz. Observar las reflexiones difusas es seguro generalmente.
4	Láseres que son capaces de producir reflexiones difusas peligrosas. Pueden producir daños en la piel y podrían presentar también riesgo de incendio.

Existen otras clasificaciones, en función, por ejemplo, del estado o tipo de medio activo: sólido (aislante o semiconductor), gas (atómico, molecular o iónico) o líquido; de su longitud de onda (UV, visible, IR,...); del método de excitación del medio activo (bombeo óptico, eléctrico,...); de las características de la radiación emitida por el láser; del número de niveles de energía que participan en el proceso láser; etc.

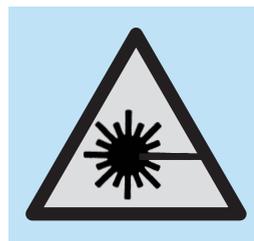
Señalización y etiquetado

La obligación de informar al usuario del láser sobre sus riesgos mediante la correspondiente etiqueta, recae sobre el fabricante del mismo. Las etiquetas deben estar permanentemente fijadas, ser legibles y claramente visibles durante el funcionamiento.

to, mantenimiento o ajuste del láser. Deben estar situadas de modo que puedan leerse sin que la exposición a la radiación supere el nivel LEA de la Clase 1. En aquellos casos en los que el tamaño del producto o su diseño haga imposible el etiquetado, la/s etiqueta/s deberán incluirse en la información que se suministre al usuario o bien dentro del embalaje del producto láser.

La norma UNE-EN 60825 establece distintos tipos de etiquetas: de advertencia, explicativas, de abertura y etiquetas de los paneles de acceso a los equipos láser.

Las etiquetas explicativas informan sobre la clase a la que pertenece el láser y contienen frases de advertencia normalizadas en función del riesgo que supone la utilización de los equipos. Los márgenes



LA ETIQUETA ESTÁNDAR DE ADVERTENCIA ES RECOMENDABLE EN LOS LÁSERES DE CLASE 1 Y 1M Y OBLIGATORIA EN LOS LÁSERES DE CLASE 2, 2M, 3R, 3B Y 4

TEXTO DE LAS ETIQUETAS EXPLICATIVAS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE LÁSER

Clase	
1	Producto láser de clase 1
1M	Radiación láser No mire directamente con instrumentos ópticos Producto láser de clase 1M
2	Radiación láser No mirar fijamente al haz Producto láser de clase 2
2M	Radiación láser No mire directamente al haz ni lo mire directamente con instrumentos ópticos Producto láser de clase 2M
3R	<i>Para longitudes de onda comprendidas entre 400 y 1.400 nm:</i> Radiación láser Evite la exposición directa del ojo Producto láser de clase 3R <hr/> <i>Para otras longitudes de onda:</i> Radiación láser Evite exposición al haz Producto láser de clase 3R
3B	Radiación láser La exposición al haz es peligrosa Producto láser de clase 3B
4	Radiación láser o la exposición de los ojos o la piel a la radiación directa o difusa del haz es peligrosa Producto láser clase 4

del texto y los símbolos deben ser de color negro sobre un fondo amarillo. El texto de la etiqueta explicativa varía en función de la clasificación del láser.

La etiqueta de abertura debe situarse cerca de la abertura por la que se emite la radiación. En adición, los paneles de acceso o cubiertas protectoras de los equipos láser que al retirarse expongan al trabajador a una radiación láser que supere el LEA de la Clase 1, también deben estar correctamente etiquetados (etiqueta de panel).

Manual de instrucciones

Además de la información contenida en las etiquetas explicativas, los productos láser, con excepción de los de la Clase 1, deben contener la información relativa a las características técnicas del equipo, como la potencia máxima de la radiación emitida, la duración del pulso (si ha lugar) y las longitudes de onda emitidas, así como el nombre y la fecha de publicación de la norma en la que se basa la clasificación del producto. Para los láseres de Clase 1 y 1 M esta información tiene que estar contenida en el manual de instrucciones del usuario, en lugar de suministrarla en las correspondientes etiquetas adheridas al producto.

El fabricante debe suministrar con cada producto el manual de instrucciones o funcionamiento del equipo. Dicho manual debe proporcionar información detallada para su correcto montaje, mantenimiento y uso seguro.

TODO PRODUCTO LÁSER TIENE QUE ESTAR
ACOMPAÑADO DE UN MANUAL DE
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Asimismo, los fabricantes deben también suministrar las instrucciones adecuadas para realizar los ajustes y procedimientos de reparación, incluyendo advertencias y precauciones a tomar, el plan de mantenimiento necesario para conservar el producto o equipo en conformidad con las especificaciones del mismo, incluyendo los procedimientos de protección para el personal de servicio técnico y reproducciones legibles de las etiquetas y advertencias de peligro que se precisen.

En el caso de los equipos de clase 3 y 4, el personal que deba manejarlo y mantenerlo debe ser formado específicamente a fin de que conozcan los riesgos y la forma de evitarlos, con el objetivo de reducir las exposiciones y evitar cualquier exposición innecesaria.

Medidas técnicas y organizativas de control

Con el fin de determinar las medidas de control a adoptar, hay que tener en cuenta la capacidad del láser para producir daño (clasificación). Es básico el control de los factores ambientales por medio de actuaciones técnicas (por ejemplo: estable-

cimiento de un sistema de control de llave o un atenuador del haz) y/u organizativas (por ejemplo: designación de un Responsable de Seguridad Láser, establecimiento y señalización de zonas de riesgo, iluminación adecuada para reducir la abertura de la pupila, etc.). Asimismo, se han de controlar los factores individuales como la protección ocular, el nivel de conocimiento de los trabajadores acerca del potencial riesgo o la especial sensibilidad por parte de algún trabajador.

EL USO DE LÁSERES DE CLASE 3 Y 4 DEBE HACERSE BAJO LA RESPONSABILIDAD DE PERSONAL CAPACITADO PARA ELLO

La utilización de láseres de las clases 3 y 4 puede representar un riesgo no sólo para el usuario sino también para otras personas situadas en las proximidades, en consecuencia el responsable de estas instalaciones debería tener un nivel de formación en seguridad láser suficiente para tomar decisiones sobre los procedimientos de control de riesgos a implantar, el uso de las protecciones personales, la notificación de accidentes y la señalización de la zonas, teniendo en cuenta los peligros de este tipo de radiación.

Acercas de la señalización de zonas, es útil el concepto de "Distancia nominal de riesgo ocular" (DNRO) definida como distancia a la cual la irradiancia del haz es inferior a la exposición máxima permisible para la córnea. El cálculo de este valor facilitará la situación de los controles de acceso a la zona de riesgo.

Equipos de protección individual

Aunque la utilización de Equipos de Protección Individual (EPI) es imprescindible si existe la posibilidad de una exposición superior a la máxima permitida, la necesidad de usar dichos equipos contra los efectos nocivos del uso de láseres debería reducirse al mínimo mediante las medidas de control técnicas y/u organizativas citadas anteriormente.

Respecto a los protectores oculares, la selección de dichos equipos (filtros y gafas) debe tener en cuenta la longitud de onda de la radiación contra la que se pretende proteger. Adicionalmente, estos equipos deben tener pantalla lateral para evitar la incidencia lateral del haz en el ojo.

LA SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN DEBE TENER EN CUENTA EL TIPO DE RADIACIÓN LÁSER Y EL GRADO DE PROTECCIÓN DEL EQUIPO

Los EPI de protección ocular frente a la radiación láser deben cumplir los requisitos mínimos especificados en la norma UNE-EN 207 y su código es la letra L. Los EPI para los trabajos de ajuste láser deben cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 208 y su código es la letra R. Es importante distinguir entre

ellos, ya que las gafas para ajuste láser protegen menos y se emplean con limitación de potencia y tiempo.

Otros factores a considerar

Finalmente es importante destacar que, las medidas de prevención y/o protección a adoptar en el uso o manejo de dispositivos láser deben considerar además del tipo y clase de láser empleado, otros parámetros como finalidad y forma de aplicación, número de personas expuestas, características o parámetros de emisión del láser, materiales empleados, procesos utilizados, factores ambientales, elementos constructivos auxiliares, etc. También hay que señalar que, aparte de los riesgos inherentes a la radiación láser, existen otros riesgos ligados al uso de dispositivos láser como: contaminación atmosférica, desprendimiento de partículas, riesgo eléctrico, contacto térmico, incendio, explosión, etc. De hecho la mayor parte de los accidentes ocasionados por productos láser están relacionados con los circuitos eléctricos y no con la radiación.

MICROONDAS Y RADIOFRECUENCIAS

Las radiofrecuencias incluyen las radiaciones de frecuencia comprendida entre 30 kHz y 300 MHz. Las microondas son radiaciones de frecuencia entre 300 MHz y 300 GHz. Ambos tipos de radiaciones tienen aplicaciones en el campo de las telecomunicaciones (radio, TV, radar, etc.). Además, las microondas tienen una amplia aplicación como fuente de calor y se utilizan en soldadura, endurecimiento de resinas, operaciones de recocido y temple, secado de materiales, etc.

Las exposiciones laborales se pueden presentar en los trabajos relacionados con las telecomunicaciones y la defensa (instalación y mantenimiento de antenas emisoras o de radar), y la operación de hornos industriales de microondas.

Medida de la exposición

En el margen comprendido entre 30 kHz y 300 MHz el instrumental usado para la medición de la radiación indica la intensidad del campo eléctrico y/o magnético asociado a la onda. Ya se ha señalado en el apartado dedicado a las magnitudes y unidades de medida, que en el campo lejano (distancia a la fuente mayor que una longitud de onda) la densidad de potencia está relacionada con la intensidad del campo eléctrico o magnético. La unidad habitual para indicar la densidad de potencia es el mW/cm^2 , y la relación de esta magnitud con las intensidades de los campos asociados es:

$$S = \frac{E^2}{3770} = H^2 \cdot 37,7$$

siendo

S: la densidad de potencia (mW/cm²).

E: la intensidad del campo eléctrico (V/m).

H: la intensidad del campo magnético (A/m).

Para frecuencias superiores a 100 MHz los radiómetros dan la lectura directamente en mW/cm².

Los efectos son de tipo térmico, aumentando la temperatura de órganos internos y no sólo superficialmente. El efecto es mayor en los órganos poco vascularizados debido a su dificultad para evacuar el calor. Entre estos órganos se encuentran las partes transparentes de los ojos, que están muy poco irrigadas.

También se han citado efectos no térmicos relacionados con la interferencia de estas radiaciones con las membranas biológicas y con alteraciones en la transmisión de la información genética. En todo caso este tipo de efectos está muy poco estudiado y todavía no se dispone de información suficiente para poder definir unos criterios de valoración fiables.

Las recomendaciones de la IRPA-ICNIRP para las radiaciones de microondas y radiofrecuencias tienen como objetivo limitar la cantidad de energía absorbida por el cuerpo a 0,4 watts por kg de peso, lo cual conduce a distintos valores límite de la densidad de potencia de la radiación (o de los correspondientes valores de intensidad de campo) según sea la capacidad del organismo para absorberla.

Los valores límite de densidad de potencia o intensidad de campo son valores medios que no deben ser sobrepasados en ningún periodo de 6 minutos.

A frecuencias inferiores a 10 MHz la longitud de onda de la radiación es superior a 30 m, por lo que en muchas ocasiones la exposición ocurrirá en el campo próximo a la fuente de radiación. En esas circunstancias hay que verificar que se respetan ambos límites, el de intensidad de campo eléctrico y el de campo magnético.

Efectos de las microondas y radiofrecuencias

EL EFECTO MEJOR CONOCIDO DE LAS EXPOSICIONES A MICROONDAS Y RADIOFRECUENCIAS ES EL CALENTAMIENTO DE LOS TEJIDOS

Evaluación de las exposiciones

LOS EFECTOS NO TÉRMICOS DE LA EXPOSICIÓN A RADIACIONES DE RADIOFRECUENCIA Y MICROONDAS NO SON BIEN CONOCIDOS

LOS VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN ESTÁN BASADOS EN LIMITAR LA ABSORCIÓN DE ENERGÍA

VALORES DE REFERENCIA PARA LA EXPOSICIÓN A RF-MO

Frecuencia	Intensidad del campo eléctrico E (V/m)	Intensidad del campo magnético H (A/m)	Densidad de flujo magnético B (μ T)	Densidad de potencia S (W/m^2)
0,065-1 MHz	610	1,6 / f	2 / f	-
1-10 MHz	610/f	1,6 / f	2/f	-
10-400 MHz	61	0,16	0,2	10
400-2.000 MHz	$3 \cdot f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	f / 40
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50

El margen de frecuencias de más absorción, el más agresivo, es el comprendido entre 10 y 400 MHz, que corresponde a las frecuencias usadas en las transmisiones de TV, FM y telecomunicaciones.

En cualquier caso, y teniendo en cuenta el desconocimiento de los efectos no térmicos de estas radiaciones, se debe evitar toda exposición innecesaria.

Control de las exposiciones

El control de la exposición debe basarse en la aplicación de medidas de protección colectiva, ya que la protección individual prácticamente no es aplicable a este tipo de radiaciones.

Las medidas habituales de protección incluyen:

- Cerramiento de las fuentes.
- Separación entre las fuentes y las personas.
- Disminución de los tiempos de exposición.
- Reorientación de las antenas para que su zona de radiación no pase por zonas ocupadas.
- Señalización de zonas para evitar el acceso.
- Sistemas de enclavamiento de las máquinas que impidan el uso no autorizado.

La señalización, así como la formación y entrenamiento del personal, son fundamentales para conseguir implantar unos procedimientos de trabajo que eviten las exposiciones innecesarias.

CAMPOS MAGNÉTICOS Y ELÉCTRICOS ESTÁTICOS Y RADIACIÓN ELF (< 30 KHZ)

Teniendo en cuenta la relación existente entre frecuencia y longitud de onda, la radiación de frecuencia extremadamente baja

tiene una longitud de onda muy elevada (superior a 10 km para frecuencias inferiores a 30 kHz). En estas condiciones la exposición laboral siempre ocurrirá en la zona de radiación próxima a la fuente (campo cercano) y los efectos de la exposición deben considerarse independientemente para los campos magnético y eléctrico.

Sin duda el origen mayoritario de exposición a estos campos son las líneas eléctricas de transporte de energía y las instalaciones asociadas (estaciones transformadoras, centrales de producción y distribución, etc.). Alrededor de un cable por el que circula una corriente eléctrica alterna de 50 Hz se crea un campo eléctrico y otro magnético de esa frecuencia y cualquier persona situada en sus proximidades estará expuesta a él. La extensión del uso de la energía eléctrica permite afirmar que no hay nadie que no esté expuesto a un campo electromagnético de 50 HzL; una vez más el problema no es la exposición, sino la determinación de la exposición tolerable o de los valores límite.

En este rango de frecuencias no es habitual medir, o expresar los límites, en unidades de intensidad del campo magnético, sino de densidad de flujo magnético que se representa por B y se mide en teslas (T). La densidad de flujo magnético equivale al producto de la intensidad del campo por la permeabilidad magnética del medio

$$B = \mu_0 H$$

siendo

B: la densidad de flujo magnético (T).

μ_0 : la permeabilidad del medio (= $400 \cdot \pi \cdot 10^{-9}$ T/(A/m) para el aire o el cuerpo humano).

H: la intensidad del campo magnético (A/m).

En los últimos años se han dedicado muchos esfuerzos para identificar los efectos biológicos de las exposiciones a campos electromagnéticos que se relacionan con la capacidad de estos campos de inducir corrientes eléctricas y con las consecuencias que se pueden derivar de ello en el cuerpo humano. Los efectos fisiológicos mejor descritos son los fotofosfenos, que consisten en la sensación de fognazos o destellos luminosos en el interior del ojo. También se han descrito experimentos de laboratorio mostrando alteraciones en los intercambios de iones en los fluidos biológicos y modificaciones en los niveles hormonales.

Los estudios epidemiológicos que intentan encontrar asociaciones significativas entre grupos de trabajadores expuestos (trabajadores del sector eléctrico y de telecomunicaciones, soldados, mantenedores de líneas de distribución, etc.) y ciertas

Efectos sobre la salud

LOS ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS SOBRE LA RELACIÓN ENTRE LA EXPOSICIÓN A RADIACIONES ELF Y EL RIESGO NO SON CONCLUYENTES

enfermedades de tipo canceroso (leucemia, cáncer cerebral, cáncer de colon, etc.) son contradictorios y en el momento actual no hay ninguna conclusión definitiva.

Los experimentos con animales para determinar la posible toxicidad para la reproducción de los campos electromagnéticos tampoco han dado, por el momento, resultados concluyentes.

Evaluación de la exposición

Los valores de referencia normalmente utilizados para la evaluación de exposiciones a campos y ondas electromagnéticos de tipo estático, de ELF, radiofrecuencia o microondas se indican en las tablas de la página siguiente y son las que publica la IRPA-ICNIRP. Esos criterios son también los que asume la Directiva 2004/40/CE, con excepción de los relativos a campos estáticos que se discuten en la actualidad.

VALORES DE REFERENCIA PARA LOS CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

Frecuencia	Intensidad del campo eléctrico E (V/m)	Intensidad del campo magnético H (A/m)	Densidad de flujo magnético B (μ T)
<1 Hz	-	$1,63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
1-8 Hz	20.000	$1,63 \cdot 10^5 / f^2$	$2 \cdot 10^5 / f^2$
8-25 Hz	20.000	$2,104 / f$	$2,5 \cdot 10^4 / f$
0,025-0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$
0,82-65 kHz	610	24,4	30,7

Control de las exposiciones

En la práctica hay pocas medidas técnicas que puedan implantarse para reducir las exposiciones. Los sistemas de apantallamiento basados en el principio de la jaula de Faraday son eficaces para reducir la intensidad del campo eléctrico, pero poco eficientes para el magnético.

El alejamiento de las fuentes (o de las personas) y la limitación de los tiempos de permanencia en las zonas en las que existan campos son las soluciones reales que se pueden prever para limitar los riesgos.

Se deben adoptar medidas de protección para los riesgos derivados de las fuerzas mecánicas producidas por un campo

magnético sobre herramientas ferromagnéticas o prótesis médicas.

Las intensidades de campo eléctrico superiores a 7 kV/m pueden generar riesgos de seguridad tales como las situaciones de alarma asociadas a las descargas de chispas o corrientes de contacto, también pueden ser origen de incendios. Deben conectarse todos los objetos a tierra o utilizar guantes aislantes cuando se deban manejar objetos no conectados a tierra. Una medida aconsejable es utilizar medios de protección individual (guantes, trajes, aislamientos) si la intensidad de campo es superior a 15 kV/m.

Los campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia (incluso de 50 - 100 Hz) pueden interferir en el funcionamiento de marcapasos y dispositivos médicos electrónicos. Si no se dispone de información específica por parte del fabricante del dispositivo, se recomienda limitar la exposición de las personas con marcapasos o dispositivos médicos electrónicos a campos eléctricos de intensidad inferior a 1 kV/m o campos magnéticos de densidad inferior a 0,5 mT.

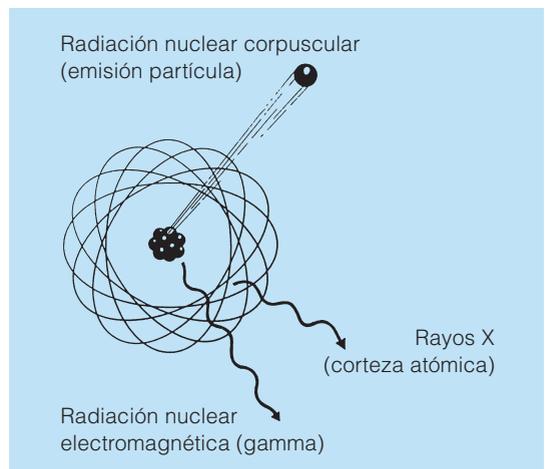
LA SEPARACIÓN FÍSICA Y LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE EXPOSICIÓN SON LAS HERRAMIENTAS DISPONIBLES PARA REDUCIR LOS RIESGOS DE LAS EXPOSICIONES A CAMPOS DE ELF

NATURALEZA DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Con el nombre de radiaciones ionizantes (RI) se identifican aquellas radiaciones que al interactuar con la materia alteran la estructura atómica originando partículas con carga eléctrica (iones), es decir, producen la ionización de los átomos.

El origen de estas radiaciones siempre es atómico. Se pueden producir en el núcleo del átomo o en los orbitales y pueden ser de naturaleza electromagnética o corpuscular. Las radiaciones ionizantes de naturaleza electromagnética son similares, en naturaleza física, a cualquier otra radiación electromagnética pero tienen una longitud de onda inferior a 100 nm, lo que implica una energía fotónica tan elevada que, cuando la radiación es absorbida por un átomo, éste se ioniza. Las radiaciones corpusculares están constituidas por partículas subatómicas moviéndose a velocidades próximas a la velocidad de la luz.

Siempre ha existido una radiación natural, procedente del espacio (radiación cósmica) o procedente de los elementos radiactivos que existen en nuestro planeta (radiación terrestre), dando lugar a una determinada dosis de radiación absorbida por el ser humano, cuyo nivel varía de unos lugares a otros del planeta. Se habla también de radiación interna natural cuando, por ingestión o inhalación de radionucleidos procedentes del medio ambiente, la radiación se detecta “dentro” del organismo.



A esta radiación natural debe sumarse la radiación procedente de actividades en las que se emplean tecnologías que utilizan fuentes radiactivas o equipos generadores de RI. Las dosis recibidas por el hombre a causa de esta radiación artificial son debidas en su mayor parte a los usos de RI en medicina, pero también pueden darse exposiciones como consecuencia del uso de RI en aplicaciones militares, actividades industriales y centrales nucleares.

Estructura atómica

La materia está constituida por átomos, que son la cantidad más pequeña de la materia que conserva las propiedades específicas de cada elemento. El átomo está constituido por el núcleo, compuesto de protones y neutrones, y la corteza, constituida por electrones, normalmente distribuidos en capas alrededor del núcleo. Los protones tienen carga positiva, los electrones carga negativa y los neutrones no tienen carga. Los isótopos de un elemento simple son átomos que tienen el mismo número de protones pero diferente número de neutrones.

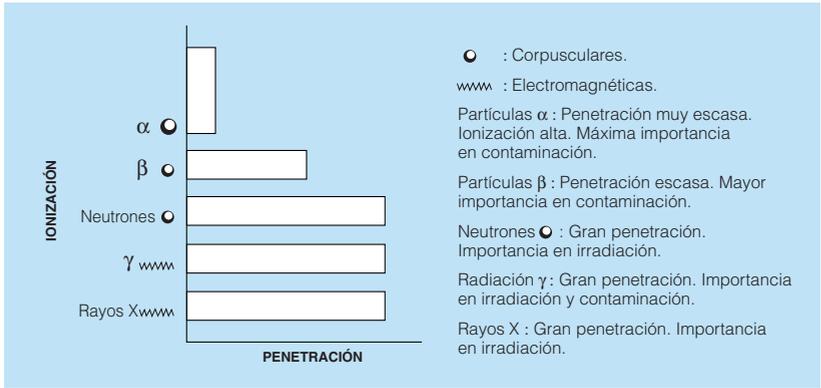
Radiactividad

Los átomos de algunos elementos, tanto naturales como producidos artificialmente, son inestables y tienden a pasar a su estado fundamental o de mínima energía mediante cambios en su estructura y la consiguiente emisión de una radiación. A este fenómeno se le conoce como “radiactividad” y a los elementos que lo producen como “radionucleidos” o “radioisótopos”. Este proceso de “autodestrucción” espontánea es continuo hasta llegar a un átomo estable (por ejemplo: un átomo de uranio natural, después de experimentar una serie de desintegraciones, se convierte en un átomo de plomo que es el átomo estable final).

De este proceso de desintegración atómica se deducen las dos consecuencias más significativas de la radiactividad: a) no es posible eliminar o evitar artificialmente la radiactividad de un átomo inestable; y b) los átomos inestables tienen una vida limitada, aunque en ocasiones puede ser de centenares o miles de años.

Tipos de radiaciones y características

Entre las radiaciones emitidas por los átomos existen varios tipos, siendo las más frecuentes: la desintegración “ α ”, la desintegración “ β ”, la producción de neutrones, la emisión “ γ ” y la emisión de rayos X. Las características varían de un tipo a otro de radiación, siendo importante considerar su energía y su capacidad de penetración, que en gran parte son consecuencia de su naturaleza (corpúscular o electromagnética).



Radiación α

Es la emisión de partículas formadas por núcleos de Helio. Tienen una energía muy elevada y muy baja capacidad de penetración. Pueden ser absorbidas por una hoja de papel.

Radiación β

Es la emisión de un electrón desde el núcleo del átomo como consecuencia de la transformación de un neutrón en un protón y un electrón.

Radiación β⁺

Es la emisión de un positrón, partícula de masa igual al electrón y carga positiva. Es el resultado de la transformación de un protón en un neutrón y un positrón.

Todas las radiaciones β tienen un nivel de energía menor que las α y una capacidad de penetración algo mayor; son absorbidas por una lámina de metal.

Radiación de neutrones

Es la emisión de partículas sin carga, de alta energía y gran capacidad de penetración. No existen fuentes naturales de producción de neutrones.

Radiación γ

Son radiaciones electromagnéticas procedentes del núcleo del átomo, tienen la misma naturaleza que las radiaciones electromagnéticas no ionizantes, pero de longitud de onda inferior (≤100 nm). Tienen menor nivel de energía que las α y β y mayor capacidad de penetración, lo que dificulta su absorción por los apantallamientos.

Rayos X

También son de naturaleza electromagnética pero se originan en los orbitales atómicos como consecuencia de la acción

de electrones rápidos sobre la corteza del átomo. Son las radiaciones de menor energía pero presentan una gran capacidad de penetración, siendo absorbidos sólo por apantallamientos especiales de grosor elevado.

Magnitudes y unidades de medida

El número de transformaciones nucleares espontáneas que se suceden en la unidad de tiempo se denomina actividad (A) y su unidad de medida en el sistema internacional (SI) es el becquerel (Bq) que equivale a una desintegración por segundo. La unidad en el sistema cegesimal es el curie (Ci) que equivale a $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq. Otra magnitud que caracteriza a un radionucleido es el período de semidesintegración (T), que es el tiempo necesario para que su actividad se reduzca a la mitad. Esta magnitud es muy variable de unos átomos a otros: el Uranio-235 (^{235}U) tiene un período de semidesintegración de $7,10 \cdot 10^8$ años, mientras que el Yodo-131 (^{131}I) lo tiene de sólo 8,04 días.

El nivel de energía de una radiación ionizante se mide en electronvolts (eV), kiloelectronvolts (keV) o mega-electrón-volts (MeV). El electronvolt corresponde a la energía que adquiere un electrón cuando se le aplica, en el vacío, una diferencia de potencial de 1 volt y equivale a $1,6 \cdot 10^{-19}$ joules.

Para evaluar los efectos de las radiaciones sobre la materia inerte o los seres vivos se utilizan las magnitudes “dosis absorbida” y “dosis equivalente”. La dosis absorbida (D) es la cantidad de energía cedida por la radiación a la unidad de masa de la materia irradiada. La unidad de medida en el SI es el gray (Gy) que equivale a 1J/kg. En el sistema cegesimal es el rad (*radiation absorbed dose*) que equivale a 0,01 Gy.

VALORES DEL FACTOR DE PONDERACIÓN DE LA RADIACIÓN W_R

Tipo y rango de energía	W_R	
Fotones, todas las energías	1	
Electrones y muones, todas las energías	1	
Neutrones, de energía	<10 KeV	5
	>10 KeV a 100 KeV	10
	>100 KeV a 2 MeV	20
	>2 MeV a 20 MeV	10
	>20 MeV	5
Protones, salvo los de retroceso, de energía >2 MeV	5	
Partículas alfa, fragmentos de fisión, núcleos pesados	20	

La dosis equivalente considera el daño producido. Es el producto de la dosis absorbida (D) por un factor de ponderación W_R que depende del tipo de radiación (ver tabla). La unidad de medida en el SI es el sievert (Sv) que equivale a 100 rems, en el sistema cegesimal. El sievert es una unidad muy grande para su utilización en protección radiológica y por ello es habitual utilizar sus submúltiplos, el milisievert (mSv) y el microsievert (μSv).

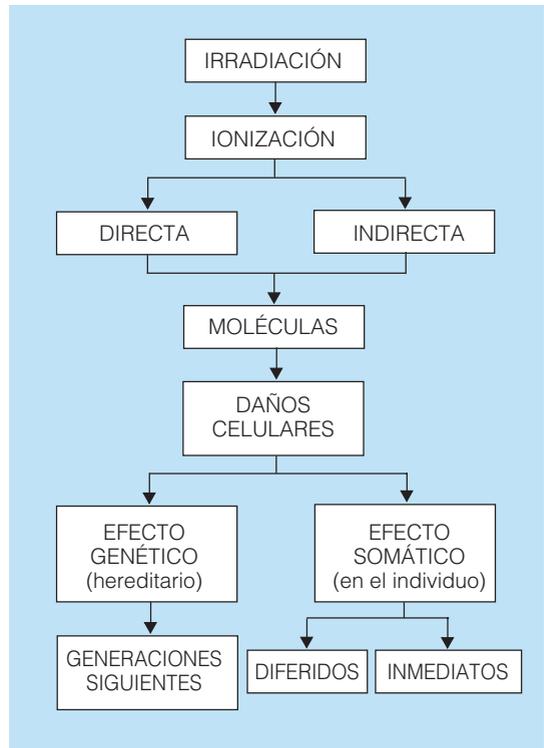
EFFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Los efectos biológicos producidos por las RI son la respuesta del organismo como consecuencia de la energía absorbida por la interacción con ellas. Esta interacción provoca alteraciones por la ionización de las moléculas constitutivas del organismo. En la figura se muestra el esquema de acción de las radiaciones ionizantes en el organismo.

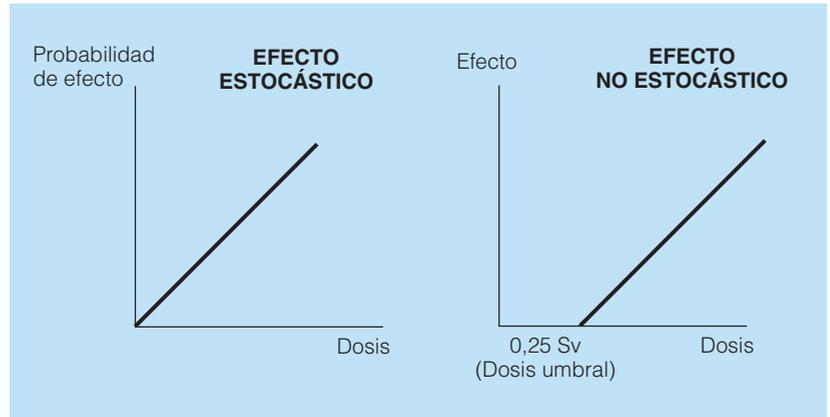
Los daños biológicos más importantes producidos en la célula se deben a la acción sobre las moléculas de ADN (ácido desoxirribonucleico), que juegan un importante papel en la vida celular. La radiación puede producir fragmentaciones en las moléculas de ADN, dando origen a aberraciones cromosómicas e incluso a la muerte celular, o bien puede ocasionar transformaciones en la estructura química de la molécula que afectan al mensaje genético.

Es importante tener en cuenta que la interacción de la radiación con las células es una función de probabilidad, es decir, la radiación puede interaccionar o no con la molécula y, en caso de interaccionar, puede producir o no daños en la célula. Asimismo, la acción sobre la célula no es selectiva de manera que la energía de la radiación se deposita aleatoriamente en cualquier molécula, sin ningún tipo de preferencia.

Como consecuencia de ello, los daños producidos en el organismo son inespecíficos, es decir, no son distintos a los producidos por otras causas, y pueden tener tanto carácter somático (manifestándose en el propio individuo) como



genético (apareciendo en generaciones posteriores). A su vez, estos efectos en el individuo pueden aparecer inmediatamente después de la exposición (efectos inmediatos) o manifestarse después de un periodo de tiempo (efectos diferidos), y tienen carácter “estocástico o “no estocástico”, en función de si la relación dosis-respuesta es probabilística o el efecto se manifiesta a partir de un determinado nivel de dosis llamada dosis umbral. Ambos efectos pueden darse simultáneamente.



INSTALACIONES NUCLEARES Y RADIATIVAS

La utilización de los rayos X fue una de las primeras aplicaciones de las RI. Al cabo de muy poco tiempo de iniciarse su utilización, se hizo patente la necesidad de protegerse contra los efectos perjudiciales de las radiaciones. Así, en el año 1928 se creó la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), organismo dedicado al estudio de los efectos de las RI y de los riesgos de su utilización. Posteriormente, en la mayor parte de países, se han ido estableciendo normativas que regulan la utilización de las RI, el transporte y almacenamiento de productos y materiales radiactivos así como la protección contra las mismas.

La utilización de la energía nuclear comenzó a estar regulada en España por la Ley Reguladora de la Energía Nuclear (Ley 25/1964, modificada por la Ley 24/2005). En la actualidad está vigente el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas (RD 1836/1999, modificado por el RD 35/2008), que define lo que se considera como una instalación nuclear y una instalación radiactiva, así como las autorizaciones necesarias para su funcionamiento y el cese de su actividad, y los procedimientos administrativos de control.

Son instalaciones nucleares:

- Las centrales nucleares.
- Los reactores nucleares.
- Las fábricas que utilicen combustibles nucleares o se proceda al tratamiento de sustancias nucleares, incluidas las instalaciones de tratamiento o reprocesado de combustibles nucleares irradiados.
- Las instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares.
- Los dispositivos o instalaciones que utilicen reacciones nucleares de fusión o fisión para producir energía o con vistas a la producción o desarrollo de fuentes energéticas.

Instalaciones nucleares

Se consideran instalaciones radiactivas:

- Las instalaciones de cualquier clase que contengan una fuente de radiación ionizante.
- Los aparatos productores de radiaciones ionizantes que funcionen a una diferencia de potencial superior a 5 kV.
- Los locales, laboratorios, fábricas e instalaciones donde se produzcan, utilicen, posean, traten, manipulen o almacenen materiales radiactivos, excepto el almacenamiento incidental durante su transporte.

Instalaciones radiactivas

La definición de instalación radiactiva es muy amplia y, como idea general, es válido enunciar que cualquier instalación, máquina o local en el que exista una fuente radiactiva o un generador de radiación ionizante (aparatos de rayos X o aceleradores de partículas) tiene la consideración reglamentaria de instalación radiactiva.

De acuerdo con el Anexo I del RD 1836/1999, modificado por el RD 35/2008, no se consideran instalaciones radiactivas aquellas en las que intervengan:

- Sustancias radiactivas, si la actividad o la actividad por unidad de masa no superan los valores de exención indicados en la Instrucción IS/05 del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).
- La utilización de aparatos que contengan las sustancias radiactivas anteriores, siempre y cuando correspondan a un tipo aprobado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- La utilización de todo tubo catódico destinado a proporcionar imágenes visuales u otro aparato eléctrico que funcione con una diferencia de potencial que no sea superior a 30 kV,

AUNQUE HAY EXCEPCIONES, EN PRINCIPIO CUALQUIER INSTALACIÓN, MÁQUINA O LOCAL EN EL QUE EXISTAN FUENTES RADIATIVAS O GENERADORES DE RADIACIÓN IONIZANTE ES UNA "INSTALACIÓN RADIATIVA"

y microscopios electrónicos, siempre que no presenten, en condiciones normales de funcionamiento, una tasa de dosis superior a $1\mu\text{Sv/h}$ en ningún punto situado a 0,1 m de la superficie accesible del aparato.

- El manejo de aparatos que emitan radiaciones ionizantes, siempre y cuando sean de un tipo aprobado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- El material contaminado con sustancias radiactivas procedentes de evacuaciones autorizadas, que hayan sido declaradas por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, previo informe del CSN, como no sometidas a controles posteriores.

El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, previo informe del CSN, puede declarar exentas otras prácticas cuando la dosis efectiva esperable para cualquier miembro del público a causa de la práctica exenta sea del orden de $10\mu\text{Sv}$ al año o inferior, y la dosis colectiva efectiva comprometida por cada año de la ejecución de la práctica no sea superior a $1\mu\text{Sv}$ persona, o bien que una evaluación de la optimización de la protección radiológica muestre que la exención es la condición óptima.

Clasificación de las instalaciones radiactivas

Las instalaciones radiactivas se dividen en tres categorías, de acuerdo con las modificaciones introducidas por el RD 35/2008. Para las instalaciones de segunda y tercera categoría se toma como referencia la actividad por nucleido exenta que se establece en Instrucción IS/05 del CSN.

a) Instalaciones de 1ª categoría

- Las instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear, donde se incluyen las fábricas de producción de uranio, torio y sus compuestos, y las fábricas de producción de elementos combustibles del uranio natural.
- Las instalaciones que utilicen fuentes radiactivas con fines de irradiación industrial.
- Las instalaciones complejas en las que se manejen inventarios muy elevados de sustancias radiactivas o se produzcan haces de radiación de muy elevada fluencia de energía de forma que el potencial impacto radiológico de la instalación sea significativo.

b) Instalaciones de 2ª categoría

LAS AUTORIZACIONES ADMINISTRATIVAS Y LOS REQUISITOS DE FUNCIONAMIENTO QUE DEBEN CUMPLIR LAS INSTALACIONES RADIATIVAS DEPENDEN DE SU CATEGORÍA

Se incluyen en esta categoría, siempre que no proceda su clasificación como de primera categoría, las siguientes instalaciones:

- Las instalaciones donde se manipulen o almacenen nucleidos radiactivos que puedan utilizarse con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales, cuya actividad total sea igual o superior a mil veces los valores de exención que se establecen en la Instrucción IS-05 del CSN.
- Las instalaciones que utilicen aparatos generadores de rayos X que puedan funcionar con una tensión de pico superior a 200 kilovoltios.
- Los aceleradores de partículas y las instalaciones donde se almacenen fuentes de neutrones.
- Las instalaciones en que la actividad sea igual o superior a mil veces la de exención.
- En el caso de mezcla de isótopos, las instalaciones en que la suma de los cocientes entre la actividad presente de cada isótopo y la de exención es igual o superior a mil.

c) Instalaciones de 3ª categoría.

- Las instalaciones donde se manipulan o almacenan nucleidos radiactivos cuya actividad total sea superior a los valores de exención establecidos en la Instrucción IS-05 del CSN e inferior a mil veces los mismos.
- Las instalaciones que utilicen aparatos generadores de rayos X cuya tensión de pico sea inferior a 200 kilovoltios.
- Las instalaciones en que intervenga una actividad superior a la de exención e inferior a mil veces ésta.
- En caso de mezcla de isótopos, las instalaciones en que la suma de los cocientes entre la actividad presente de cada isótopo y la de exención se sitúa entre uno y mil.

Toda instalación radiactiva está obligada a recibir inspecciones periódicas, normalmente anuales, que serán realizadas por personal facultativo del Ministerio de Industria y Energía, del CSN y, en su caso, por personal de las Comunidades Autónomas que tengan encomendadas estas funciones.

Autorizaciones administrativas

Toda instalación radiactiva deberá disponer de autorización de acuerdo con el tipo de instalación y categoría.

Las instalaciones radiactivas de primera categoría requieren: autorización previa o de emplazamiento, autorización de construcción, autorización de explotación, autorización de desmantelamiento y clausura y, en su caso, autorización de modificación y de cambio de titularidad.

NINGUNA INSTALACIÓN RADIATIVA PUEDE INICIAR SU FUNCIONAMIENTO ANTES DE DISPONER DE LA NOTIFICACIÓN PARA LA PUESTA EN MARCHA QUE AUTORIZA AL TITULAR EL INICIO DE LAS OPERACIONES

Las instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría requieren: autorización de funcionamiento, declaración de clausura y, si es necesario, autorización de modificación y de cambio de titularidad.

La documentación exigida para la solicitud de la autorización de funcionamiento consta de una memoria descriptiva de la instalación, un estudio de seguridad, la verificación de la instalación, el reglamento de funcionamiento, el plan de emergencia de la misma, la relación prevista de personal con la organización establecida, incluyendo la definición de las responsabilidades correspondientes a cada puesto de trabajo, y el presupuesto económico de la inversión.

Las instalaciones industriales de primera categoría tienen que incluir la información sobre el emplazamiento y los terrenos circundantes. Además se adjuntará la organización prevista para garantizar la calidad durante la construcción y el funcionamiento, incluyendo el manual de garantía de calidad.

Las autorizaciones serán otorgadas por el Director General de Política Energética y Minas, con excepción de las instalaciones de primera categoría que serán concedidas por el Ministro de Industria, Turismo y Comercio previo informe del CSN y las alegaciones de la Comunidad Autónoma correspondiente.

Cambios y modificaciones de la instalación radiactiva que requieren autorización

Requieren autorización del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, los cambios y modificaciones que afecten a los siguientes aspectos:

- Titularidad de la instalación.
- Localización de la instalación.
- Actividades a que faculta la autorización concedida.
- Categoría de la instalación.
- Incorporación de nuevos equipos aceleradores de partículas que generen radiaciones ionizantes o modificación de los existentes.
- Incorporación de material radiactivo adicional, no autorizado previamente, con actividad total superior a 3,7 GBq.
- Cambios en los equipos y cambios estructurales que requieran una modificación sustancial de las condiciones de la autorización que puedan afectar de forma significativa a la seguridad nuclear y protección radiológica.

El CSN establecerá cuándo la modificación requiere una ins-

pección previa y una notificación previa de puesta en marcha. Así mismo estas modificaciones requerirán la autorización del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, informe del CSN y alegaciones de la Comunidad Autónoma correspondiente.

Los cambios y modificaciones que afecten a otros aspectos del diseño o de las condiciones de operación autorizadas de la instalación requerirán únicamente la aceptación expresa del CSN antes de su implantación, informando este organismo al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

El resto de los cambios y modificaciones serán de libre implantación por los titulares, que informarán al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y al CSN sobre las mismas en los informes anuales.

Además de lo anterior, en todos los casos el titular remitirá al Ministerio de Industria, Turismo y Minas y al CSN la revisión de los documentos que deben acompañar a la solicitud de instalación que resulten afectados por la modificación.

Capacitación del personal

El personal que manipule material o equipos radiactivos y el que dirija dichas actividades deberá estar provisto de una licencia específica concedida por el CSN.

Existen dos tipos de licencias: la licencia de supervisor, que capacita para dirigir y planificar el funcionamiento de una instalación radiactiva y las actividades de los operadores, y la licencia de operador, que capacita para la manipulación de materiales o equipos productores de radiaciones ionizantes, conforme a los procedimientos e instrucciones preestablecidos.

LA LICENCIA DE SUPERVISOR CAPACITA PARA DIRIGIR UNA INSTALACIÓN RADIATIVA Y LA PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE LOS OPERADORES DE LA INSTALACIÓN

Tal y como se muestra en la tabla, las licencias de operador y supervisor tienen un plazo máximo de validez de seis años y un mínimo de cinco años, son personales e intransferibles y específicas por campo de aplicación. El CSN establece los campos de aplicación en que deben encuadrarse las actividades del personal con licencia, según la finalidad y tipo de instalación.

LA LICENCIA DE OPERADOR CAPACITA PARA LA MANIPULACIÓN DE MATERIALES O EQUIPOS GENERADORES DE RADIACIONES IONIZANTES

Documentación de la actividad

En toda instalación radiactiva autorizada debe disponerse de un “diario de operación” en el que se refleje de forma clara y concreta toda la información referente a la operación de la instalación. El diario deberá estar numerado, autorizado, sellado y registrado por el CSN.

LICENCIAS			
TIPO DE INSTALACIÓN	TAREAS	TIPO DE LICENCIAS	CARACTERÍSTICAS
Instalaciones nucleares o radiactivas del ciclo de combustible nuclear	Dirigir la operación Operar los dispositivos de control y protección	Licencia de supervisor Licencia de operador	Plazo de validez de máximo seis años y mínimo de cinco Personales, intransferibles, específica para la instalación de que se trate
Instalaciones radiactivas	Dirigir y planificar el funcionamiento de una IR y las actividades de los operadores Manipular materiales o equipos productores de radiaciones ionizantes	Licencia de supervisor Licencia de operador	Plazo de validez máximo de seis años y mínimo de cinco años. Personales, intransferibles y específicas del campo de aplicación
Instalaciones de Rayos X con fines de diagnóstico médico (normativa específica, RD 1891/1991)	Dirigir y operar las instalaciones	Acreditaciones ante el CSN	

Atendiendo a la naturaleza de la instalación, deberán figurar, con fecha y hora: puesta en marcha, nivel de protección y operación, paradas, incidencias de cualquier tipo, comprobaciones, operaciones de mantenimiento, modificaciones, niveles de actividad, descarga de efluentes radiactivos al exterior y almacenamiento y evacuación de residuos radiactivos sólidos.

Responsabilidades

El responsable de la instalación radiactiva es siempre el titular de la misma y está obligado a archivar los registros que se obtengan de los equipos de medida existentes en la instalación. También está obligado a presentar, en la Dirección General de la Energía y en el CSN, el informe anual de la instalación, los informes sobre incidencias o comportamientos anómalos o defectuosos, los informes de pruebas o comprobaciones periódicas, así como cualquier otro informe requerido por el CSN.

IRRADIACIÓN Y CONTAMINACIÓN

Se denomina “irradiación” a la transferencia de energía de un material radiactivo a otro material, sin que sea necesario un contacto físico entre ambos, y “contaminación radiactiva” a la

presencia indeseada de productos radiactivos en cualquier superficie, materia o medio, incluyendo las personas. Es evidente que toda contaminación da origen a una irradiación.

Se trata de una irradiación externa cuando, por la naturaleza de la radiación y el tipo de trabajo, el trabajador sólo está expuesto mientras la fuente de radiación está activa y no puede existir contacto directo con un material radiactivo; es el caso de los generadores de rayos X, los aceleradores de partículas o la exposición o manipulación de fuentes encapsuladas en las que hay garantía de que la sustancia radiactiva no va a dispersarse en el ambiente.

Si la sustancia radiactiva puede ingresar en el organismo del trabajador por cualquier vía (respiratoria, dérmica, digestiva o parenteral), se habla de un riesgo de contaminación radiactiva. Esta situación es mucho más grave que la simple irradiación, ya que la persona sigue estando expuesta a la radiación aunque se aleje de la fuente o abandone el puesto de trabajo. Sólo cesará la exposición cuando por los procesos metabólicos normales elimine los radionucleidos del organismo o desaparezca por decaimiento natural la actividad radiactiva de los mismos.

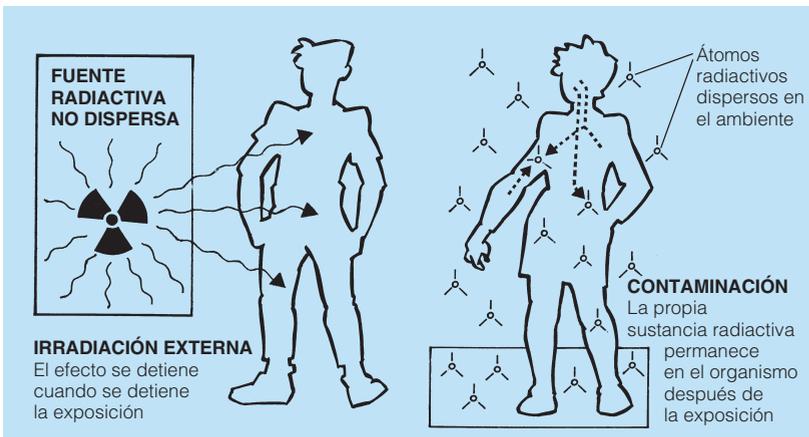
Al hecho de que una persona esté sometida a la acción y los efectos de las RI se le denomina "exposición". Atendiendo a la forma como se produce la exposición, se pueden hacer clasificaciones del tipo de exposición.

Tipos de exposiciones

Según el origen de la radiación, la exposición puede ser:

- *Externa*: exposición del organismo a fuentes exteriores a él.
- *Interna*: exposición del organismo a fuentes interiores a él.
- *Total*: suma de las exposiciones externas e internas.

Según el patrón temporal la exposición se clasifica en:



- *Continua*: exposición externa prolongada, cuyo nivel puede variar con el tiempo, o exposición interna por incorporación permanente de radionucleidos, cuyo nivel puede también variar con el tiempo.
- *Única*: exposición externa de corta duración o exposición interna resultante de una incorporación de radionucleidos en un corto período de tiempo.

Según la parte del cuerpo humano expuesta a la radiación, esta puede ser:

- *Global*: exposición considerada como homogénea en el cuerpo entero.
- *Parcial*: exposición sobre uno o varios órganos o tejidos, sobre una parte del organismo o sobre el cuerpo entero, considerada como no homogénea.

En caso de contaminación radiactiva y en relación con el organismo humano, según que los radionucleidos estén depositados en la piel, los cabellos o las ropas, o bien hayan penetrado en el interior del organismo, se considerará “contaminación externa” o “contaminación interna”, respectivamente. La gravedad del posible daño producido por la irradiación debida a una contaminación radiactiva estará en función de la actividad y el tipo de radiaciones emitidas por los radionucleidos. Por ejemplo, el riesgo de irradiación por contaminación es mayor si se trata de radiaciones α o β que si consiste en radiación γ .

MEDIDA DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Los instrumentos de detección y medida de las radiaciones ionizantes se basan en la utilización de alguno de los fenómenos que se manifiestan cuando la radiación interacciona con la materia. Teniendo en cuenta su funcionalidad, los instrumentos de medida se pueden clasificar en dos grupos: detectores de radiación y dosímetros. Los detectores indican la dosis en un tiempo corto mientras que los dosímetros están diseñados para medir la dosis recibida durante periodos de tiempo relativamente largos.

LA MEDIDA DE LA INTENSIDAD DE LAS RADIACIONES IONIZANTES SE REALIZA CON DETECTORES DE RADIACIÓN Y DOSÍMETROS DE RADIACIÓN

Detectores de radiación

Un detector de radiación es un instrumento de lectura directa, generalmente portátil, que indica en una pantalla la tasa de radiación, es decir, la dosis de radiación en un periodo de tiempo corto, habitualmente dosis por minuto. Muchos modelos también disponen de un altavoz que emite pulsos de sonido en pro-

porción a la tasa de radiación. Este tipo de instrumentos es útil para tareas de inspección de equipos, medida de niveles de contaminación o medida de la radiactividad ambiental.

La mayor parte de instrumentos se basan en alguno de los siguientes fenómenos:

- a) Ionización de gases.
- b) Excitación de luminiscencia.
- c) Detectores de semiconductor.

Los detectores de ionización constan de una cámara llena de un gas en la que se encuentran dos electrodos a los que se aplica una diferencia de potencial. El paso de una radiación provoca la ionización del gas haciéndolo conductor, y se puede detectar el paso de una corriente eléctrica entre los electrodos cuya magnitud dependerá de la radiación. Los medidores basados en este principio son los medidores de cámara de ionización, los contadores proporcionales y los contadores Geiger-Müller. Las diferencias entre estos tres tipos de detectores residen en la disposición física de la cámara de gas, el espesor de las ventanas y la diferencia de potencial aplicada a los electrodos de medida. Se fabrican detectores adecuados para la medida de diferentes tipos de radiación (partículas α , partículas β o radiación electromagnética).

Los detectores de centelleo se basan en la propiedad de algunos sólidos cristalinos de producir luminiscencia cuando sobre ellos incide una radiación. Los destellos de luz pueden medirse con células fotoeléctricas apropiadas y obtener una medida de la radiación ya que la cantidad de luz producida por el material luminiscente depende de la energía de la radiación incidente. Variando la composición del cristal detector se pueden fabricar instrumentos para la detección y medida de radiaciones específicas.

Los detectores de semiconductor se basan en aplicar en las caras opuestas de un cristal semiconductor dos electrodos con una diferencia de potencial. El sistema evoluciona al paso de la radiación como una cámara de ionización en la que el transporte de cargas eléctricas es por medio de pares electrón-hueco. La velocidad de respuesta y la precisión de estos detectores es mejor que la de los instrumentos de centelleo.

Los dosímetros también son medidores de radiación pero están diseñados para medir la dosis de radiación durante periodos de tiempo relativamente largos (semanas o meses), y su utilización principal es medir la dosis a la que está expuesto el personal que trabaja, o que permanece, en zonas en las que existen radiaciones.

Dosímetros

Los fenómenos en que se basan los dosímetros son:

- a) Cámara de ionización
- b) Película fotográfica
- c) Termoluminiscencia

Los dosímetros de cámara de ionización tienen el aspecto de una pluma estilográfica. Mediante un cargador-lector se aplica a los electrodos de la cámara una diferencia de potencial. Debido a esta diferencia de potencial, uno de los electrodos, que está constituido por una fibra flexible metalizada se desvía; cuando la cámara queda afectada por radiaciones

UN DOSÍMETRO DE RADIACIÓN INDICA LA CANTIDAD DE ENERGÍA RADIANTE RECIBIDA DURANTE UN PERIODO DE TIEMPO RELATIVAMENTE LARGO

ionizantes la deflexión disminuye y se puede leer en una escala graduada la dosis recibida.

Los dosímetros de película se basan en el mismo principio que las radiografías con rayos X. El ennegrecimiento de la película sensible puede cuantificarse y obtener medidas de la dosis recibida. Los dosímetros de película tienen la ventaja de que se pueden conservar durante años las placas reveladas y mantener así un soporte documental de las exposiciones. Su inconveniente es que el procedimiento de medida es relativamente complejo (almacenamiento de las placas vírgenes, revelado, conservación, etc.) y debe hacerse siguiendo protocolos bien definidos para que los resultados sean fiables. Otro inconveniente es que la respuesta del material sensible a la radiación no es equivalente a la de los tejidos biológicos.

Los dosímetros de termoluminiscencia se basan en la propiedad de algunos cristales sólidos de almacenar la energía de la radiación electromagnética o corpuscular que reciben. El almacenamiento de energía se produce al quedar electrones excitados por la radiación "atrapados" en algunas zonas del cristal denominadas pozos o trampas. Al calentar un cristal irradiado los electrones pueden salir del pozo y liberar su energía en forma de luz que puede ser medida con células fotoeléctricas apropiadas. La cantidad de luz emitida depende de la dosis de radiación recibida por el material. Los cristales de fluoruro de litio son el material termoluminiscente más utilizado para fabricar dosímetros, ya que su respuesta es prácticamente equivalente a la del tejido biológico.

LOS DOSÍMETROS DE TERMOLUMINISCENCIA SON LOS MÁS UTILIZADOS EN LA ACTUALIDAD. ALMACENAN LA ENERGÍA RADIANTE RECIBIDA Y LA LIBERAN MÁS TARDE EN FORMA DE LUZ CUANDO SE CALIENTAN

Los dosímetros de película o termoluminiscentes tienen el aspecto de pequeñas placas de plástico o metal que pueden ser llevadas fácilmente en un bolsillo o sujetadas en el lugar que sea necesario. No tienen ningún dispositivo indicador, por

lo que la lectura del valor de la dosis de radiación requiere utilizar un lector específico para el dosímetro. Normalmente las lecturas de los dosímetros para evaluar las dosis personales se realizan con periodicidad mensual, aunque también existen dosímetros diseñados para ser utilizados en circunstancias en las que es necesario medir la dosis personal durante tiempos más cortos.

LÍMITES DE DOSIS

Los límites de dosis son valores que nunca deben ser sobrepasados y que pueden ser rebajados de acuerdo con los estudios de optimización y justificación adecuados. En el ámbito de la UE los límites de dosis se han ido reduciendo progresivamente y se encuentran recogidos en las sucesivas directivas EURATOM.

En nuestro país los límites de dosis están recogidos en el RD 783/2001 que aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. Estos límites se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa e interna en el período considerado y distinguen entre el personal profesionalmente expuesto y el público en general, además de ciertos casos especiales, como son las mujeres con capacidad de procrear o embarazadas, y determinadas operaciones especiales planificadas. Las dosis totales consideran tanto las dosis debidas a fuentes internas como a fuentes externas. Los valores se indican en la tabla adjunta.

En el caso de incorporación de radionucleidos en el organismo, se define el “límite anual de incorporación” como el nivel de actividad radiactiva que, introducida en el organismo, ocasiona, para un individuo dado, una dosis integrada igual al límite anual de dosis. Se entiende como “dosis integrada” la que sería recibida en cincuenta años por un órgano o tejido, como consecuencia de la incorporación de uno o varios radionucleidos.

El “límite derivado de concentración de un radionucleido en el aire inhalado” se define como la concentración media anual en el aire inhalado expresado en unidades de actividad por unidad de volumen, que en caso de ser inhalada por un individuo durante un año laboral de 2.000 horas daría lugar a una incorporación igual al límite de incorporación anual.

Es importante resaltar que los límites de dosis, y en consecuencia la necesidad de aplicar medidas preventivas, son extensivos a cualquier actividad laboral que, aunque no esté incluida en el ámbito de actividad radiactiva, suponga una exposi-

LOS VALORES LÍMITE DE DOSIS
DE RADIACIÓN SON DE OBLIGADO
CUMPLIMIENTO Y ESTÁN INDICADOS
EN EL RD 783/2001

LÍMITES DE DOSIS (RD 783/2001)	
DOSIS EFECTIVA ⁽¹⁾	
Personas profesionalmente expuestas	
Trabajadores	100 mSv/5 años oficiales consecutivos (máximo: 50 mSv/cualquier año oficial) ⁽²⁾
Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años) ⁽³⁾	6 mSv/año oficial
Personas profesionalmente no expuestas	
Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años) ⁽⁴⁾	1 mSv/año oficial
DOSIS EQUIVALENTE	
Personas profesionalmente expuestas	
Trabajadores	
Cristalino	150 mSv/año oficial
Piel ⁽⁵⁾	500 mSv/año oficial
Manos, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv/año oficial
Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años)	
Cristalino	50 mSv/año oficial
Piel ⁽⁵⁾	150 mSv/año oficial
Manos, antebrazos, pies y tobillos	150 mSv/año oficial
Personas profesionalmente no expuestas	
Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años)	
Cristalino	15 mSv/año oficial
Piel ⁽⁵⁾	50 mSv/año oficial
CASOS ESPECIALES	
Embarazadas (feto)	Debe ser improbable superar 1 mSv/embarazo
Lactantes	No debe haber riesgo de contaminación radiactiva corporal
EXPOSICIONES ESPECIALMENTE AUTORIZADAS	
Sólo trabajadores profesionalmente expuestos de categoría A: en casos excepcionales las autoridades competentes pueden autorizar exposiciones	

individuales superiores a los límites establecidos, siempre que sea con limitación de tiempo y en zonas delimitadas.

- (1) Dosis efectiva: suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo procedentes de irradiaciones internas y externas.
- (2) $10 \text{ mSv} = 1 \text{ rem}$
- (3) Sólo en caso de aprendices y estudiantes que por sus estudios estén obligados a utilizar fuentes radiactivas. En ningún caso se podrán asignar tareas a los menores de 18 años, que pudieran convertirlos en trabajadores expuestos.
- (4) Excepcionalmente se podrá superar este valor, siempre que el promedio durante 5 años consecutivos no sobrepase 1 mSv por año.
- (5) Calculando el promedio en cualquier superficie cutánea de 1 cm^2 , independientemente de la superficie expuesta.

ción a radiaciones ionizantes; por ejemplo trabajos de excavación o en sótanos en los que la radiactividad natural no sea despreciable.

En el caso de exposiciones de emergencia (de carácter voluntario) o de exposiciones accidentales (de carácter involuntario o fortuito) ha de considerarse la posibilidad de recibir dosis superiores a los límites citados.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Dado que no existe el umbral de no efecto para las radiaciones ionizantes la política de protección debe basarse en limitar el uso de las radiaciones ionizantes a las situaciones en que esté plenamente justificado por los beneficios que aporta, es decir, cuando los beneficios que se obtienen compensen los riesgos. En estos casos la utilización de RI ha de efectuarse procurando que el nivel de exposición y el número de personas expuestas sea lo más bajo posible.

Las normas aplicables a la protección contra las radiaciones ionizantes comprenden tanto el uso deliberado de fuentes y equipos radioactivos como la exposición a fuentes naturales de radiación (radón, torio, etc.) y se encuentran recogidas en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RD 783/2001).

El nivel de dosis de radiación recibida por un individuo, en las proximidades de una determinada fuente radiactiva, depende de tres factores fundamentales: el tiempo de exposición, la distancia entre la fuente y el individuo y la materia interpuesta entre ambos. En consecuencia, las medidas preventivas incidirán en estos aspectos.

Protección contra la irradiación externa

LA PROTECCIÓN CONTRA LA IRRADIACIÓN EXTERNA SE BASA EN: REDUCIR EL TIEMPO DE EXPOSICIÓN, AUMENTAR LA DISTANCIA A LA FUENTE Y APANTALLAR LA FUENTE

Limitación del tiempo de exposición

La dosis recibida es proporcional al tiempo de exposición, por lo que, reduciendo ese tiempo, disminuirá la dosis. La planificación previa de las operaciones, el conocimiento exacto de su desarrollo y un adecuado entrenamiento permiten en la mayor parte de los casos reducir considerablemente la irradiación del personal, eliminando pérdidas de tiempo y exposiciones innecesarias. Constituye una medida sencilla, eficaz y económica que no siempre es suficientemente utilizada.

Distancia a la fuente radiactiva.

La dosis recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el individuo y la fuente radiactiva. Por consiguiente, si se aumenta la distancia al doble, la dosis recibida se reducirá a la cuarta parte. Se recomienda, siempre que sea técnicamente posible, la utilización de mandos a distancia (sistemas telecomandados).

Apantallamiento o utilización de blindajes.

Toda radiación, al atravesar la materia, sufre una disminución de su intensidad. En función del tipo de radiación, energía de la misma y grado de atenuación a conseguir, deberá elegirse el tipo y espesor de blindaje adecuados. Así pues, una hoja de papel sería suficiente para detener la radiación α , la radiación β sería totalmente absorbida por unos pocos centímetros de algún material ligero (como vidrio, madera, etc.), mientras que para obtener un blindaje adecuado para la radiación γ o los rayos X es necesario emplear materiales pesados como el hormigón o el plomo.

En el caso de riesgo de irradiación por contaminación radiactiva, en el que hay o puede haber un contacto directo con la fuente radiactiva, las medidas preventivas se orientarán de cara a evitar el contacto. Como norma general, el personal que trabaja con fuentes radiactivas no encapsuladas debe conocer de antemano el plan de trabajo, los procedimientos y las personas

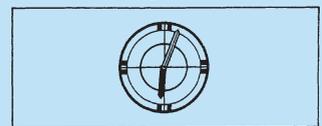


A mayor distancia, menor exposición y dosis

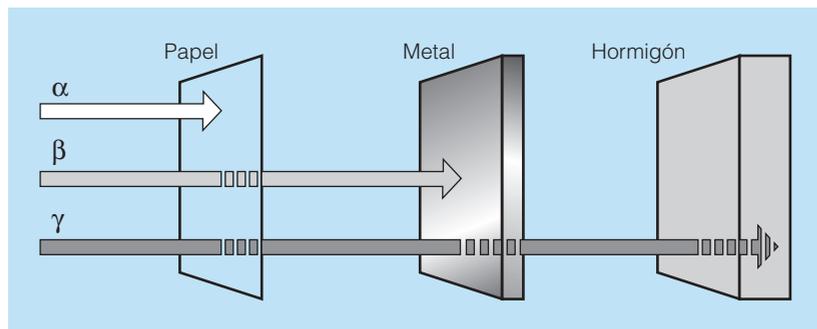


Un blindaje adecuado, permite acortar la distancia y reducir la dosis

No debe malgastarse el tiempo de exposición



La dosis siempre es proporcional al tiempo de exposición



que van a efectuar las distintas operaciones. El plan de trabajo contendrá, entre otras, información sobre: medidas preventivas que deben tomarse, procedimientos de descontaminación, gestión de residuos radiactivos, actuación en casos de accidentes o incidentes, así como acerca del plan de emergencia.

Las medidas específicas de protección contra la contaminación radiactiva están en función de la radiotoxicidad y actividad de las sustancias radiactivas y se establecen actuando tanto sobre las estructuras, instalaciones y zonas de trabajo como sobre el personal (equipos de protección individual).

LA PROTECCIÓN CONTRA LA CONTAMINACIÓN RADIATIVA SE BASA EN EVITAR CUALQUIER CONTACTO ENTRE EL MATERIAL RADIATIVO Y EL TRABAJADOR

Protección de las estructuras, instalaciones y zonas de trabajo

Las superficies deben ser lisas, exentas de poros y fisuras, de manera que permitan su fácil descontaminación.

Debe disponerse de sistemas de ventilación adecuados, especialmente cuando se manipulen productos volátiles. Estos sistemas han de permitir una evacuación eficaz de los vapores o aerosoles y disponer de filtros de alta eficacia que impidan la emisión al ambiente.

Es necesario establecer controles periódicos de las zonas de trabajo, de los materiales y de las ropas utilizadas para verificar la ausencia de contaminación.

Los materiales constructivos delimitadores de la zona deben tener la resistencia al fuego (RF) requerida y debe disponerse de los correspondientes sistemas de detección y extinción de incendios.

Protección del personal y procedimientos de trabajo

Además de las normas de tipo general, se han de contemplar las siguientes medidas y métodos de trabajo:

Es obligado llevar un control de los radioisótopos o radio-

nucleidos utilizados, desde su llegada hasta su salida, indicándose el tipo de radionucleido, su vida media y su actividad.

La manipulación de los radionucleidos es recomendable efectuarla siempre sobre bandejas recubiertas de algún material absorbente, con el fin de evitar la dispersión de la contaminación en el caso de derrames accidentales.

Todo el material utilizado en el área radiactiva, en tanto no haya sido descontaminado, debe considerarse como radiactivo, y debe estar identificado y no salir del área. Si se utiliza material de un solo uso (guantes, puntas de pipeta, etc.), debe considerarse como residuo radiactivo.

Se debe disponer de los equipos y prendas de protección necesarios en función del tipo de radionucleidos utilizados y de las operaciones a efectuar. Asimismo, debe disponerse de la información necesaria para su correcta manipulación. Los equipos y prendas de protección deben estar claramente señalizados y no han de salir del área si no han sido previamente descontaminados. No se debe permanecer con ropa de calle en el interior de la zona radiactiva.

En la instalación radiactiva debe estar absolutamente prohibido comer, beber, fumar y aplicarse cosméticos. A la salida de las zonas controladas o vigiladas es recomendable la instalación de detectores de radiación que permitan la detección de una posible contaminación.

Gestión de los residuos

La gestión de residuos radiactivos ha de ser específica y diferenciada, siendo necesario disponer de un plan de gestión de los mismos. Debe disponerse de contenedores perfectamente identificados y que proporcionen una protección suficiente. Es importante contemplar que, cuando la actividad de un radionucleido se reduce a cero, deja de ser un residuo radiactivo; de ahí la conveniencia de utilizar radioisótopos de vida media corta que, después de un tiempo de almacenamiento, pueden eliminarse como residuo no radiactivo.

Plan de emergencia

El área radiactiva debe disponer de un plan de emergencia y evacuación que ha de ser conocido por todos los afectados y estar situado en lugar bien visible. El personal debe estar entrenado sobre la actuación en casos de incidentes o accidentes.

MEDIDAS PREVENTIVAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Limitándonos al ámbito laboral las medidas preventivas consisten fundamentalmente en:

- Definición de trabajadores profesionalmente expuestos.
- Delimitación de zonas y su señalización.
- Puesta en práctica de controles dosimétricos (personales y ambientales).
- Formación e información del personal.
- Vigilancia médica.

Como ya se ha indicado, todo lugar en el que se utilicen fuentes radiactivas o se disponga de generadores de radiaciones ionizantes constituye, en principio, una instalación radiactiva y el personal que trabaja en las mismas tiene la consideración de trabajador profesionalmente expuesto.

De acuerdo con el reglamento de protección sanitaria, los trabajadores se clasifican en trabajadores de categoría A o de categoría B, según sea la posibilidad de recibir determinados niveles de dosis. Pertenecen a la categoría A las personas que, por las condiciones en las que realizan su trabajo, puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades. Pertenecen a la categoría B, las personas que, por las condiciones en las que realizan su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

Los lugares donde se manipulen fuentes radiactivas deben estar perfectamente delimitados y señalizados.

El objetivo de estas medidas es impedir el acceso a todo personal ajeno. En función del nivel de exposición, se establecen las zonas controladas y las zonas vigiladas.

Zona controlada:

Zona en la que existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para cristalino, piel y extremidades.

También se consideran zonas controladas aquellas en las que sea necesario seguir procedimientos de trabajo, ya sea para restringir la exposición, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias. Se señala con un

Trabajadores profesionalmente expuestos

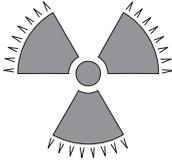
TODO EL PERSONAL QUE TRABAJA EN UNA INSTALACIÓN RADIATIVA TIENE LA CONSIDERACIÓN DE TRABAJADOR PROFESIONALMENTE EXPUESTO. ESTOS TRABAJADORES PUEDEN SER DE CATEGORÍA A O B SEGÚN SEA LA POSIBILIDAD DE RECIBIR DETERMINADOS NIVELES DE DOSIS

Delimitación de zonas y señalización

trébol verde sobre fondo blanco. Las zonas controladas se pueden subdividir en:

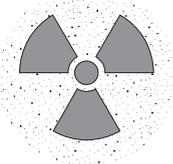
- *Zona de permanencia limitada*: Zona en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol amarillo sobre fondo blanco.
- *Zona de permanencia reglamentada*: Zona en la que existe el riesgo de recibir en cortos periodos de tiempo una dosis su-

TIPO DE ZONA



RIESGO DE IRRADIACIÓN

TIPO DE ZONA



RIESGO DE CONTAMINACIÓN

TIPO DE ZONA

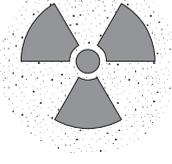


RIESGO DE CONTAMINACIÓN Y DE IRRADIACIÓN

TIPO DE ZONA	COLOR DE IDENTIFICACIÓN
ZONA VIGILADA	GRIS
ZONA CONTROLADA	VERDE
ZONA DE PERMANENCIA LIMITADA	AMARILLO
ZONA DE ACCESO PROHIBIDO	ROJO
ZONA DE PERMANENCIA REGLAMENTADA	NARANJA

EJEMPLOS:

ZONA DE PERMANENCIA REGLAMENTADA



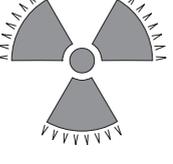
RIESGO DE CONTAMINACIÓN

ZONA CONTROLADA



RIESGO DE CONTAMINACIÓN Y DE IRRADIACIÓN

ZONA VIGILADA



RIESGO DE IRRADIACIÓN

COLOR NARANJA
COLOR VERDE
COLOR GRIS

terior a los límites de dosis. Se señala con un trébol naranja sobre fondo blanco.

- *Zona de acceso prohibido*: Zona en la que hay riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol rojo sobre fondo blanco.

Zona vigilada:

Zona en la que, no siendo zona controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, piel y extremidades. Se señala con un trébol gris/azulado sobre fondo blanco.

En el caso de que el riesgo sea solamente de irradiación, el trébol irá bordeado de puntas radiales y, si fuera de contaminación, estaría bordeado de un campo punteado. En el caso de presentarse los dos riesgos conjuntamente el trébol estará bordeado con puntas radiales sobre un campo punteado.

Las dosis recibidas por los trabajadores profesionalmente expuestos deberán determinarse con periodicidad no superior a un mes para la dosimetría externa y con la periodicidad necesaria para la dosimetría interna en aquellos trabajadores que estén expuestos a riesgos de incorporar radionucleidos.

Las dosimetrías individuales deben ser realizadas por entidades expresamente autorizadas para este fin por el CSN.

Para los trabajadores de categoría A es obligatoria la dosimetría externa individual representativa de la dosis recibida por la totalidad del organismo durante toda la jornada laboral. Si la exposición es no homogénea se utilizarán dosímetros adecuados para medir la dosis recibida por las partes del organismo más afectadas. Si hay riesgo de contaminación interna es obligado realizar medidas para evaluar la dosis correspondiente.

Para los trabajadores de categoría B no es preceptivo el uso de dosímetros personales si se puede disponer de un sistema de dosimetría ambiental, de área o de zona, que permita demostrar que dichos trabajadores están clasificados correctamente en la categoría B.

El sistema dosimétrico elegido para la dosimetría personal será el adecuado en función del tipo de radiación existente. Para que las dosis registradas sean representativas de la dosis reci-

Medidas dosimétricas

LA DOSIMETRÍA INDIVIDUAL ES OBLIGATORIA PARA LOS TRABAJADORES PROFESIONALMENTE EXPUESTOS DE CATEGORÍA A. PARA LOS DE CATEGORÍA B NO ES NECESARIO QUE SEA INDIVIDUAL SI SE PUEDE DISPONER DE UN SISTEMA DOSIMÉTRICO AMBIENTAL ADECUADO

ES OBLIGATORIO MEDIR PERIÓDICAMENTE LA RADIACIÓN AMBIENTAL EN LAS ZONAS VIGILADAS Y CONTROLADAS

da por la persona, se recomienda observar determinadas normas:

- Los dosímetros no pueden abrirse, manipularse ni someterse a condiciones ambientales adversas.

- Deben llevarse siempre puestos durante el período de trabajo.
- Los dosímetros deben colocarse en aquellas partes del cuerpo donde es previsible recibir mayores dosis.
- Debe evitarse su contaminación, por contacto con los guantes de trabajo o con objetos contaminados.
- Los dosímetros de lectura directa deben manipularse con precaución, evitando caídas y golpes. Al terminar el trabajo deben ajustarse a cero.

En las zonas vigiladas y controladas deberán efectuarse periódicamente mediciones ambientales, que permitan no solamente la identificación del tipo de radiación, sino su cuantificación y el nivel de dosis recibida.

El historial dosimétrico individualizado del personal profesionalmente expuesto debe registrarse a lo largo de toda la vida laboral y conservarse por un período mínimo de 30 años, contados a partir de la fecha de cese del trabajador o de la actividad. Estos historiales deben estar siempre a disposición del trabajador.

Formación e información

El titular o, en su caso, la empresa externa debe informar, antes de iniciar su actividad, a sus trabajadores expuestos, personas en formación y estudiantes sobre los siguientes aspectos:

- Los riesgos radiológicos asociados.
- La importancia del cumplimiento de los requisitos técnicos, médicos y administrativos.
- Las normas y procedimientos de protección radiológica, tanto en lo que se refiere a la práctica en general como al destino o puesto de trabajo que se les pueda asignar.

Asimismo, también se debe proporcionar, antes de iniciar su actividad y de manera periódica, formación en materia de protección radiológica a un nivel adecuado a su responsabilidad y al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo.

Vigilancia de la salud

La vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos se basará en los principios generales de la Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.

Al personal que se incorpora de nuevo a una instalación radiactiva y vaya a ser clasificado como trabajador expuesto de categoría A se le debe efectuar un examen de salud previo al inicio de la actividad, de acuerdo con las especificaciones indicadas por el CSN, que debe permitir conocer el estado de salud del individuo, su historia laboral y, en definitiva, su aptitud para el puesto de trabajo.

A su vez, el personal que ya trabaje en una instalación radiactiva y sea considerado como profesionalmente expuesto de categoría A está obligado a someterse a un examen de salud con una periodicidad anual y disponer del correspondiente historial médico individualizado que deberá archivarse durante al menos 30 años desde el cese de la actividad en la instalación. Éste contendrá el historial dosimétrico completo de toda la vida profesional, las exposiciones excepcionales, en el caso de que se hubieran producido, y, en caso de que exista, un historial dosimétrico adicional en el que se registren las estimaciones de las dosis que se reciban como consecuencia de diagnóstico y/o tratamiento médico.

Las personas que trabajan simultáneamente en dos o más instalaciones con riesgo de exposición a RI deben comunicar en cada una de ellas los resultados dosimétricos en las otras instalaciones.

LOS TRABAJADORES PROFESIONALMENTE EXPUESTOS DE CATEGORÍA A DEBEN SOMETERSE A UN EXAMEN MÉDICO CON PERIODICIDAD ANUAL. EL HISTORIAL DOSIMÉTRICO DEL TRABAJADOR DEBE INCLUIRSE EN EL HISTORIAL MÉDICO INDIVIDUAL

Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO.

Expert forecast on emerging physical risks related to occupational safety and health/European Agency for Safety and Health. Bilbao: European Agency for Safety and Health at Work, 2005

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS.

Ventilación Industrial.
Valencia. Generalitat Valenciana, 1992

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS.

Bioaerosols. Assessment and Control.
ACGIH. Cincinnati, 1999

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS.

Threshold limit values for chemical substances and physical agents. Biological exposure indices.
ACGIH. Cincinnati.

AWBI, H.B.

Ventilation of Buildings.
Londres. E&FN SPON, 1991

BARTUAL SÁNCHEZ, J.

Toxicología laboral básica.
Madrid. INSHT, 1989

BARTUAL SÁNCHEZ, J. y otros.

Riesgo químico.
Madrid. INSHT, 1999

BERGER, E. H. y otros.

The noise manual.
5ª ed. rev. Fairfax, VA. AIHA, 2003

BERNAL DOMÍNGUEZ, F. y otros.

Higiene industrial.
2ª ed. Madrid. INSHT, 2002

CARRETERO RUIZ, R.M. y LÓPEZ MUÑOZ, G.
Exposición a vibraciones en el lugar de trabajo
Madrid. INSHT, 1999

CAVALLÉ OLLER, N. y otros.

Higiene industrial. Problemas resueltos
Madrid. INSHT, 2006

COOPER, C.S. y GROVER, P.L.

Chemical Carcinogenesis and Mutagenesis I.
Berlin-Heidelberg. Springer-Verlag, 1990

DOLL, R. y PETO, R.

Las causas evitables del cáncer.
Barcelona. Salvat Editores, S.A., 1989

FANGER, P.O.

Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.
New York. McGraw-Hill, 1973

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, E. y otros.

Toxicocinética aplicada a la higiene industrial.
Madrid. INSHT, 1988

GRUPO DE TRABAJO PARA EL ESTUDIO DEL CÁNCER LABORAL INDUCIDO POR AGENTES QUÍMICOS.

Cáncer y trabajo. Carcinogénesis laboral inducida por agentes químicos.
Valencia. Conselleria de Sanitat. Generalitat Valenciana, 1997

HERNÁNDEZ CALLEJA, A. y otros

Condiciones de trabajo en centros hospitalarios.
Madrid. INSHT, 2000

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo.
Madrid. INSHT, 1999

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Guía técnica para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
Madrid. INSHT, 1999

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos.
Madrid. INSHT, 2001

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, INSHT. 2003

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, INSHT. 2005

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas.
Madrid, INSHT. 2008

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido.
Madrid, INSHT. 2008

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Colección de Notas Técnicas de Prevención relacionadas con agentes biológicos, n^{os}: 203, 233, 288, 299, 313, 376, 409, 411, 422, 585, 608, 609, 610, 611, 613, 616, 628, 636

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION.

ICRP 60. Recommendations of the international commission on radiological protection. Annals of the ICRP 21 (1-3), 1991

LÓPEZ MUÑOZ, G.

El ruido en el lugar de trabajo.
Madrid. INSHT, 1993

MILLER, R. K. Y MONTONE, W. V.

Handbook of Acoustical Enclosures and Barriers.
Atlanta. Fairmont Press Inc., 1988

OLIVERAS DEVESA, M. y SOLER DOPFF, C.

Elementos de Higiene Industrial.
Barcelona, 1929

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.

Manual de bioseguridad en el laboratorio.
3^a edición. OMS, 2005
(<http://www.who.int/en>)

MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO.

Protección radiológica. Partes I, II, III y IV. Colección sanidad ambiental.
Madrid. Ministerio de Sanidad y Consumo, 1988

MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO.

Vacunación en adultos. Recomendaciones.
Madrid. Ministerio de Sanidad y Consumo, 2004

MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO.

Protocolos de Vigilancia sanitaria específica de los trabajadores.
(<http://www.msc.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/saludLaboral/home.htm>)

MULHAUSEN, J.R. Y DAMIANO, J.

A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures.
Fairfax Virginia. AIHA Press, 1998

NARDI, S.R.

The Occupational Environment – Its Evaluation and Control.
Fairfax Virginia. AIHA Press, 1997

OBIOLS QUINTO, J.

Control biológico de los trabajadores expuestos a contaminantes químicos.
Madrid. INSHT, 1998

PARSONS, K.C.

Human Thermal Environments.
Londres. Taylor and Francis, 1993

RUPÉREZ CALVO M.J. y CABRERA, J.A.

Algunas cuestiones sobre seguridad láser.
Madrid. INSHT, 1996

RUPÉREZ CALVO M.J. y otros.

Riesgos por radiaciones ópticas procedentes de fuentes luminosas
Madrid. INSHT, 1996

RUPÉREZ CALVO M.J. y otros.
La exposición laboral a radiaciones ópticas
Madrid. INSHT, 1998

SCHOTTENFELD, D. y FRAUMENI, J.F.
Cancer Epidemiology and Prevention.
Nueva York. Oxford University Press, 1996

VAINIO, H., MAGEE, P., MCGREGOR, D.,
McMICHAEL, A.J.
Mechanisms of carcinogenesis in risk identification.
Lyon. IARC Scientific Publications. N° 116., 1992

NORMAS TÉCNICAS **UNE-EN, UNE-EN-ISO Y UNE-ENV ISO**

UNE-EN 132. Definiciones de términos y pictogramas en equipos de protección respiratoria.
Madrid. AENOR. 1999

UNE-EN 143. Equipos de protección respiratoria. Filtros contra partículas. Requisitos, ensayos, marcado.
Madrid. AENOR. 2001

UNE-EN165. Protección individual de los ojos. Vocabulario.
Madrid. AENOR. 2006

UNE-EN 166. Protección individual de los ojos. Especificaciones.
Madrid. AENOR. 2002

UNE-EN 207/A1. Protección individual de los ojos. Filtros y protectores de los ojos contra la radiación láser (gafas de protección láser).
Madrid. AENOR. 2003

UNE-EN 207/A1/AC: 2004 Protección individual de los ojos. Filtros y protectores de los ojos contra la radiación láser (gafas de protección láser).
Madrid. AENOR. 2004

UNE-EN 208. Protección individual de los ojos. Gafas de protección para los trabajos de ajuste de láser y sistemas de láser (gafas de ajuste láser).
Madrid. AENOR. 1999

UNE-EN 481. Atmósferas en el lugar de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles.
Madrid. AENOR, 1995

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

UNE-EN 689. 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.
Madrid. AENOR. 1996

UNE-EN 27243. Ambientes calurosos. Estimación del estrés térmico del hombre en el trabajo basado en el índice WBGT.
Madrid. AENOR. 1995

UNE-EN 13098. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la medición de microorganismos y endotoxinas suspendidas en el aire.
Madrid. AENOR. 2001

UNE-EN-ISO 5349-1. Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 1: Requisitos generales.
Madrid. AENOR. 2002

UNE-EN-ISO 5349-2. Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 2: Guía práctica para la medición en el lugar de trabajo.
Madrid. AENOR. 2002

UNE-EN ISO 7726. Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas. (ISO 7726:1998)
Madrid. AENOR. 2002

UNE-EN-ISO 8041:2006 Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida.
Madrid. AENOR. 2006

UNE-EN 14253. Vibraciones mecánicas. Medidas y cálculos de la exposición laboral a las vibraciones de cuerpo completo con referencia a la salud. Guía práctica.
Madrid. AENOR. 2004

UNE-EN 14387. Equipos de protección respiratoria contra gases y filtros combinados. Requisitos, ensayo, marcado.
Madrid. AENOR. 2004

UNE-EN 60825. Seguridad de los productos láser. Parte 1: Clasificación de los equipos, requisitos y guía del usuario.
Madrid. AENOR. 2003

UNE-EN 61252. Electroacústica. Especificaciones para medidores personales de exposición sonora.
Madrid. AENOR. 2003

UNE-EN 61672.
Electroacústica. Sonómetros.
Madrid. AENOR. 2005

UNE-EN-ISO 7933. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del estrés térmico mediante el cálculo de la sobrecarga térmica estimada. (ISO 7933:2004).
Madrid. AENOR. 2005

UNE-ENV ISO 11079. Evaluación de ambientes fríos. Determinación del aislamiento requerido para la vestimenta.
Madrid. AENOR. 1998

ISO

ISO 2631-1:1997 Vibraciones mecánicas y choques. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo completo. Parte 1: Requisitos Generales.

NORMAS CEN

CEN/TR 15350:2006 Vibración Mecánica – Guía para la evaluación de la exposición a la vibración mano-brazo utilizando la información disponible, incluida la información proporcionada por el fabricante de maquinaria.

LEGISLACIÓN RELACIONADA

Legislación Española

Real Decreto 1406/1989 de 10.11. (M. Relac. Cortes, BBOOE 20.11., rect. 12.12.1989). Limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos, modificado por BOE 30.9.2006 y actualizado por diversas Órdenes que van del año 1990 al año 2007.

Real Decreto 1407/1992 de 20.11. (M. Relac. Cortes, BBOOE 28.12.1992, rect. 24.2.1993). Regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual, modificado por BOE 1.6.1994, BBOOE 8.3., rect. 22.3.1995, BOE 6.3.1997, BOE 28.5.1996 y BOE 4.7.2002.

Real Decreto 1435/1992 de 27.11. (M. Relac. Cortes, BOE 11.12.1992). Dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas, modificado por BOE 8.2.1995, y completado por BOE 22.3.1996 y BOE 18.8.1999.

Real Decreto 363/1995 de 10.3. (M. Presid., BOE 5.6.1995). Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, y posteriores modificaciones y adaptaciones al progreso técnico.

Ley 31/1995 de 8.11. (Jef. Est., BOE 10.11.1995). Ley de prevención de riesgos laborales, modificada por Ley 39/1999 (BOE 6.11.1999) y Ley 54/2003 de 12.12. (BOE 13.12.2003), aplicada por Real Decreto 604/2006 de 19.5. (BOE 29.5.2006) y cumplimentada por Real Decreto 39/1997 de 17.1. (BOE 31.1.1997) y sus modificaciones.

Real Decreto 39/1997 de 17.1. (M. Trab. y As. Soc., BOE 31.1.1997). Reglamento de los servicios de prevención, y sus modificaciones.

Real Decreto 486/1997 de 14.4. (M. Trab. y As. Soc., BOE 23.4.1997). Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, modificado por Real Decreto 2177/2004 de 12.11. (BOE 13.11.2004).

Real Decreto 664/1997 de 12.5. (M. Presid., BOE 24.5.1997). Protección de los trabajadores relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. Añadido y modificado por Orden de 25.3.1998 (BBOOE 30.3, rect. 15.4.1998).

Real Decreto 665/1997 de 12.5. (M. Presid., BOE 24.5.1997). Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, modificado por Real Decreto 1124/2000 de 16.6. (BOE 17.6.2000) y Real Decreto 349/2003 de 21.3. (BOE 5.4.2003).

Real Decreto 773/1997 de 30.5. (M. Presid., BBOOE 12.6., rect. 18.7.1997). Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Real Decreto 1836/1999 de 3.12. (M. Ind. y E., BBOOE 31.12.1999, rect. 26.1. y 5.2.2000). Se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, modificado por Real Decreto 783/2001 de 6.7. (BOE 26.7.2001) y Real Decreto 35/2008, de 18.1. (BOE 18.2.2008).

Real Decreto 374/2001 de 6.4. (M. Presid., BBOOE 1.5, rect. 30.5. y 22.6.2001). Protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Remite, en ausencia de valores límite ambientales de los establecidos en el anexo I, a los valores límite ambientales, publicados por el Instituto Nacio-

nal de Seguridad e Higiene en el Trabajo, como valores de referencia para la evaluación y el control de los riesgos originados por la exposición de los trabajadores a dichos agente, en el documento "Límites de exposición profesional para agentes químicos en España", cuya aplicación es recomendada por la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Real Decreto 783/2001 de 6.7. (M. Presid., BOE 26.7.2001). Aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aplicado por Instrucción de 5.2.2003, IS-04 (BOE 28.2.2003), Instrucción de 27.7.2005, IS-08 (BOE 5.10.2005) y complementado por Real Decreto 229/2006, de 6.7 (BOE 28.2.2006).

Real Decreto 815/2001 de 23.7. (M. San. y Con., BOE 14.7.2001). Justificación del uso de radiaciones ionizantes sobre la protección radiológica de las personas con ocasión de las exposiciones médicas.

Real Decreto 255/2003 de 28.2. (M. Presid., BBOOE 4.3.2003, rect. 5.3.2004). Aprueba el reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos, modificado por Orden PRE/3/2006 de 12.1. (BOE 13.1.2006) y Orden PRE/164/2007 de 29.1. (BOE 2.2.2007).

Real Decreto 1311/2005 de 4.11. (M. Trab. y As. Soc., BOE 5.11.2005). Protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

Real Decreto 229/2006 de 24.2. (M. Presid., BOE 28.2.2006). Control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas.

Real Decreto 286/2006 de 10.3. (M. Presid., BBOOE 11.3., rect. 14.3 y 24.3..2006). Protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

Real Decreto 396/2006 de 31.3. (M. Presid., BOE 11.4.2006). Establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

Real Decreto 1299/2006 de 10.11. (M. Trab. y As. Soc., BOE 19.12.2006). Aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro, desarrollado por Orden TAS/1/2007 de 2.1. (M. Trab. y As. Soc., BOE 4.1.2007), que establece el modelo de parte de enfermedad profesional, se dic-

tan normas para su elaboración y transmisión y se crea el correspondiente fichero de datos personales.

Real Decreto 889/2006, de 21.7. (M. Industria, Turismo y Comercio, BOE 2.8.2006) por el que se regula el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida, desarrollado por Orden ITC/2845/2007, de 25.9 (M. Industria, Turismo y Comercio, BOE 3.10.2006), por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos.

Legislación Europea (pendiente de transposición a 1-6-2008)

Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos).

Directiva 2006/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de los agentes físicos (radiaciones ópticas artificiales) (decimonovena Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE).

Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición).

ENLACES DE INTERÉS

<http://www.vibration.db.umu.se/>

<http://www.las-bb.de/karla/>

Bases de datos desarrolladas en el ámbito europeo que permiten disponer de los valores de la aceleración producida en diversas máquinas, así como las condiciones en las que se han obtenido dichos valores.

<http://eprints.soton.ac.uk/43479/>

Guía europea de buenas prácticas para las vibraciones de cuerpo entero, con objeto de la puesta en práctica de la directiva 2002/44/CE sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones).

<http://eprints.soton.ac.uk/43480/>

Guía europea de buenas prácticas para vibraciones

mano-brazo, con objeto de la puesta en práctica de la Directiva 2002/44/CE sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones).

<http://www.cdc.gov.niosh>
Centres for Disease Control and Prevention

<http://www.osha.gov>
Occupational Safety and Health Administration

<http://www.inrs.fr>
Institut National de Recherche et de Sécurité

<http://www.hse.gov.uk>
Health & Safety Executive

<http://www.hc-sc.gc.ca>
Departamento federal de salud de Canadá

<http://agency.osha.eu.int/>
Agencia europea para la seguridad y salud en el trabajo