

# 30

Director del capítulo  
*Robert F. Herrick*

### Sumario

Objetivos, definiciones e información general <i>Berenice I. Ferrari Goelzer</i> . . . . .	30.2
Identificación de peligros <i>Linnéa Lillienberg</i> . . . . .	30.11
Evaluación del medio ambiente de trabajo <i>Lori A. Todd</i> . . . . .	30.15
Higiene industrial: control de las exposiciones mediante la intervención <i>James Stewart</i> . . . . .	30.25
Fundamentos biológicos para evaluar la exposición <i>Dick Heederik</i> . . . . .	30.27
Límites de exposición profesional <i>Dennis J. Paustenbach</i> . . . . .	30.31

## ● OBJETIVOS, DEFINICIONES E INFORMACION GENERAL

*Berenice I. Ferrari Goelzer*

El trabajo es esencial para la vida, el desarrollo y la satisfacción personal. Por desgracia, actividades indispensables, como la producción de alimentos, la extracción de materias primas, la fabricación de bienes, la producción de energía y la prestación de servicios implican procesos, operaciones y materiales que, en mayor o menor medida, crean riesgos para la salud de los trabajadores, las comunidades vecinas y el medio ambiente en general.

No obstante, la generación y la emisión de agentes nocivos en el medio ambiente de trabajo pueden prevenirse mediante intervenciones adecuadas para controlar los riesgos, que no sólo protegen la salud de los trabajadores, sino que reducen también los daños al medio ambiente que suelen ir asociados a la industrialización. Si se elimina una sustancia química nociva de un proceso de trabajo, dejará de afectar a los trabajadores y tampoco contaminará el medio ambiente.

La profesión que se dedica específicamente a la prevención y control de los riesgos originados por los procesos de trabajo es la higiene industrial. Los objetivos de la higiene industrial son la protección y promoción de la salud de los trabajadores, la protección del medio ambiente y la contribución a un desarrollo seguro y sostenible.

La necesidad de la higiene industrial para proteger la salud de los trabajadores no debe subestimarse. Incluso cuando se puede diagnosticar y tratar una enfermedad profesional, no podrá evitarse que ésta se repita en el futuro si no cesa la exposición al agente etiológico. Mientras no se modifique un medio ambiente de trabajo insano, seguirá teniendo el potencial de dañar la salud. Sólo si se controlan los riesgos para la salud podrá romperse el círculo vicioso que se ilustra en la Figura 30.1.

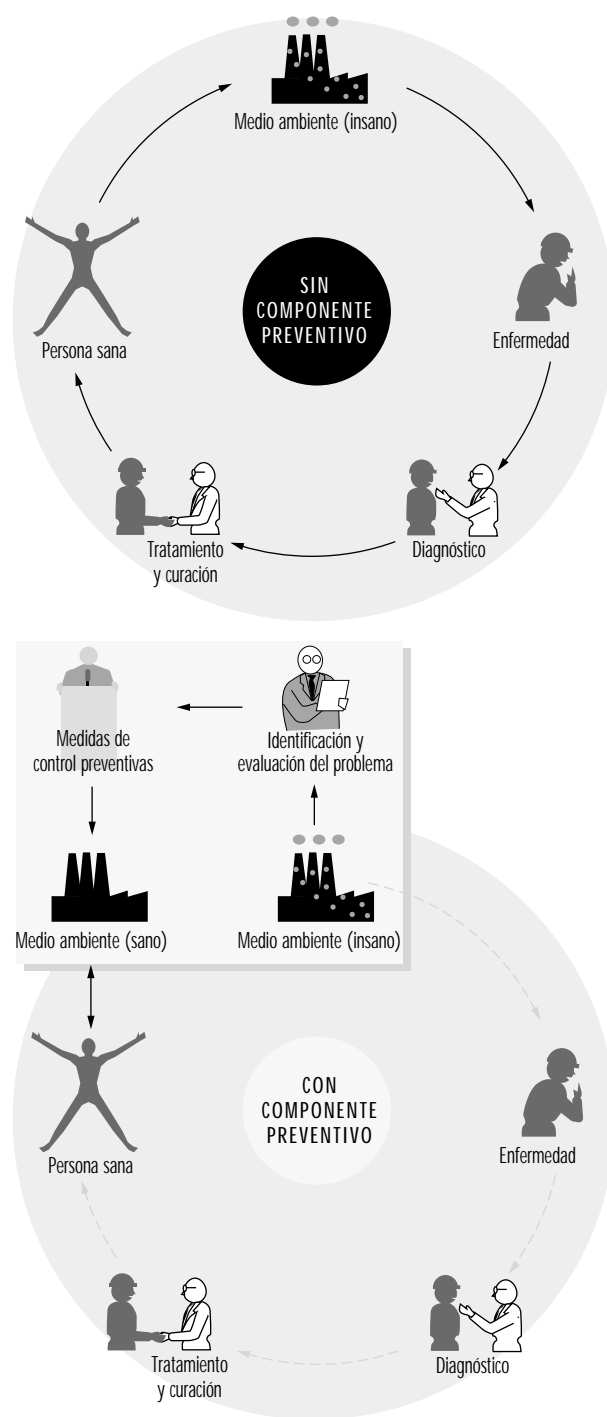
Sin embargo, las acciones preventivas deben iniciarse mucho antes, no sólo antes de que se manifieste cualquier daño para la salud, sino incluso antes de que se produzca la exposición. El medio ambiente de trabajo debe someterse a una vigilancia continua para que sea posible detectar, eliminar y controlar los agentes y factores peligrosos antes de que causen un efecto nocivo: ésta es la función de la higiene industrial.

Además, la higiene industrial puede contribuir también a un desarrollo seguro y sostenible, es decir, "a asegurar que [el desarrollo] atienda las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para atender sus necesidades" (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo 1987). Para atender las necesidades de la actual población mundial sin agotar ni dañar los recursos mundiales y sin generar consecuencias negativas para la salud y el medio ambiente, hacen falta conocimientos y medios para influir en la acción (OMS 1992a); esto, aplicado a los procesos de trabajo, está estrechamente relacionado con la práctica de la higiene industrial.

La salud en el trabajo requiere un enfoque interdisciplinario con la participación de disciplinas fundamentales, una de las cuales es la higiene industrial, además de otras como la medicina y la enfermería del trabajo, la ergonomía y la psicología del trabajo. En la Figura 30.2 se presenta un esquema de los ámbitos de actuación de los médicos del trabajo y los higienistas industriales.

Es importante que los responsables de la toma de decisiones, los directivos y los propios trabajadores, así como todos los profesionales de la salud en el trabajo, comprendan la función básica que desempeña la higiene industrial para proteger la salud de los trabajadores y el medio ambiente, así como la necesidad de disponer de profesionales especializados en este campo.

Figura 30.1 • Interacciones entre las personas y el medio ambiente.



Tampoco debe olvidarse la estrecha relación que existe entre la salud en el trabajo y la salud ambiental, puesto que la prevención de la contaminación de fuentes industriales mediante procesos adecuados de tratamiento y evacuación de residuos y desechos peligrosos debe iniciarse en el lugar de trabajo. (Véase "Evaluación del medio ambiente de trabajo").

## Conceptos y definiciones

### Higiene industrial

La higiene industrial es la ciencia de la anticipación, la identificación, la evaluación y el control de los riesgos que se originan en el lugar de trabajo o en relación con él y que pueden poner en peligro la salud y el bienestar de los trabajadores, teniendo también en cuenta su posible repercusión en las comunidades vecinas y en el medio ambiente en general.

Existen diferentes definiciones de la higiene industrial, aunque todas ellas tienen esencialmente el mismo significado y se orientan al mismo objetivo fundamental de proteger y promover la salud y el bienestar de los trabajadores, así como proteger el medio ambiente en general, a través de la adopción de medidas preventivas en el lugar de trabajo.

La higiene industrial no ha sido todavía reconocida universalmente como una profesión; sin embargo, en muchos países está creándose un marco legislativo que propiciará su consolidación.

### El técnico en higiene industrial

El técnico en higiene industrial es "una persona competente para realizar mediciones del medio ambiente del trabajo", pero no para "realizar las interpretaciones, juicios y recomendaciones que se exigen a un higienista industrial". El técnico en higiene

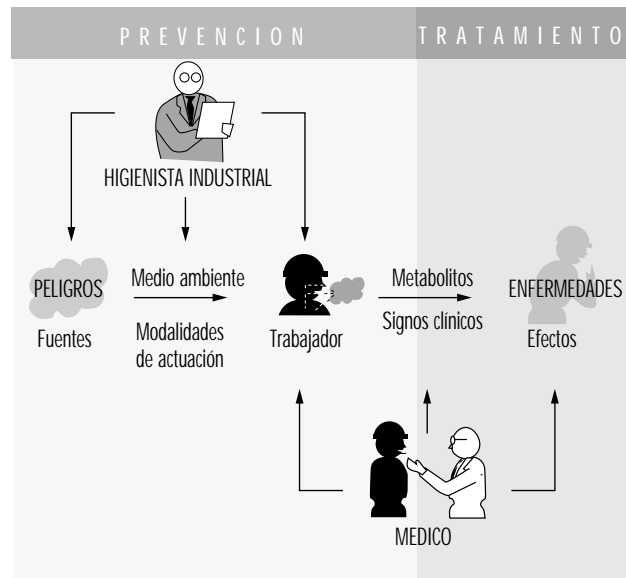
### Higienista industrial

Un higienista industrial es un profesional capaz de:

- prever los riesgos para la salud que pueden originarse como resultado de procesos de trabajo, operaciones y equipos y, en consecuencia, asesorar sobre su planificación y diseño.
- identificar y conocer, en el medio ambiente de trabajo, la presencia (real o potencial) de agentes químicos, físicos y biológicos y otros factores de riesgo, así como su interacción con otros factores que pueden afectar a la salud y el bienestar de los trabajadores
- conocer las posibles vías de entrada de agentes en el organismo humano y los efectos que esos agentes y otros factores pueden tener en la salud
- evaluar la exposición de los trabajadores a agentes y factores potencialmente nocivos y evaluar los resultados
- evaluar los procesos y los métodos de trabajo, desde el punto de vista de la posible generación y emisión/propagación de agentes y otros factores potencialmente nocivos, con objeto de eliminar la exposición o reducirla a niveles aceptables
- diseñar y recomendar estrategias de control y evaluar su eficacia, solo o en colaboración con otros profesionales para asegurar un control eficaz y económico
- participar en el análisis del riesgo global y la gestión de un agente, proceso o lugar de trabajo, y contribuir al establecimiento de prioridades para la gestión de riesgos
- conocer el marco jurídico para la práctica de la higiene industrial en su país
- educar, formar, informar y asesorar a personas de todos los niveles en todos los aspectos de la comunicación de riesgos
- trabajar con eficacia en un equipo interdisciplinario en el que participen también otros profesionales
- identificar los agentes y factores que pueden tener un impacto medioambiental y comprender la necesidad de integrar la práctica de la higiene industrial con la protección del medio ambiente

Debe tenerse en cuenta que una profesión no sólo consiste en un conjunto de conocimientos, sino también en un código de ética; las asociaciones nacionales de higienistas industriales, así como la Asociación Internacional para la Higiene Industrial (AIHI), tienen sus propios códigos de ética (OMS 1992b).

Figura 30.2 • Ambitos de actuación de los médicos del trabajo y los higienistas industriales.



Fuente: Por cortesía del Prof. M. Guillemin. Institut universitaire romand de Santé au Travail, Lausana, Suiza (ligeramente modificado).

industrial puede alcanzar el nivel necesario de competencias en un campo general o especializado (OMS 1992b).

### Asociación Internacional para la Higiene Industrial (AIHI)

La AIHI se creó formalmente en una reunión celebrada en Montreal el 2 de junio de 1987. En la actualidad, la AIHI cuenta con la participación de 19 asociaciones nacionales de higiene industrial y más de diecinueve mil miembros de diecisiete países.

El principal objetivo de la AIHI es promover y desarrollar la higiene industrial en todo el mundo para que alcance un elevado nivel de competencia profesional, a través de medios como el intercambio de información entre organizaciones e individuos, el desarrollo de los recursos humanos y la promoción de un alto nivel de práctica ética. Las actividades de la AIHI incluyen reuniones científicas y la publicación de un boletín. Los miembros de las asociaciones nacionales afiliadas son automáticamente miembros de la AIHI; también pueden afiliarse como miembros individuales, si residen en países en los que todavía no se ha implantado una asociación nacional.

### Certificación

Además de una definición aceptada de la higiene industrial y de la función que desempeña el higienista industrial, es preciso establecer sistemas de certificación para garantizar unos niveles aceptables de competencia y práctica en el campo de la higiene industrial. La certificación se refiere a un sistema formal basado en los procedimientos necesarios para adquirir y mantener los conocimientos, las destrezas y la competencia de los profesionales (Burdorf 1995).

La AIHI ha promovido un estudio sobre los sistemas nacionales de certificación que existen en la actualidad (Burdorf 1995), junto con la formulación de recomendaciones para promover la cooperación internacional con el fin de garantizar la calidad de los higienistas industriales profesionales. Entre estas recomendaciones figuran las siguientes:

- “armonización de los niveles de competencia y práctica de los profesionales de la higiene industrial”;
- “creación de un organismo internacional formado por profesionales de la higiene industrial para analizar la calidad de los actuales sistemas de certificación”.

Otras propuestas de este informe hacen referencia a aspectos como la “reciprocidad” y la “aceptación mutua de las designaciones nacionales, con objeto de conseguir un sistema universal con una designación aceptada a escala internacional”.

### La práctica de la higiene industrial

Las etapas clásicas de la práctica de la higiene industrial son las siguientes:

- identificación de posibles peligros para la salud en el medio ambiente de trabajo;
- evaluación de los peligros, un proceso que permite valorar la exposición y extraer conclusiones sobre el nivel de riesgo para la salud humana;
- prevención y control de riesgos, un proceso que consiste en desarrollar e implantar estrategias para eliminar o reducir a niveles aceptables la presencia de agentes y factores nocivos en el lugar de trabajo, teniendo también en cuenta la protección del medio ambiente.

El enfoque ideal de la prevención de riesgos es “una actuación preventiva anticipada e integrada”, que incluya:

- evaluación de los efectos sobre la salud de los trabajadores y del impacto ambiental, antes de diseñar e instalar, en su caso, un nuevo lugar de trabajo;
- selección de la tecnología más segura, menos peligrosa y menos contaminante (“producción más limpia”);
- emplazamiento adecuado desde el punto de vista ambiental;
- diseño adecuado, con una distribución y una tecnología de control apropiadas, que prevea un manejo y una evacuación seguros de los residuos y desechos resultantes;
- elaboración de directrices y normas para la formación del personal sobre el correcto funcionamiento de los procesos, métodos seguros de trabajo, mantenimiento y procedimientos de emergencia.

La importancia de anticipar y prevenir todo tipo de contaminación ambiental es decisiva. Por fortuna, existe una creciente tendencia a considerar las nuevas tecnologías desde el punto de vista de los posibles impactos negativos y su prevención, desde el diseño y la instalación del proceso hasta el tratamiento de los residuos y desechos resultantes, aplicando un enfoque integral. Algunas catástrofes ambientales que se han producido tanto en países desarrollados como en países en desarrollo podrían haberse evitado mediante la aplicación de estrategias de control y procedimientos de emergencia adecuados en el lugar de trabajo.

Los aspectos económicos deben analizarse en términos que van más allá de la mera consideración del coste inicial; otras alternativas más caras, que ofrecen una buena protección de la salud y del medio ambiente, pueden resultar más económicas a largo plazo. La protección de la salud de los trabajadores y del medio ambiente debe iniciarse mucho antes de lo que habitualmente se hace. Los responsables del diseño de nuevos procesos, maquinaria, equipos y lugares de trabajo deberían disponer siempre de información técnica y asesoramiento sobre higiene industrial y ambiental. Por desgracia, muchas veces este tipo de información se consigue demasiado tarde, cuando la única solución posible es costosa y difícil de aplicar con efecto retroactivo

o, peor todavía, cuando las consecuencias han sido ya desastrosas.

### Identificación de riesgos

La identificación de riesgos es una etapa fundamental en la práctica de la higiene industrial, indispensable para una planificación adecuada de la evaluación de riesgos y de las estrategias de control, así como para el establecimiento de prioridades de acción. Un diseño adecuado de las medidas de control requiere, asimismo, la caracterización física de las fuentes contaminantes y de las vías de propagación de los agentes contaminantes.

La identificación de riesgos permite determinar:

- los agentes que pueden estar presentes y en qué circunstancias;
- la naturaleza y la posible magnitud de los efectos nocivos para la salud y el bienestar.

La identificación de agentes peligrosos, sus fuentes y las condiciones de exposición requiere un conocimiento exhaustivo y un estudio detenido de los procesos y operaciones de trabajo, las materias primas y las sustancias químicas utilizadas o generadas, los productos finales y los posibles subproductos, así como la eventual formación accidental de sustancias químicas, descomposición de materiales, quema de combustibles o presencia de impurezas. La determinación de la naturaleza y la magnitud potencial de los efectos biológicos que estos agentes pueden causar si se produce una exposición excesiva a ellos exige el acceso a información toxicológica. Las fuentes internacionales de información en este campo son el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPQS), la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) y el Registro internacional de productos químicos potencialmente tóxicos, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (RIPQPT-PNUMA).

Los agentes que plantean riesgos para la salud en el medio ambiente de trabajo pueden agruparse en las siguientes categorías: contaminantes atmosféricos; sustancias químicas no suspendidas en el aire; agentes físicos, como el calor y el ruido; agentes biológicos; factores ergonómicos, como unas posturas de trabajo o procedimientos de elevación de pesos inadecuados, y factores de estrés psicosocial.

### Evaluaciones de higiene industrial

Las evaluaciones de higiene industrial se realizan para valorar la exposición de los trabajadores y para obtener información que permita diseñar o establecer la eficiencia de las medidas de control.

La evaluación de la exposición de los trabajadores a riesgos profesionales, como contaminantes atmosféricos, agentes físicos y agentes biológicos se aborda más adelante en este capítulo. No obstante, aquí se hacen algunas observaciones generales para conocer mejor el campo de la higiene industrial.

Es importante tener en cuenta que la evaluación de riesgos no es un fin en sí misma, sino que debe entenderse como parte de un procedimiento mucho más amplio que comienza en el momento en que se descubre que determinado agente, capaz de producir un daño para la salud, puede estar presente en el medio ambiente de trabajo, y concluye con el control de ese agente para evitar que cause daños. La evaluación de riesgos facilita la prevención de riesgos, pero en ningún caso la sustituye.

### Evaluación de la exposición

El objetivo de la evaluación de la exposición es determinar la magnitud, frecuencia y duración de la exposición de los trabajadores a un agente. Se han elaborado directrices al respecto tanto en el ámbito nacional como internacional; por ejemplo, la norma

EN 689, elaborada por el Comité Europeo de Normalisation (Comité Europeo de Normalización, CEN 1994).

El procedimiento más habitual para evaluar la exposición a contaminantes atmosféricos consiste en evaluar la exposición a la inhalación, para lo cual es preciso determinar la concentración atmosférica del agente a la que están expuestos los trabajadores (o, en el caso de las partículas suspendidas en el aire, la concentración atmosférica de la fracción relevante, p. ej., la "fracción respirable") y la duración de la exposición. No obstante, cuando existen otras vías distintas a la inhalación que contribuyen significativamente a la absorción de una sustancia química, puede emitirse un juicio erróneo si sólo se evalúa la exposición a la inhalación. En tales casos tiene que evaluarse la exposición total, y una herramienta muy útil para ello es el control biológico.

La práctica de la higiene industrial se ocupa de tres tipos de situaciones:

- estudios iniciales para evaluar la exposición de los trabajadores;
- control/vigilancia de seguimiento;
- evaluación de la exposición para estudios epidemiológicos.

Una de las principales razones para determinar si existe una exposición excesiva a un agente peligroso en el medio ambiente de trabajo es decidir si se necesita alguna intervención. Esto consiste con frecuencia, aunque no siempre, en comprobar si se respeta una norma adoptada, que suele expresarse en términos de un límite de exposición profesional. La determinación de la exposición "en el peor de los casos" puede ser suficiente para lograr este objetivo. De hecho, si se espera que la exposición sea muy grande o muy pequeña en comparación con los valores límite, la exactitud y precisión de las evaluaciones cuantitativas pueden ser menores que cuando se espera una exposición cercana a los valores límites. De hecho, cuando los peligros son evidentes, puede ser más conveniente empezar por invertir en controles y realizar evaluaciones ambientales más precisas una vez introducidos dichos controles.

Las evaluaciones de seguimiento son necesarias en numerosas ocasiones, especialmente cuando existe la necesidad de instalar o mejorar las medidas de control o cuando se prevén cambios en los procesos o materiales utilizados. En estos casos, las evaluaciones cuantitativas cumplen una importante función de vigilancia para:

- evaluar la validez, comprobar la eficiencia o detectar posibles fallos en los sistemas de control;
- averiguar si se han producido variaciones en los procesos, por ejemplo en la temperatura de funcionamiento o en las materias primas, que hayan modificado la situación de exposición.

Siempre que se realiza una evaluación de higiene industrial en relación con un estudio epidemiológico para obtener datos cuantitativos sobre la relación entre exposición y efectos para la salud, las características de la exposición deben describirse con un alto grado de exactitud y precisión. En este caso, deben caracterizarse adecuadamente todos los niveles de exposición, ya que no sería suficiente, por ejemplo, caracterizar sólo la exposición correspondiente al peor de los casos. Sería ideal, aunque difícil en la práctica, que en todo momento pudieran mantenerse registros precisos y exactos de la exposición, ya que en el futuro podrían necesitarse datos diacrónicos sobre la exposición. Para que los datos de la evaluación sean representativos de la exposición de los trabajadores y para no malgastar recursos, debe diseñarse y aplicarse una estrategia adecuada de muestreo, teniendo en cuenta todas las posibles fuentes de variabilidad. Las

estrategias de muestreo, así como las técnicas de medición, se describen en "Evaluación del medio ambiente de trabajo".

#### Interpretación de los resultados

El grado de incertidumbre en la estimación de un parámetro de la exposición, como la concentración media real de un contaminante atmosférico, se determina mediante el tratamiento estadístico de los resultados obtenidos de diferentes mediciones (p. ej., muestreo y análisis). La fiabilidad de los resultados dependerá del coeficiente de variación del "sistema de medición" y del número de mediciones. Una vez lograda una fiabilidad aceptable en los resultados, el siguiente paso consiste en considerar las consecuencias de la exposición para la salud: ¿qué significa para la salud de los trabajadores expuestos ahora?, ¿en un futuro próximo?, ¿a lo largo de su vida profesional? ¿tendrá repercusión en las futuras generaciones?

El proceso de evaluación termina sólo cuando se interpretan los resultados de las mediciones a la vista de los datos (algunas veces llamados "datos sobre la evaluación de riesgos") obtenidos de la toxicología experimental, estudios epidemiológicos y clínicos y, en algunos casos, ensayos clínicos. Debe aclararse que el término evaluación de riesgos se ha utilizado para hacer referencia a dos tipos de evaluaciones: la evaluación de la naturaleza y la magnitud del riesgo unido a la exposición a sustancias químicas y otros agentes, en general, y la evaluación del riesgo para determinado trabajador o para un grupo concreto de trabajadores en un lugar de trabajo específico.

En la práctica de la higiene industrial, los resultados de la evaluación de la exposición suelen compararse con los límites de exposición profesional adoptados, cuya finalidad es ofrecer una orientación para evaluar los riesgos y establecer objetivos de control. Cuando la exposición supera esos límites, es preciso adoptar de inmediato una acción correctora, ya sea mejorando las medidas de control existentes o introduciendo nuevos controles. De hecho, las intervenciones preventivas deben iniciarse cuando la exposición alcanza el "nivel de acción", que varía según el país (p. ej., la mitad o la quinta parte del límite de exposición profesional). Un nivel de acción bajo es la mejor garantía para evitar problemas en el futuro.

Comparar los resultados de la evaluación de la exposición con los límites de exposición profesional es una simplificación, puesto que, entre otras insuficiencias, no se tienen en cuenta muchos factores que influyen en la absorción de sustancias químicas (como la susceptibilidad individual, la actividad física y la complejidad corporal de cada individuo). Además, en la mayoría de los lugares de trabajo se produce una exposición simultánea a distintos agentes; de ahí que sea muy importante tener en cuenta las exposiciones combinadas y las interacciones entre distintos agentes, ya que las consecuencias para la salud de la exposición a un único agente pueden ser muy diferentes a las consecuencias de la exposición a ese mismo agente combinado con otros, especialmente cuando existe sinergia o potenciación de efectos.

#### Mediciones de control

Las mediciones que tienen como finalidad investigar la presencia de agentes y las pautas de los parámetros de exposición en el medio ambiente de trabajo pueden ser extremadamente útiles para planificar y diseñar medidas de control y métodos de trabajo. Los objetivos de estas mediciones son:

- identificar y caracterizar las fuentes contaminantes;
- localizar puntos críticos en recintos o sistemas cerrados (p. ej., fugas);

- determinar las vías de propagación en el medio ambiente de trabajo;
- comparar diferentes intervenciones de control;
- verificar que el polvo respirable se ha depositado junto con el polvo grueso visible, cuando se utilizan nebulizadores de agua;
- comprobar que el aire contaminado no procede de un área adyacente.

Los instrumentos de lectura directa son extremadamente útiles para fines de control, especialmente los que permiten realizar un muestreo continuo y reflejan lo que sucede en tiempo real, detectando situaciones de exposición en las que de lo contrario no se repararía y que deben ser controladas. Ejemplos de este tipo de instrumentos son los detectores de fotoionización, los analizadores de infrarrojos, los medidores de aerosoles y los tubos indicadores. Cuando se realiza un muestreo para conocer el comportamiento de los contaminantes desde la fuente hasta el medio ambiente de trabajo, la exactitud y la precisión no son tan decisivas como lo son al evaluar la exposición.

Uno de los avances recientes en este tipo de mediciones para fines de control son las técnicas de visualización, como la Picture Mix Exposure (PIMEX) (Rosen 1993). Este método combina una imagen de vídeo del trabajador con una escala que indica las concentraciones de contaminantes atmosféricos, medidas continuamente en la zona de respiración con un instrumento de control en tiempo real, lo cual permite observar cómo varían las concentraciones mientras se realiza el trabajo. Este método constituye una herramienta excelente para comparar la eficacia relativa de diferentes medidas de control, como ventilación y métodos de trabajo, lo cual contribuye a mejorar su diseño.

Las mediciones son también necesarias para evaluar la eficiencia de las medidas de control. En este caso, conviene tomar muestras ambientales de la fuente o del área, por separado o junto con las muestras personales, para evaluar la exposición de los trabajadores. Con objeto de garantizar la validez de este procedimiento, el lugar considerado "antes" y "después" de tomar las muestras (o mediciones), así como las técnicas utilizadas, deben ser iguales o equivalentes en sensibilidad, exactitud y precisión.

### **Prevención y control de riesgos**

El principal objetivo de la higiene industrial es la aplicación de medidas adecuadas para prevenir y controlar los riesgos en el medio ambiente de trabajo. Las normas y reglamentos, si no se aplican, carecen de utilidad para proteger la salud de los trabajadores, y su aplicación efectiva suele exigir la implantación de estrategias tanto de vigilancia como de control. La ausencia de unas normas obligatorias por ley no debe ser obstáculo para la aplicación de las medidas necesarias a fin de prevenir exposiciones nocivas o de controlarlas para que se mantengan al nivel mínimo posible. Cuando es evidente que existen riesgos graves, deben introducirse controles incluso antes de realizar evaluaciones cuantitativas. En algunas ocasiones, puede ser necesario sustituir el concepto clásico de "identificación-evaluación-control" por el de "identificación-control-evaluación", o incluso por el de "identificación-control", si no existen recursos para evaluar los riesgos. Ejemplos de riesgos que, obviamente, obligan a adoptar medidas sin necesidad de realizar un muestreo ambiental previo son la galvanoplastia realizada en una sala pequeña y poco ventilada, o la utilización de un martillo perforador o un equipo de limpieza por chorro de arena sin controles ambientales ni equipo de protección. Cuando se identifica este tipo de peligros para la salud, la necesidad inmediata es el control, y no la evaluación cuantitativa.

Las medidas preventivas deben interrumpir de alguna manera la cadena por la cual el agente peligroso —sustancia química, polvo, fuente de energía— se transmite de la fuente al trabajador. Las medidas de control pueden clasificarse en tres grandes grupos: controles técnicos, prácticas de trabajo y medidas personales.

El enfoque más eficiente para prevenir riesgos consiste en introducir controles técnicos que eviten las exposiciones profesionales actuando en el medio ambiente de trabajo y, en consecuencia, reduciendo la necesidad de que los trabajadores o las personas que pueden verse expuestas tengan que poner algo de su parte. Las medidas técnicas suelen exigir la modificación de algunos procesos o estructuras mecánicas. Su finalidad es eliminar o reducir el uso, la generación o la emisión de agentes peligrosos en la fuente o, cuando no se pueda eliminar la fuente, prevenir o reducir la propagación de agentes peligrosos en el medio ambiente de trabajo:

- encerrándolo;
- eliminándolos en el momento en que salen de la fuente;
- interfiriendo en su propagación;
- reduciendo su concentración o intensidad.

Las mejores intervenciones de control son las que consisten en alguna modificación de la fuente, ya que permiten eliminar el agente peligroso o reducir su concentración o intensidad. La fuente puede reducirse con medidas como la sustitución de materiales, la sustitución o la modificación de procesos o equipos y la mejora del mantenimiento de los equipos.

Cuando no se puede modificar la fuente, o cuando esta modificación no es suficiente para alcanzar el nivel deseado de control, deben prevenirse la emisión y la difusión de agentes peligrosos en el medio ambiente de trabajo interrumpiendo sus vías de transmisión, con medidas de aislamiento (p. ej., sistemas cerrados, recintos), ventilación localizada, instalación de barreras y defensas o aislamiento de los trabajadores.

Otras medidas que ayudan a reducir las exposiciones en el medio ambiente de trabajo son un diseño adecuado del lugar de trabajo, la ventilación por dilución o desplazamiento, una buena limpieza y un almacenamiento adecuado. La colocación de etiquetas y señales de advertencia puede ayudar a los trabajadores a aplicar unos métodos seguros de trabajo. Un programa de control puede requerir también sistemas de vigilancia y de alarma, como son los detectores de monóxido de carbono alrededor de los hornos, de sulfuro de hidrógeno en las plantas de depuración de aguas residuales y de falta de oxígeno en recintos cerrados.

Las prácticas de trabajo constituyen una parte importante del control; por ejemplo, en relación con trabajos en los que la postura del trabajador puede influir en la exposición, según se incline más o menos. La postura del trabajador puede afectar a las condiciones de exposición (p. ej., zona de respiración con relación a la fuente contaminante, posibilidad de absorción por la piel).

Por último, la exposición profesional puede evitarse o reducirse colocando una barrera protectora ante el trabajador, en el punto crítico de entrada del agente peligroso (boca, nariz, piel, oídos), es decir, mediante el uso de instrumentos de protección personal. No obstante, antes de recurrir a este tipo de equipo, deben estudiarse todas las demás posibilidades de control, ya que constituye el medio menos satisfactorio para el control rutinario de la exposición, especialmente a contaminantes atmosféricos.

Otras medidas preventivas personales son la educación y la formación, la higiene personal y la limitación de la duración de la exposición.

Las evaluaciones continuas mediante controles ambientales y vigilancia médica deben formar parte de toda estrategia de control y prevención de riesgos.

Una tecnología adecuada para controlar el medio ambiente de trabajo debe incluir, asimismo, medidas para prevenir la contaminación ambiental (aire, agua, suelo), entre ellas un tratamiento adecuado de los residuos peligrosos.

Aunque la mayoría de las medidas de control que se mencionan aquí se refieren a los contaminantes atmosféricos, muchas pueden aplicarse también a otros tipos de riesgos. Por ejemplo, un proceso puede modificarse para que produzca menos contaminantes atmosféricos, menos ruido o menos calor. Una barrera de aislamiento puede separar a los trabajadores de una fuente de ruido, calor o radiación.

Con demasiada frecuencia, la prevención se centra en las medidas más conocidas, como la ventilación localizada y los equipos de protección personal, y no tiene debidamente en cuenta otras valiosas medidas de control, como el uso de tecnologías alternativas limpias, la sustitución de materiales, la modificación de procesos o la aplicación de buenas prácticas de trabajo. Muchas veces ocurre que los procesos de trabajo se consideran inmodificables cuando, en realidad, podrían introducirse cambios para prevenir con eficacia, o al menos reducir, los riesgos asociados.

La prevención y el control de riesgos en el medio ambiente de trabajo requieren conocimientos e ingenio. Un control eficaz no precisa necesariamente de medidas muy costosas y complicadas. En muchos casos, el riesgo puede controlarse con el uso de una tecnología adecuada, que puede ser tan sencilla como una pieza de material impermeable entre el hombro desnudo de un trabajador de un muelle y una bolsa de material tóxico que pueda absorberse a través de la piel. Puede controlarse también con mejoras sencillas, como la colocación de una barrera móvil entre una fuente de rayos ultravioleta y el trabajador, o la formación de los trabajadores en materia de prácticas seguras de trabajo.

Los aspectos que deben tenerse en cuenta para seleccionar una estrategia y una tecnología de control adecuadas son el tipo de agente peligroso (naturaleza, estado físico, efectos para la salud, vías de entrada en el organismo), el tipo de fuente(s), la magnitud y las condiciones de la exposición, las características del lugar de trabajo y la ubicación relativa de los puestos de trabajo.

Deben garantizarse las cualificaciones y los recursos necesarios para el diseño, la aplicación, el funcionamiento, la evaluación y el mantenimiento de los sistemas de control. Algunos sistemas, como la ventilación localizada, deben evaluarse en el momento de su instalación y verificarse periódicamente a partir de entonces. Sólo un control y un mantenimiento periódicos pueden asegurar una eficiencia continua, puesto que incluso los sistemas bien diseñados pueden perder sus características iniciales si no reciben el mantenimiento adecuado.

Las medidas de control deben integrarse en programas de prevención y control de riesgos, dotados de unos objetivos claros y una gestión eficiente, en los que participen equipos interdisciplinarios formados por higienistas industriales y otros profesionales de la salud y la seguridad en el trabajo, técnicos de producción, directivos y trabajadores. Tales programas deben abarcar también aspectos como la comunicación de los riesgos, la educación y la formación sobre prácticas seguras de trabajo y procedimientos de emergencia.

Asimismo, deben considerarse los aspectos relacionados con la promoción de la salud, puesto que el lugar de trabajo es un entorno ideal para promover estilos de vida saludables en general y para alertar sobre los peligros de las exposiciones no profesionales causadas, por ejemplo, por practicar el tiro sin protectores adecuados o por fumar.

## Relación entre higiene industrial, evaluación de riesgos y gestión de riesgos

### *Evaluación de riesgos*

La evaluación de riesgos es una metodología que trata de caracterizar los tipos de efectos previsibles para la salud como resultado de determinada exposición a determinado agente, y de calcular la probabilidad de que se produzcan esos efectos en la salud, con diferentes niveles de exposición. Se utiliza también para caracterizar situaciones de riesgo concretas. Sus etapas son la identificación de riesgos, la descripción de la relación exposición-efecto y la evaluación de la exposición para caracterizar el riesgo.

La primera etapa se refiere a la identificación de un agente —por ejemplo, una sustancia química— como causa de un efecto nocivo para la salud (p. ej., cáncer o intoxicación sistémica). En la segunda etapa se establece qué grado de exposición causa qué magnitud de un efecto determinado en cuántas personas expuestas. Estos conocimientos son esenciales para interpretar los datos obtenidos de la evaluación de la exposición.

La evaluación de la exposición forma parte de la evaluación de riesgos, tanto cuando se obtienen datos para caracterizar una situación de riesgo como cuando se obtienen datos para determinar la relación exposición-efecto basándose en estudios epidemiológicos. En este último caso, la exposición que ha dado lugar a determinado efecto relacionado con el trabajo o con causas ambientales tiene que caracterizarse con exactitud para garantizar la validez de la correlación.

Aunque la evaluación de riesgos es fundamental para muchas de las decisiones que deben tomarse en la práctica de la higiene industrial, tiene un efecto limitado en la protección de la salud de los trabajadores, a menos que se concrete en acciones preventivas reales en el lugar de trabajo.

La evaluación de riesgos es un proceso dinámico, ya que se adquieren nuevos conocimientos que a menudo revelan efectos nocivos de sustancias que hasta entonces se consideraban relativamente inocuas; por consiguiente, el higienista industrial debe tener en todo momento acceso a información toxicológica actualizada. Otra implicación es que las exposiciones deben controlarse siempre al nivel más bajo posible.

En la Figura 30.3 se exponen los diferentes elementos de la evaluación de riesgos.

### *Gestión de riesgos en el medio ambiente de trabajo*

No siempre se pueden eliminar todos los agentes que plantean riesgos para la salud en el trabajo, porque algunos son inherentes a procesos de trabajo indispensables o deseables; sin embargo, los riesgos pueden y deben gestionarse.

La evaluación de riesgos constituye una base para la gestión de los riesgos. Sin embargo, mientras que la evaluación de riesgos es un procedimiento científico, la gestión de riesgos es más pragmática y conlleva decisiones y acciones orientadas a prevenir, o reducir a niveles aceptables, la presencia de agentes que pueden ser peligrosos para la salud de los trabajadores, las comunidades vecinas y el medio ambiente, considerando también el contexto socioeconómico y de la salud pública.

La gestión de riesgos tiene lugar a diferentes niveles; las decisiones y acciones que se adoptan a escala nacional facilitan la práctica de la gestión de riesgos en el lugar de trabajo. La gestión de riesgos en el lugar de trabajo requiere información y conocimientos sobre:

- riesgos para la salud y su magnitud, descritos y clasificados de acuerdo con los resultados de la evaluación de riesgos;
- normas y requisitos legales;
- viabilidad tecnológica, desde el punto de vista de la tecnología de control disponible y aplicable;

- aspectos económicos, como los costes del diseño, la aplicación, el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas de control, y análisis coste-beneficio (coste del control frente al beneficio económico que se deriva de controlar los riesgos profesionales y ambientales);
- recursos humanos (disponibles y necesarios);
- contexto socioeconómico y de salud pública; que sirven como base para tomar decisiones referentes a:
- definición de los objetivos del control;
- selección de unas estrategias y tecnologías de control adecuadas;
- asignación de prioridades de acción, teniendo en cuenta la situación de riesgo, así como el contexto socioeconómico y de salud pública (especialmente importante en los países subdesarrollados), para realizar acciones como las siguientes:
- identificación y búsqueda de recursos financieros y humanos (si aún no se dispone de los mismos);
- diseño de medidas de control específicas, que deben ser adecuadas para proteger la salud de los trabajadores y el medio ambiente, salvaguardando en la mayor medida posible los recursos naturales;
- aplicación de medidas de control, incluidas disposiciones para un funcionamiento, un mantenimiento y unos procedimientos de emergencia adecuados;
- establecimiento de un programa de prevención y control de riesgos, con una gestión adecuada que incluya vigilancia periódica.

Tradicionalmente, la profesión responsable de la mayoría de estas decisiones y acciones en el lugar de trabajo ha sido la higiene industrial.

Una decisión clave en la gestión de riesgos es la referente al riesgo aceptable (qué efecto puede aceptarse, si es que puede aceptarse, en qué porcentaje de la población trabajadora). Normalmente, aunque no siempre, esta decisión se toma en el ámbito de la política nacional y va seguida de la adopción de límites de exposición profesional y de la promulgación de reglamentos y normas sobre la salud en el trabajo. El higienista industrial, que debe conocer estos requisitos legales, es el responsable, normalmente, de definir los objetivos de control en el lugar de trabajo. Sin embargo, puede suceder que el propio higienista industrial tenga que tomar decisiones sobre el riesgo aceptable en el lugar de trabajo, por ejemplo, cuando no existen

normas aplicables o éstas no abarcan todas las posibles exposiciones.

Todas estas decisiones y acciones deben integrarse en un plan realista, que requiere coordinación y colaboración interdisciplinaria y multisectorial. Aunque la gestión de riesgos implica enfoques pragmáticos, su eficiencia debe evaluarse científicamente. Por desgracia, las actividades relacionadas con la gestión de riesgos son, en la mayoría de los casos, un término medio entre lo que debería hacerse para evitar todos los riesgos y lo mejor que se puede hacer en la práctica, considerando las limitaciones económicas y de otros tipos.

La gestión de los riesgos relacionados con el medio ambiente de trabajo y con el medio ambiente en general debe coordinarse; no sólo son áreas que se solapan, sino que, en la mayoría de las situaciones, el éxito de una está vinculado al éxito de otra.

### Programas y servicios de higiene industrial

La voluntad política y la toma de decisiones a escala nacional influirán, directa o indirectamente, en el establecimiento de programas o servicios de higiene industrial, ya sea en el sector público o privado. No se incluye en este artículo una descripción detallada de los tipos de programas y servicios de higiene industrial; sin embargo, existen unos principios generales que pueden aplicarse a numerosas situaciones y contribuir a su aplicación y funcionamiento eficientes.

Un servicio global de higiene industrial debe tener capacidad para realizar estudios preliminares adecuados, tomar muestras y realizar mediciones y análisis para evaluar y controlar los riesgos, así como para recomendar medidas de control, o incluso diseñarlas.

Los elementos clave de un programa o servicio global de higiene industrial son los recursos humanos y económicos, las instalaciones, el equipo y los sistemas de información. Estos recursos deben organizarse y coordinarse adecuadamente mediante una planificación cuidadosa y una gestión eficiente, y deben incluir también garantía de calidad y una evaluación continua del programa. El éxito de los programas de higiene industrial exige un respaldo político y el compromiso de la alta dirección. La obtención de recursos económicos no se aborda en este artículo.

### Recursos humanos

El principal activo de un programa son unos recursos humanos adecuados, y es prioritario contar con ellos. Todo el personal

Figura 30.3. Elementos de la evaluación de riesgos.





debe conocer claramente sus responsabilidades y la descripción de su puesto de trabajo. En caso necesario, deberán tomarse medidas de formación y educación. Los requisitos básicos de los programas de higiene industrial son:

- higienistas industriales: además de conocimientos generales sobre la identificación, la evaluación y el control de riesgos profesionales, los higienistas industriales pueden especializarse en áreas concretas, como la química analítica o la ventilación industrial; lo ideal es disponer de un equipo de profesionales con la debida formación en todos los aspectos de la práctica de la higiene industrial y en todas las áreas técnicas necesarias;
- personal de laboratorio, químicos (dependiendo de la amplitud del trabajo analítico);
- técnicos y ayudantes, para estudios de campo y para el trabajo de laboratorio, así como para el mantenimiento y la reparación de los instrumentos;
- especialistas en información y apoyo administrativo.

Un aspecto importante son las competencias profesionales, que no sólo deben adquirirse, sino también mantenerse. La educación continua, dentro o fuera del programa o servicio, debe abarcar, por ejemplo, actualizaciones legislativas, nuevos avances y técnicas y lagunas en los conocimientos. La participación en conferencias, simposios y seminarios contribuye también a mantener las competencias del personal.

### **Salud y seguridad del personal**

La salud y la seguridad de todos los miembros del personal debe estar garantizada en los estudios de campo, los laboratorios y las oficinas. Los higienistas industriales pueden verse expuestos a riesgos graves y deben utilizar el equipo de protección personal adecuado. Dependiendo del tipo de trabajo, es posible que tengan que ser vacunados. Si se trata de un trabajo en zonas rurales, y dependiendo de la región, deberán administrarse, por ejemplo, antídotos contra mordeduras de serpiente. La seguridad en los laboratorios es un campo especializado que se comenta en otro apartado de esta *Enciclopedia*.

Los riesgos profesionales en las oficinas no deben subestimarse; por ejemplo, el trabajo con pantallas de ordenador y la fuente de contaminación interior, como las impresoras láser, las fotocopiadoras o los sistemas de aire acondicionado. También deben tenerse en cuenta los factores ergonómicos y psicosociales.

### **Instalaciones**

Las instalaciones incluyen oficinas, sala(s) de reunión, laboratorios y equipos, sistemas de información y biblioteca. Las instalaciones deben estar correctamente diseñadas y tener en cuenta las necesidades futuras, ya que las modificaciones y adaptaciones posteriores suelen ser más costosas y consumir mucho tiempo.

### **Laboratorios y equipos de higiene industrial**

Los laboratorios de higiene industrial deben tener, en principio, capacidad para realizar evaluaciones cualitativas y cuantitativas de la exposición a contaminantes atmosféricos (sustancias químicas y polvo), agentes físicos (ruido, estrés por calor, radiación, iluminación) y agentes biológicos. En el caso de la mayoría de los agentes biológicos, las evaluaciones cualitativas son suficientes para recomendar controles, y no es necesario realizar evaluaciones cuantitativas, normalmente más difíciles.

Aunque algunos instrumentos de lectura directa de la contaminación atmosférica pueden resultar limitados para los fines de la evaluación de la exposición, son extremadamente útiles para identificar los riesgos y sus fuentes, determinar las

concentraciones pico y recoger datos para diseñar las medidas de control y verificar controles como los sistemas de ventilación. En relación con estos últimos (los sistemas de ventilación), se necesitan también instrumentos para comprobar la velocidad del aire y la presión estática.

Una de las posibles estructuras englobaría las siguientes unidades:

- equipos de campo (toma de muestras, lectura directa);
- laboratorio analítico;
- laboratorio de partículas;
- agentes físicos (ruido, temperatura, iluminación y radiación);
- taller para el mantenimiento y la reparación de instrumentos.

A la hora de seleccionar un equipo de higiene industrial, además de las características de funcionamiento tienen que considerarse siempre los aspectos prácticos asociados con las condiciones previstas de uso; por ejemplo, infraestructura disponible, clima, ubicación. Algunos de estos aspectos son la posibilidad de transportar el equipo, la fuente de energía necesaria, los requisitos de calibrado y mantenimiento y la disponibilidad de repuestos de los consumibles.

Sólo debe adquirirse un equipo si:

- existe una necesidad real;
- se dispone de personal cualificado para garantizar su correcto funcionamiento, mantenimiento y reparación;
- se ha desarrollado el procedimiento completo, ya que no tendría sentido comprar, por ejemplo, bombas de muestreo, si no se dispone de un laboratorio para analizar las muestras (o de un acuerdo con un laboratorio externo).

El calibrado de todas las mediciones y muestreos de higiene industrial, así como los equipos analíticos, deben formar parte de cualquier procedimiento y es preciso disponer de los equipos necesarios.

El mantenimiento y las reparaciones son esenciales para evitar que los equipos permanezcan parados durante demasiado tiempo. Los fabricantes de los equipos deben garantizar este tipo de servicio, ya sea mediante asistencia técnica directa o encargándose de la formación del personal.

Si se va a desarrollar un programa completamente nuevo, en un principio sólo debe adquirirse el equipo básico, que se irá completando a medida que se establezcan las necesidades y se garanticen las capacidades operativas. Sin embargo, incluso antes de disponer de equipo y de laboratorio y de que estos empiecen a funcionar, puede avanzarse mucho inspeccionando los lugares de trabajo con el fin de evaluar cualitativamente los riesgos para la salud y recomendando medidas para controlar los riesgos detectados. La falta de capacidad para realizar evaluaciones cuantitativas de las exposiciones no debe justificar nunca la pasividad frente a exposiciones obviamente peligrosas. Eso es sobre todo cierto en situaciones en las que no se controlan los riesgos en el lugar de trabajo y es habitual que se alcancen elevadas exposiciones.

### **Información**

Las principales fuentes de información son las bibliotecas (libros, revistas y otras publicaciones), las bases de datos (p. ej., en CD-ROM) y las comunicaciones.

Siempre que sea posible, es conveniente disponer de ordenadores personales y lectores de CD-ROM, así como de conexiones a INTERNET. Cada vez son más las posibilidades que ofrecen los servidores de información pública conectados en línea a una red (direcciones de World Wide Web y GOPHER), ya que permiten acceder a numerosas fuentes de información

referente a la salud de los trabajadores, lo cual justifica plenamente la inversión realizada en ordenadores y comunicaciones. Este tipo de sistemas debe incluir correo electrónico (e-mail), que abre nuevos horizontes para la comunicación y el debate, ya sea individualmente o en grupo, al facilitar y promover el intercambio de información en todo el mundo.

### **Planificación**

Una planificación puntual y minuciosa de la ejecución, la gestión y la evaluación periódica de un programa es esencial para garantizar el logro de sus objetivos y fines, haciendo el mejor uso de los recursos disponibles.

En un principio, debe obtenerse y analizarse la siguiente información:

- naturaleza y magnitud de los riesgos existentes, con objeto de establecer prioridades;
- requisitos legales (legislación, normas);
- recursos disponibles;
- infraestructura y servicios de apoyo.

Los procesos de planificación y organización incluyen las siguientes etapas:

- definición de la finalidad del programa o servicio, definición de los objetivos y del ámbito de actuación, considerando la demanda prevista y los recursos disponibles;
- asignación de recursos;
- definición de la estructura organizativa;
- perfil de los recursos humanos necesarios y planes para su desarrollo (cuando sea necesario);
- asignación clara de responsabilidades a los distintos servicios, equipos y personas;
- diseño y adaptación de las instalaciones;
- selección de equipos;
- requisitos operativos;
- establecimiento de mecanismos para la comunicación dentro y fuera del servicio;
- calendario.

Los costes operativos no deben subestimarse, ya que la falta de recursos puede dificultar seriamente la continuidad de un programa. Los siguientes son algunos requisitos que no pueden pasarse por alto:

- adquisición de consumibles (como filtros, tubos indicadores, tubos de carbón vegetal, reactivos), repuestos de los equipos, etc.
- mantenimiento y reparación de los equipos
- transporte (vehículos, combustible, mantenimiento) y viajes
- actualización de la información.

Los recursos deben aprovecharse al máximo mediante un estudio detenido de todos los elementos que deben considerarse como parte integrante de un servicio completo. Para el éxito de cualquier programa, es esencial distribuir los recursos de forma equilibrada entre las diferentes unidades (mediciones de campo, toma de muestras, laboratorios analíticos, etc.) y componentes (instalaciones y equipo, personal, aspectos operativos). Además, la distribución de recursos debe permitir cierta flexibilidad, ya que es posible que los servicios de higiene industrial tengan que adaptarse para responder a las necesidades reales, las cuales deben evaluarse periódicamente.

Comunicar, compartir y colaborar son palabras clave para el éxito del trabajo en equipo y el desarrollo de las competencias individuales. Es necesario disponer de mecanismos eficaces de

comunicación, dentro y fuera del programa, para conseguir el enfoque interdisciplinario que requiere la protección y la promoción de la salud de los trabajadores. Debe existir una estrecha interacción con otros profesionales de la salud en el trabajo, especialmente con los profesionales de la medicina y la enfermería del trabajo, los ergonomistas y los psicólogos del trabajo, así como con los profesionales de la seguridad. En el contexto del lugar de trabajo, han de participar también los trabajadores, el personal de producción y los directivos.

La ejecución de programas eficaces es un proceso gradual. Por consiguiente, en la fase de planificación debe elaborarse un calendario realista, de acuerdo con unas prioridades correctamente establecidas y considerando los recursos disponibles.

### **Gestión**

La gestión consiste en tomar decisiones referentes a los objetivos que deben alcanzarse y a las medidas que deben adoptarse para ello, con la participación de todos los interesados, así como en prever y evitar, o reconocer y resolver, los problemas que pueden crear obstáculos para realizar las tareas necesarias. Debe tenerse en cuenta que los conocimientos científicos no garantizan necesariamente las competencias de gestión necesarias para dirigir un programa eficiente.

La importancia de implantar y seguir unos procedimientos correctos y una garantía de calidad es fundamental, puesto que existe una gran diferencia entre el trabajo hecho y el trabajo bien hecho. Por otra parte, los objetivos reales, y no las etapas intermedias, deben servir como referencia. La eficiencia de un programa de higiene industrial no debe medirse por el número de estudios realizados, sino por el número de estudios que dan lugar a acciones concretas para proteger la salud de los trabajadores.

Una buena gestión debe ser capaz de distinguir entre lo que llama la atención y lo que es importante; los estudios muy detallados que incluyen muestreo y análisis, y que generan resultados muy exactos y precisos, pueden ser muy impresionantes, pero lo verdaderamente importante son las decisiones y las medidas que se adoptan en consecuencia.

### **Garantía de calidad**

El concepto de garantía de calidad, que abarca control de calidad y pruebas de aptitud, se refiere principalmente a las actividades de medición. Aunque estos conceptos se han asociado casi siempre a los laboratorios analíticos, su ámbito debe ampliarse para englobar también los muestreos y las mediciones.

En los casos en que sea preciso realizar análisis y muestreos, ambos procedimientos deberán considerarse como uno solo desde el punto de vista de la calidad. Puesto que ninguna cadena es más fuerte que el más débil de sus eslabones, el uso de instrumentos y técnicas con diferentes niveles de calidad en las distintas etapas de un mismo procedimiento de evaluación implica malgastar los recursos. La precisión y la exactitud de una balanza analítica de gran calidad no puede compensar el uso de una bomba de muestreo que tiene una velocidad de flujo inadecuada.

La actuación de los laboratorios debe examinarse para identificar y corregir las posibles fuentes de error. Es preciso adoptar un enfoque sistemático para mantener bajo control los numerosos detalles implicados. Es importante establecer en los laboratorios de higiene industrial programas de garantía de calidad, que engloben tanto controles internos de calidad, como evaluaciones externas de calidad (llamadas con frecuencia "pruebas de aptitud").

En lo que se refiere a la toma de muestras o a las mediciones realizadas con instrumentos de lectura directa (como los que se

utilizan para la medición de agentes físicos), la calidad implica la existencia de procedimientos correctos y adecuados para:

- realizar estudios preliminares que incluyan la identificación de los posibles riesgos y de los factores que deben tenerse en cuenta para diseñar la estrategia;
- diseñar la estrategia de muestreo (o medición);
- seleccionar y utilizar metodologías y equipos de muestreo o medición, teniendo en cuenta tanto los fines de la investigación como los requisitos de calidad;
- ejecutar los procedimientos, incluido el control de tiempos;
- manipular, transportar y almacenar las muestras (en su caso).

Por lo que respecta al laboratorio analítico, la calidad implica la existencia de procedimientos adecuados y correctos de:

- diseño e instalación de los equipos;
- selección y utilización de métodos analíticos validados (o, en caso necesario, validación de los métodos analíticos);
- selección e instalación de instrumentos;
- suministros adecuados (reactivos, muestras de referencia, etc.)

En ambos casos, es indispensable disponer de:

- protocolos, procedimientos e instrucciones por escrito que sean claros;
- calibrado y mantenimiento rutinario de los equipos;
- personal formado y motivado para realizar correctamente los procedimientos establecidos;
- gestión adecuada;
- control de calidad interno;
- evaluación externa de la calidad o pruebas de aptitud (si procede).

Asimismo, es esencial que existan procedimientos adecuados para el tratamiento de los datos obtenidos y la interpretación de los resultados, así como para su notificación y registro.

La acreditación de los laboratorios, definida por el CEN (EN 45001) como "el reconocimiento formal que un laboratorio de ensayos es competente para realizar determinados ensayos o tipos de ensayos", es una herramienta de control muy importante que debe promocionarse. Debe abarcar tanto la toma de muestras como los procedimientos analíticos.

### **Evaluación de los programas**

El concepto de calidad debe aplicarse a todas las etapas de la práctica de la higiene industrial, desde la identificación de riesgos hasta la ejecución de programas de prevención y control de riesgos. Desde este punto de vista, los programas y servicios de higiene industrial deben evaluarse periódica y críticamente para conseguir una mejora continua.

### **Comentarios finales**

La higiene industrial es esencial para proteger la salud de los trabajadores y el medio ambiente. Su práctica consta de muchas etapas interrelacionadas que no tienen sentido por sí solas, sino que deben integrarse en una estrategia global.

## ● IDENTIFICACION DE PELIGROS

*Linnéa Lillienberg*

Un peligro en el lugar de trabajo puede definirse como cualquier condición que puede afectar negativamente al bienestar o a la salud de las personas expuestas. La identificación de los peligros

en cualquier actividad profesional supone la caracterización del lugar de trabajo identificando los agentes peligrosos y los grupos de trabajadores potencialmente expuestos a los riesgos consiguientes. Los peligros pueden ser de origen químico, biológico o físico (véase Tabla 30.1). Algunos peligros del medio ambiente de trabajo son fáciles de identificar; por ejemplo, las sustancias irritantes, que tienen un efecto inmediato después de la exposición de la piel o la inhalación. Otros no son tan fáciles de identificar, por ejemplo, las sustancias químicas que se forman accidentalmente y que no tienen propiedades que adviertan de su presencia. Algunos agentes, como los metales (p. ej., plomo, mercurio, cadmio, manganeso), que pueden causar daños al cabo de varios años de exposición, pueden ser fáciles de identificar si se conoce el riesgo existente. Un agente tóxico puede no constituir un peligro si está presente en concentraciones pequeñas o si nadie está expuesto al mismo. Para saber qué peligros existen, es imprescindible identificar los agentes que pueden haber en el lugar de trabajo, conocer los riesgos que conllevan para la salud y las posibles situaciones de exposición.

### **Identificación y clasificación de los peligros**

Antes de realizar una investigación de higiene industrial, debe definirse claramente su finalidad. La finalidad de una investigación de higiene industrial puede ser identificar los riesgos potenciales, evaluar los riesgos existentes en el lugar de trabajo, demostrar que se cumplen los requisitos normativos, evaluar las medidas de control o evaluar la exposición en relación con un estudio epidemiológico. Este artículo se centra en los programas destinados a identificar y clasificar los peligros en el lugar de trabajo. Son muchos los modelos y técnicas que se han desarrollado para identificar y evaluar los peligros presentes en el medio ambiente de trabajo, y su complejidad varía, desde simples listas de comprobación, estudios preliminares de higiene industrial, matrices de exposición profesional y estudios de riesgo y operabilidad, hasta perfiles de exposición profesional y programas de vigilancia en el trabajo (Renes 1978; Gressel y Gideon 1991; Holzner, Hirsh y Perper 1993; Goldberg y cols. 1993; Bouyer y Hémon 1993; Panett, Coggon y Acheson 1985; Tait 1992). No existe una técnica concreta adecuada para todos los casos, pero todas las técnicas tienen componentes que pueden ser útiles en cualquier investigación. La utilidad de los modelos depende también del objetivo de la investigación, del tamaño del lugar de trabajo, del tipo de producción y de actividad y de la complejidad de las operaciones.

El proceso de identificación y clasificación de los peligros puede dividirse en tres elementos básicos: caracterización del lugar de trabajo, descripción de la pauta de exposición y evaluación de riesgos.

### **Caracterización del lugar de trabajo**

Un lugar de trabajo puede tener desde unos cuantos empleados hasta varios miles, y en él pueden desarrollarse diferentes actividades (p. ej., fábricas, obras, edificios de oficinas, hospitales o explotaciones agrarias). En un lugar de trabajo pueden distinguirse áreas especiales, como departamentos o secciones, en las que se desarrollan diferentes actividades. En un proceso industrial, se observan diferentes etapas y operaciones en el proceso de producción, desde las materias primas hasta los productos terminados.

El higienista industrial debe obtener información detallada sobre los procesos, las operaciones y otras actividades de interés, con el fin de identificar los agentes utilizados, entre ellos materias primas, materiales manipulados o añadidos en el proceso, productos primarios, productos intermedios, productos finales, productos de reacción y subproductos.

Tabla 30.1 • Peligro de agentes químicos, biológicos y físicos.

Tipo de peligro	Descripción	Ejemplos
PELIGROS QUIMICOS	Las sustancias químicas penetran en el organismo principalmente por inhalación, absorción de la piel o ingestión. El efecto tóxico puede ser agudo, crónico o de ambos tipos.	
Corrosión	Las sustancias químicas corrosivas producen destrucción de tejidos en el lugar de contacto. La piel, los ojos y el sistema digestivo son las partes del organismo afectadas con mayor frecuencia.	Ácidos concentrados y álcalis, fósforo
Irritación	Los irritantes causan inflamación de los tejidos en el lugar en el que se depositan. Los irritantes de la piel pueden causar reacciones como eczema o dermatitis. Las sustancias que producen grave irritación respiratoria pueden causar disnea, respuestas inflamatorias y edema.	<i>Piel:</i> ácidos, álcalis, disolventes, aceites <i>Respiratoria:</i> aldehídos, polvo alcalino, amoníaco, dióxido de nitrógeno, fosgeno, cloro, bromo, ozono
Reacciones alérgicas	Los alérgenos o sensibilizantes químicos pueden causar reacciones alérgicas dermatológicas o respiratorias.	<i>Piel:</i> colofonia (resina), formaldehído, metales como el cromo o el níquel, algunos tintes orgánicos, endurecedores epoxídicos, trementina <i>Respiratorias:</i> isocianatos, tintes reactivos a la fibra, formaldehído, polvos de bosques tropicales, níquel
Asfixia	Los asfixiantes ejercen su efecto al interferir con la oxigenación de los tejidos. Los asfixiantes simples son gases inertes que diluyen el oxígeno presente en la atmósfera por debajo de la concentración necesaria para que exista vida. Una atmósfera deficiente en oxígeno puede encontrarse en los tanques, la bodega de los barcos, los silos o las minas. La concentración atmosférica de oxígeno nunca debe ser inferior al 19,5 % en volumen. Los asfixiantes químicos impiden el transporte de oxígeno y la oxigenación normal de la sangre o impiden la oxigenación normal de los tejidos.	<i>Asfixiantes simples:</i> metano, etano, hidrógeno, helio <i>Asfixiantes químicos:</i> monóxido de carbono, nitrobenzeno, cianuro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno
Cáncer	Los cancerígenos humanos conocidos son sustancias químicas de las que se ha demostrado claramente que causan cáncer en el ser humano. Los cancerígenos humanos probables son sustancias químicas de las que se ha demostrado claramente que causan cáncer en animales o de las que no se dispone de pruebas definitivas en cuanto al modo en que afectan al ser humano. El hollín y el alquitrán de hulla fueron las primeras sustancias químicas de las que se sospechó que causaban cáncer.	<i>Conocidos:</i> benceno (leucemia); cloruro de vinilo (angiosarcoma de hígado); 2-naftilamina, bencidina (cáncer de vejiga); amianto (cáncer de pulmón, mesotelioma); polvo de madera dura (adenocarcinoma nasal o de los senos nasales) <i>Probables:</i> formaldehído, tetracloruro de carbono, dicromatos, berilio
Efectos en el sistema reproductor	Los agentes tóxicos para el sistema reproductor interfieren con las funciones reproductoras o sexuales de la persona.  Los agentes tóxicos para el desarrollo son agentes que pueden causar un efecto negativo en la descendencia de las personas expuestas; por ejemplo, defectos congénitos. Las sustancias químicas embriotóxicas o fetotóxicas pueden causar aborto espontáneo.	Manganeso, disulfuro de carbono, éter monometílico y etílico de etilenglicol, mercurio  Compuestos orgánicos de mercurio, monóxido de carbono, plomo, talidomida, disolventes
Agentes tóxicos sistémicos	Los agentes tóxicos sistémicos son agentes que causan lesiones en determinados órganos o sistemas del organismo.	<i>Cerebro:</i> disolventes, plomo, mercurio, manganeso <i>Sistema nervioso periférico:</i> n-hexano, plomo, arsénico, disulfuro de carbono <i>Sistema hematopoyético:</i> benceno, éteres de etilenglicol <i>Riñón:</i> cadmio, plomo, mercurio, hidrocarburos clorados <i>Pulmón:</i> sílice, amianto, polvos de carbón (neumoconiosis)
PELIGROS BIOLÓGICOS	Los peligros biológicos pueden definirse como polvos orgánicos de distintas fuentes de origen biológico, como virus, bacterias, hongos, proteínas animales o sustancias vegetales, como productos de la degradación de fibras naturales. El agente etiológico puede derivarse de un organismo viable o de contaminantes o constituir un componente específico del polvo. Los peligros biológicos se dividen en agentes infecciosos y no infecciosos. Los peligros no infecciosos pueden dividirse a su vez en organismos viables, toxinas biógenas y alérgenos biógenos.	
Peligros infecciosos	Las enfermedades profesionales por agentes infecciosos son relativamente poco comunes. Los trabajadores en situación de riesgo son los empleados de hospitales, el personal de los laboratorios, los agricultores, los trabajadores de mataderos, los veterinarios, los trabajadores de los zoológicos y los cocineros. La susceptibilidad varía mucho (p. ej., las personas tratadas con fármacos inmunodepresores tendrán una elevada sensibilidad).	Hepatitis B, tuberculosis, carbunco, brucelosis, tétanos, <i>Chlamydia psittaci</i> , <i>Salmonella</i>

Continúa en la página siguiente.

Tabla 30.1 • Peligro de agentes químicos, biológicos y físicos.

Continuación.

Tipo de peligro	Descripción	Ejemplos
Organismos viables y toxinas biógenas	Los organismos viables incluyen hongos, esporas y micotoxinas; las toxinas biógenas incluyen endotoxinas, aflatoxinas y bacterias. Los productos del metabolismo de las bacterias y los hongos son complejos y numerosos y se ven afectados por la temperatura, la humedad y el tipo de sustrato en el que crecen. Desde el punto de vista químico, pueden ser proteínas, lipoproteínas o mucopolisacáridos. Las bacterias grampositivas y gramnegativas y mohos son ejemplos de estos organismos. Los trabajadores más expuestos a riesgo son los de las fábricas de algodón, los trabajadores del cáñamo y el lino, los de las plantas de tratamiento de aguas y fangos residuales y los trabajadores de los silos de cereales.	Bisnosis, "fiebre del grano", enfermedad del legionario
Alérgenos biógenos	Los alérgenos biógenos pueden ser hongos, proteínas de origen animal, terpenos, ácaros y enzimas. Una parte considerable de los alérgenos biógenos en la agricultura procede de las proteínas de la piel de los animales, el pelo de los animales y las proteínas del material fecal y la orina. Pueden encontrarse alérgenos en muchos entornos industriales, como los procesos de fermentación, la producción de fármacos, las panaderías, la producción de papel, el procesamiento de la madera (serrado, producción, fabricación), así como en la biotecnología (producción de enzimas y vacunas, cultivo de tejidos) y la producción de especias. En personas sensibilizadas, la exposición a agentes alérgicos puede causar síntomas alérgicos como rinitis alérgica, conjuntivitis o asma. La alveolitis alérgica se caracteriza por síntomas respiratorios agudos, como tos, escalofríos, fiebre, cefaleas y dolor muscular, y puede llegar a producir fibrosis pulmonar crónica.	<i>Asma profesional:</i> lana, pieles, granos de trigo, harina, cedro rojo, ajo en polvo <i>Alveolitis alérgica:</i> enfermedad del agricultor, bagazosis, "enfermedad del avicultor", fiebre del humidificador, secuoiosis
<b>PELIGROS FISICOS</b>		
Ruido	Se considera ruido cualquier sonido no deseado que puede afectar negativamente a la salud y el bienestar de las personas o poblaciones. Algunos aspectos de los peligros del ruido son la energía total del sonido, la distribución de frecuencias, la duración de la exposición y el ruido de impulso. La agudeza auditiva es, en general, la primera capacidad que se ve afectada, con una pérdida o reducción a 4.000 Hz, seguida de pérdidas en el rango de frecuencias de 2.000 a 6.000 Hz. El ruido puede producir efectos agudos como problemas de comunicación, disminución de la capacidad de concentración, somnolencia y, como consecuencia, interferencia con el rendimiento laboral. La exposición a elevados niveles de ruido (normalmente por encima de 85 dBA) o ruido de impulso (unos 140 dBC) durante un periodo considerable de tiempo puede causar pérdida auditiva tanto temporal como crónica. La pérdida auditiva permanente es la enfermedad profesional más común en las demandas de indemnización.	Fundiciones, carpinterías, fábricas textiles, sector del metal
Vibración	La vibración tiene algunos parámetros en común con el ruido: frecuencia, amplitud, duración de la exposición y continuidad o intermitencia de la exposición. El método de trabajo y la destreza del operador parecen desempeñar un papel importante en la aparición de efectos nocivos a causa de la vibración. El trabajo manual con herramientas motorizadas se asocia a síntomas de trastornos circulatorios periféricos conocidos como "fenómeno de Raynaud" o "dedos blancos inducidos por la vibración". Las herramientas vibratorias pueden afectar también al sistema nervioso periférico y al sistema musculoesquelético, reduciendo la fuerza de agarre y causando dolor lumbar y trastornos degenerativos de la espalda.	Máquinas de ajuste, máquinas cargadoras de minería, carretilla de horquilla elevadora, herramientas neumáticas, sierra de cadena
Radiación ionizante	El efecto crónico más importante de la radiación ionizante es el cáncer, incluida la leucemia. La sobreexposición a niveles relativamente bajos de radiación se ha asociado a dermatitis en las manos y efectos en el sistema hematológico. Los procesos o actividades que pueden originar una sobreexposición a radiación ionizante están muy restringidos y controlados.	Reactores nucleares, tubos de rayos-x médicos y dentales, aceleradores de partículas, radioisótopos
Radiación no ionizante	La radiación no ionizante es la radiación ultravioleta, la radiación visible, los rayos infrarrojos, los láseres, los campos electromagnéticos (microondas y radiofrecuencia) y radiación de frecuencia extremadamente baja. La radiación IR puede causar cataratas. Los láseres de alta potencia pueden causar lesiones oculares y dérmicas. Existe una preocupación creciente por la exposición a bajos niveles de campos electromagnéticos como causa de cáncer y como causa potencial de efectos adversos en la función reproductora de la mujer, especialmente por la exposición a pantallas visualizadoras de datos. Todavía no se sabe con certeza si existe una relación causal con el cáncer. No obstante, las revisiones más recientes de los conocimientos científicos disponibles concluyen en general que no existe asociación entre el uso de pantallas visualizadoras de datos y efectos adversos para la función reproductora.	<i>Radiación ultravioleta:</i> soldadura y corte con arco eléctrico; tratamiento de tintas, colas, pinturas, etc. con rayos UV; desinfección; control de productos <i>Radiación infrarroja:</i> hornos, soplado de vidrio <i>Láseres:</i> comunicaciones, cirugía, construcción

Conviene también identificar los aditivos y los catalizadores que intervienen en el proceso. Las materias primas o el material añadido que se identifican sólo por su nombre comercial deben evaluarse en función de su composición química. El fabricante o el proveedor deben facilitar información o fichas toxicológicas de los productos.

Algunas etapas de un proceso pueden tener lugar en un sistema cerrado sin que ningún trabajador se vea expuesto, excepto cuando se realizan las tareas de mantenimiento o se produce un fallo en el proceso. Estos acontecimientos deben registrarse y deben tomarse las precauciones oportunas para prevenir la exposición a agentes peligrosos. Otros procesos tienen lugar en sistemas abiertos, con o sin ventilación localizada. En este caso debe facilitarse una descripción general del sistema de ventilación, incluido el sistema de ventilación localizada.

Siempre que sea posible, los peligros deben identificarse durante la planificación y el diseño de nuevas plantas o procesos, cuando todavía pueden realizarse cambios a tiempo para prevenir y evitar riesgos. Asimismo, deben identificarse y evaluarse las situaciones y los procedimientos que pueden desviarse del diseño previsto del proceso. La identificación de los peligros debe abarcar también las emisiones al medio ambiente exterior y la evacuación de los materiales residuales. La ubicación de las instalaciones, las operaciones, las fuentes de emisiones y los agentes deben agruparse de manera sistemática para formar unidades reconocibles en el análisis posterior de la exposición potencial. En cada unidad, las operaciones y los agentes deben agruparse en función de los efectos en la salud y la estimación de las cantidades emitidas al medio ambiente de trabajo.

### **Pautas de exposición**

Las principales vías de exposición a los agentes químicos y biológicos son la inhalación y la absorción a través de la piel o por ingestión accidental. La pauta de exposición depende de la frecuencia del contacto con los peligros, la intensidad de la exposición y la duración de la misma. Asimismo, deben examinarse sistemáticamente las tareas que realizan los trabajadores. Es importante no limitarse a estudiar los manuales de trabajo, sino también lo que realmente sucede en el lugar de trabajo. La exposición puede afectar de forma directa a los trabajadores cuando realizan su trabajo, o de forma indirecta, si están situados en la misma zona general que la fuente de la exposición. Puede ser necesario centrarse primero en las tareas que presentan un elevado potencial de causar daño aunque la exposición sea de corta duración. Hay que tener en cuenta también las operaciones no rutinarias e intermitentes (p. ej., mantenimiento, limpieza y cambios en los ciclos de producción), así como la variación de las tareas y las situaciones de trabajo a lo largo del año.

En puestos de trabajo similares, la exposición o la absorción pueden variar, según se utilicen o no equipos de protección personal. En las grandes fábricas, casi nunca puede realizarse una identificación de los peligros o una evaluación cualitativa de los peligros por cada uno de los trabajadores. Por consiguiente, los trabajadores que realizan tareas similares deben clasificarse en el mismo grupo de exposición. Las diferencias en las tareas, las técnicas de trabajo y la duración del trabajo generan diferencias considerables en la exposición y son factores que tienen que tenerse en cuenta. Se ha demostrado que las personas que trabajan al aire libre y las que trabajan sin ventilación localizada presentan mayor variabilidad de un día a otro que los grupos que trabajan en recintos cerrados con ventilación localizada (Kromhout, Symanski and Rappaport 1993). Para caracterizar a grupos con niveles similares de exposición, pueden utilizarse criterios como los procesos de trabajo, los agentes utilizados

durante ese proceso o trabajo o las diferentes tareas incluidas en la descripción de un puesto de trabajo, en lugar de la descripción genérica del puesto. Dentro de cada grupo, los trabajadores potencialmente expuestos deben clasificarse en función de los agentes peligrosos, las vías de exposición, los efectos de estos agentes en la salud, la frecuencia del contacto con los peligros, la intensidad de la exposición y su duración. Los diferentes grupos de exposición deben clasificarse según los agentes peligrosos y la exposición estimada para determinar cuáles son los trabajadores con mayor riesgo.

### **Evaluación cualitativa de los peligros**

La determinación de los efectos que los agentes químicos, biológicos y físicos presentes en el lugar de trabajo pueden tener en la salud debe basarse en una evaluación de los estudios epidemiológicos, toxicológicos, clínicos y medioambientales disponibles. Puede obtenerse información actualizada sobre los riesgos que implican para la salud los productos y agentes utilizados en el lugar de trabajo en revistas sobre salud y seguridad, bases de datos sobre toxicidad y efectos en la salud, y publicaciones científicas y técnicas sobre el tema.

Las fichas toxicológicas de materiales deben actualizarse cuando sea necesario. Estas fichas toxicológicas registran los porcentajes de componentes peligrosos junto con el identificador químico del Chemical Abstracts Service, el número CAS, y el valor límite umbral (TLV), cuando se dispone del mismo. Asimismo, contienen información sobre los riesgos para la salud, los equipos de protección, las medidas preventivas, el fabricante o proveedor, etc. En algunas ocasiones, los datos sobre los componentes son bastante rudimentarios y tienen que complementarse con información más detallada.

Asimismo, deben estudiarse los datos derivados de los controles y los registros de las mediciones. Los TLV ofrecen una orientación general para decidir si la situación es o no aceptable, aunque deben considerarse las posibles interacciones cuando los trabajadores están expuestos a varias sustancias químicas. Los trabajadores deben clasificarse en grupos de exposición según los efectos en la salud de los agentes presentes y la exposición estimada (p. ej., desde leves efectos en la salud y baja exposición, hasta graves efectos en la salud y una elevada exposición estimada). Los trabajadores que obtengan mayor puntuación deben ser atendidos de forma prioritaria. Antes de iniciar cualquier actividad preventiva, puede ser necesario emprender un programa de control de la exposición. Todos los resultados deben documentarse y ser fácilmente localizables. En la Figura 30.3 se ilustra un plan de trabajo.

En las investigaciones de higiene industrial, pueden considerarse también los riesgos para el medio ambiente exterior como la contaminación y el efecto invernadero, o los efectos en la capa de ozono.

### **Agentes químicos, biológicos y físicos**

Los riesgos pueden ser de origen químico, biológico o físico. En este apartado y en la Tabla 30.1 se ofrece una breve descripción de los distintos peligros, junto con ejemplos de entornos o actividades en los que se encuentran (Casarett 1980; International Congress on Occupational Health 1985; Jacobs 1992; Leidel, Busch y Lynch 1977; Olshifski 1988; Rylander 1994). En otros apartados de esta *Enciclopedia* puede encontrarse información adicional.

#### **Agentes químicos**

Las sustancias químicas pueden clasificarse en gases, vapores, líquidos y aerosoles (polvo, humo, niebla).

**Gases**

Los gases son sustancias que pueden pasar a estado líquido o sólido por el efecto combinado de un aumento de la presión y una disminución de la temperatura. La manipulación de gases implica siempre un riesgo de exposición, a menos que el proceso se realice en un sistema cerrado. Los gases introducidos en contenedores o tuberías de distribución pueden sufrir fugas accidentales. En los procesos realizados a elevadas temperaturas (p. ej., operaciones de soldadura y gases de escape de los motores) también se forman gases.

**Vapores**

Los vapores son la forma gaseosa de sustancias que normalmente se encuentran en estado líquido o sólido a temperatura ambiente y presión normal. Cuando un líquido se evapora, pasa a estado gaseoso y se mezcla con el aire que le rodea. Un vapor puede considerarse como un gas, cuya concentración máxima depende de la temperatura y de la presión de saturación de la sustancia. Todo proceso que incluye una combustión genera vapores o gases. Las operaciones de desengrase pueden realizarse mediante desengrase por fase de vapor o limpieza por impregnación con disolventes. Actividades como la carga y la mezcla de líquidos, pintura, nebulización, limpieza en general y limpieza en seco pueden generar vapores nocivos.

**Líquidos**

Los líquidos pueden estar compuestos de una sustancia pura o de una solución de dos o más sustancias (p. ej., disolventes, ácidos, compuestos alcalinos). Un líquido almacenado en un recipiente abierto se evapora parcialmente a la fase gaseosa. La concentración de equilibrio en la fase gaseosa depende de la presión de vapor de la sustancia, su concentración en la fase líquida y la temperatura. Las operaciones o actividades con líquidos pueden producir salpicaduras u otros contactos con la piel, además de vapores nocivos.

**Polvo**

El polvo se compone de partículas inorgánicas y orgánicas, que pueden clasificarse como inhalables, torácicas o respirables, dependiendo del tamaño de la partícula. La mayor parte del polvo orgánico es de origen biológico. El polvo inorgánico se genera en procesos mecánicos, como los de trituración, aserrado, corte, molienda, cribado o tamizado. El polvo puede dispersarse cuando se manipula material polvoriento o cuando es arrastrado por corrientes de aire causadas por el tráfico. La manipulación de materiales secos o en polvo para pesarlos, cargarlos, transportarlos o embalarlos genera polvo, al igual que otras actividades, como los trabajos de aislamiento y limpieza.

**Humo**

El humo está formado por partículas sólidas vaporizadas a elevada temperatura y condensadas en pequeñas partículas. La vaporización suele ir acompañada de una reacción química, como la oxidación. Las partículas que constituyen el humo son extremadamente pequeñas, normalmente menores de 0,1  $\mu\text{m}$ , y suelen agregarse en unidades de mayor tamaño. Algunos ejemplos son los humos que se generan en las soldaduras, los cortes con plasma y otras operaciones similares.

**Nieblas**

La niebla está compuesta por gotas de líquido en suspensión, que se forman por condensación del estado gaseoso al pasar a estado líquido o por la fragmentación de un líquido en un estado disperso por salpicadura, formación de espuma o atomización. Algunos ejemplos son la niebla de aceite que se produce en las operaciones de corte y trituración, la niebla ácida de la galvanoplastia, la niebla ácida o alcalina de las operaciones de decapado

o la niebla de pintura pulverizada en las operaciones de pintura con pistola.

## EVALUACION DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO

*Lori A. Todd*

**Vigilancia del riesgo y métodos de estudio**

La vigilancia en el trabajo se realiza a través de programas activos para prever, observar, medir, evaluar y controlar las exposiciones a riesgos potenciales para la salud en el lugar de trabajo. La vigilancia suele exigir la participación de un equipo formado por un higienista industrial, un médico del trabajo, un profesional de la enfermería del trabajo, un agente de seguridad, un toxicólogo y un ingeniero. Dependiendo del medio ambiente de trabajo y del problema que se plantee, pueden utilizarse tres métodos de vigilancia: médica, ambiental y biológica. La vigilancia médica se utiliza para detectar la presencia o ausencia de efectos nocivos para la salud en un individuo como consecuencia de la exposición profesional a contaminantes, mediante exploraciones médicas y pruebas biológicas. La vigilancia ambiental se utiliza para documentar la exposición potencial a contaminantes de un grupo de trabajadores, midiendo la concentración de contaminantes en el aire, en muestras en bloque de materiales, y en las superficies. La vigilancia biológica se utiliza para documentar la absorción de contaminantes por el organismo y correlacionarla con los niveles de contaminantes de origen ambiental, midiendo la concentración de sustancias peligrosas o sus metabolitos en la sangre, la orina o el aire exhalado por los trabajadores.

**Vigilancia médica**

La vigilancia médica es necesaria porque la exposición a sustancias peligrosas puede causar o agravar algunas enfermedades. Exige un programa activo en el que participen profesionales que conozcan las enfermedades profesionales, su diagnóstico y su tratamiento. Los programas de vigilancia médica incluyen medidas para proteger, educar, controlar y, en algunos casos, indemnizar al trabajador. Pueden abarcar programas de selección previos al empleo, exploraciones médicas periódicas, pruebas especializadas para la detección precoz de alteraciones y daños causados por sustancias peligrosas, tratamiento médico y registro de datos. La selección previa al empleo consiste en evaluar el historial profesional y médico del candidato a un puesto de trabajo y los resultados de las exploraciones físicas. Se utilizan cuestionarios para obtener información sobre las enfermedades que se han sufrido en el pasado o las enfermedades crónicas (especialmente asma y enfermedades dérmicas, pulmonares y cardíacas), y sobre las exposiciones en anteriores trabajos. Los programas de selección previa a la contratación tienen implicaciones éticas y jurídicas si se utilizan para determinar la idoneidad de los candidatos para ocupar determinado puesto de trabajo. Sin embargo, son muy importantes cuando se utilizan para (1) mantener un registro de los anteriores trabajos y las exposiciones asociadas, (2) establecer el estado basal de la salud de un trabajador y (3) determinar la existencia de hipersensibilidad. Las exploraciones médicas pueden incluir pruebas audiométricas para detectar la pérdida de audición, pruebas visuales, pruebas de las funciones orgánicas, evaluación de la capacidad física para usar equipos de protección respiratoria y análisis basales de sangre y orina. Las exploraciones médicas periódicas son esenciales para evaluar y detectar tendencias cuando empieza

a manifestarse un deterioro de la salud, y pueden incluir el control biológico de determinados contaminantes y el uso de otros biomarcadores.

### Vigilancia ambiental y biológica

La vigilancia ambiental y biológica comienza con un estudio de higiene industrial del medio ambiente de trabajo para identificar posibles riesgos y fuentes contaminantes y establecer la necesidad de realizar mediciones. En el caso de los agentes químicos, éstas pueden requerir la toma de muestras del aire, de superficies, de productos a granel y de materiales biológicos. En el caso de los agentes físicos, puede incluir mediciones del ruido, la temperatura y la radiación. Cuando está indicado realizar mediciones, el higienista industrial debe desarrollar una estrategia de muestreo que especifique los trabajadores, procesos, equipos y zonas de los que deben tomarse muestras, el número de muestras, la duración y frecuencia del muestreo y el método del mismo. Los estudios de higiene industrial varían en complejidad y enfoque dependiendo del objetivo de la investigación, el tipo y el tamaño del lugar de trabajo, y la naturaleza del problema. No existen fórmulas rígidas para realizar los estudios; sin embargo, una preparación rigurosa antes de iniciar la inspección aumenta su eficacia y eficiencia. Las investigaciones que están motivadas por quejas y enfermedades de los trabajadores tienen la finalidad adicional de descubrir la causa de los problemas de salud. Los estudios de la calidad del aire interior se centran en las fuentes contaminantes tanto interiores como exteriores. Con independencia del riesgo profesional, el método general para estudiar y tomar muestras en el lugar de trabajo es similar; por consiguiente, en este capítulo se utilizarán los agentes químicos como modelo para la metodología.

### Vías de exposición

La sola presencia de contaminantes laborales en el lugar de trabajo no implica necesariamente que exista un potencial significativo de exposición; el agente debe llegar al trabajador. En el caso de las sustancias químicas, la forma líquida o vaporizada del agente debe estar en contacto con el organismo, o ser absorbido por él, para producir un efecto nocivo en la salud. Si el agente está aislado en un recinto cerrado o es capturado por un sistema de ventilación localizada, el potencial de exposición será pequeño, con independencia de la toxicidad propia de la sustancia química.

La vía de exposición puede influir en el tipo de controles realizados y en el riesgo potencial. En el caso de los agentes químicos y biológicos, los trabajadores pueden estar expuestos a ellos por inhalación, contacto de la piel, ingestión e inyección; las vías más comunes de absorción en el medio ambiente de trabajo son el tracto respiratorio y la piel. Para valorar la inhalación, el higienista industrial debe observar la posibilidad de que las sustancias químicas queden suspendidas en el aire en forma de gases, vapores, polvo, humo o niebla.

La absorción de sustancias químicas a través de la piel es importante, sobre todo cuando existe un contacto directo por salpicadura, aspersión, humedecimiento o inmersión con hidrocarburos liposolubles y otros disolventes orgánicos. La inmersión incluye el contacto corporal con prendas contaminadas, el contacto de las manos con guantes contaminados y el contacto de manos y brazos con líquidos a granel. En el caso de algunas sustancias, como las aminas y los fenoles, la absorción a través de la piel puede ser tan rápida como la absorción de las sustancias inhaladas a través de los pulmones. Para algunos contaminantes, como los pesticidas y los tintes derivados de la bencidina, la absorción a través de la piel es la principal vía de entrada al organismo, mientras que la inhalación es una vía secundaria. Estas sustancias químicas pueden penetrar fácilmente en el organismo a través de la piel, acumularse allí y causar daños

Figura 30.4 • Contaminantes laborales.



sistémicos. Cuando las reacciones alérgicas o los sucesivos lavados resecan y agrietan la piel, aumenta radicalmente el número y el tipo de sustancias químicas que pueden ser absorbidas por el organismo. La ingestión, una vía poco común de absorción de gases y vapores, puede ser importante para partículas como el plomo. La ingestión puede producirse al comer alimentos contaminados, al comer o fumar con las manos contaminadas y al toser y después tragar partículas inhaladas.

La inyección de materiales directamente en la corriente sanguínea se produce, por ejemplo, cuando los trabajadores sanitarios de los hospitales se pinchan sin querer la piel con agujas hipodérmicas, o cuando fuentes de alta presión liberan a

Figura 30.5 • Observaciones y preguntas que deben hacerse en un estudio sobre el terreno.

- ¿Se utiliza equipo de protección personal (guantes, protección respiratoria, protectores auditivos y gafas) y es éste adecuado para el riesgo?
- ¿Han recibido los trabajadores la debida formación sobre el uso de los equipos de protección personal? ¿Comprenden los trabajadores la finalidad de estos equipos?
- ¿Cuál es la ubicación de los trabajadores con relación a las fuentes potenciales de exposición, incluidos agentes, equipo y procesos?
- ¿Se desplazan de sitio los trabajadores a lo largo del día o permanecen en un único lugar mientras realizan sus tareas?
- ¿Cuál es el uso, la ubicación y el mantenimiento de los sistemas de ventilación general y localizada?
- ¿Cuáles son las cantidades diarias medias de materiales utilizadas en los procesos?
- ¿Cuáles son las normas de limpieza? ¿Se guardan los trapos con restos de disolvente en recipientes abiertos en los que la evaporación puede crear exposiciones? ¿Existen signos visibles de polvo? ¿Cómo se hace frente a los derrames accidentales y qué tratamiento reciben los residuos?
- ¿Regresan los trabajadores a su casa con prendas contaminadas?
- ¿Cómo se almacenan las sustancias químicas?
- ¿Se evacúan los residuos químicos de una manera apropiada?
- ¿Existe un ruido excesivo? ¿Es necesario hablar en voz muy alta o gritar para hacerse entender?
- ¿Existe la posibilidad de que se liberen a la atmósfera sustancias químicas peligrosas? ¿Generan los procesos vapores por evaporación abierta, calentamiento, desecación y nebulización, o generan partículas suspendidas en el aire por explosión, trituración, molienda, lijado, soldadura, barrido o limpieza chorro con arena?
- ¿Existe la posibilidad de absorción por la piel? ¿Está la piel del trabajador en contacto directo con los disolventes? ¿Puede estar contaminado el interior de los guantes protectores? ¿Existe contaminación visual de las superficies con materiales que puedan pasar a las manos y brazos de los empleados?
- ¿Comen, beben o fuman los trabajadores en zonas contaminadas?
- ¿Se quejan los trabajadores de efectos adversos en la salud (cefaleas, fatiga o irritación de los ojos, el tracto respiratorio o la piel)?



gran velocidad proyectiles que contactan directamente con la piel. Las pistolas de pintura con bomba y los sistemas hidráulicos tienen una presión lo suficientemente elevada para perforar la piel e introducir sustancias directamente en el organismo.

### Inspección sobre el terreno

La finalidad del estudio inicial, llamado inspección sobre el terreno, es recoger información de manera sistemática para juzgar si existe una situación potencialmente peligrosa y si es necesario realizar mediciones. El higienista industrial comienza la inspección sobre el terreno con una reunión inicial a la que pueden asistir representantes de la dirección, trabajadores, supervisores, enfermeros de empresa y delegados sindicales. Los higienistas industriales pueden influir mucho en el éxito del estudio y en cualquier medición posterior, creando un equipo de personas que se comuniquen libre y sinceramente entre sí y comprendan los objetivos y el ámbito de la inspección. Los trabajadores deben participar y estar informados de la inspección desde el principio para que la cooperación, y no el miedo, presida la investigación.

En la reunión, se solicitan diagramas de los procesos, planos de la fábrica, informes sobre inspecciones ambientales realizadas en el pasado, programas de producción, calendarios de mantenimiento de los equipos, documentación sobre los programas de protección personal y estadísticas sobre el número de trabajadores, los turnos y las quejas relacionadas con la salud. Todos los materiales peligrosos utilizados y producidos en las operaciones se identifican y cuantifican. Se elabora un inventario químico de productos, subproductos, productos intermedios e impurezas y se consultan todas las fichas toxicológicas de los materiales. Se anotan los calendarios de mantenimiento de los equipos, su edad y su estado, porque el uso de equipos antiguos puede incrementar las exposiciones debido a la falta de controles.

Después de la reunión, el higienista industrial realiza una inspección visual del lugar de trabajo, observando las operaciones y los métodos de trabajo, con el objetivo de identificar posibles contaminantes laborales, valorar el potencial de exposición, identificar la vía de exposición y estimar su duración y su frecuencia. En la Figura 30.4. se ofrecen ejemplos de contaminantes laborales. Esta inspección sobre el terreno sirve al higienista industrial para observar el lugar de trabajo y responder algunas preguntas. En la Figura 30.5 se ofrecen ejemplos de observaciones y preguntas.

Además de las preguntas que se indican en la Figura 30.5, deben formularse otras que pongan de manifiesto lo que no es inmediatamente obvio, por ejemplo:

1. Tareas no rutinarias y calendario de las actividades de mantenimiento y limpieza.
2. Cambios recientes en los procesos y sustituciones químicas.
3. Cambios físicos recientes en el medio ambiente de trabajo.
4. Cambios en las funciones de los puestos de trabajo.
5. Renovaciones y reparaciones recientes.

Las tareas no rutinarias pueden producir importantes exposiciones pico a sustancias químicas, que son difíciles de predecir y medir durante una jornada laboral normal. Los cambios en los procesos y las sustituciones químicas pueden alterar la emisión de sustancias al aire e influir en la exposición consiguiente. Los cambios en la distribución física de una zona de trabajo pueden alterar la eficacia de un sistema de ventilación. Los cambios en las funciones de los puestos de trabajo pueden determinar que algunas tareas sean realizadas por trabajadores sin experiencia en condiciones de mayor exposición. Las renovaciones y reparaciones pueden introducir en el medio ambiente de trabajo nuevos materiales y sustancias químicas que liberen compuestos químicos volátiles o irritantes.

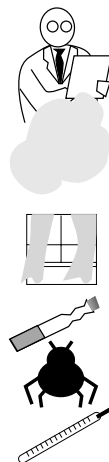
### Estudios de la calidad del aire en el interior

Los estudios de la calidad del aire en el interior se diferencian de los estudios tradicionales de higiene industrial porque suelen realizarse en lugares de trabajo no industriales que pueden estar expuestos a cantidades traza de sustancias químicas, ninguna de las cuales es aparentemente capaz, por sí sola, de causar enfermedades (Ness 1991). El objetivo de los estudios de la calidad del aire del interior es similar al de los estudios de higiene industrial en lo que se refiere a la identificación de las fuentes contaminantes y la recomendación de realizar mediciones. Sin embargo, los estudios de la calidad del aire en el interior están siempre motivados por quejas sobre la salud de los trabajadores. En muchos casos, los trabajadores presentan una serie de síntomas, como cefaleas, irritación de la garganta, letargo, tos, picores, náuseas o reacciones inespecíficas de hipersensibilidad, que desaparecen cuando regresan a su casa. Si los síntomas no desaparecen cuando los trabajadores abandonan el lugar de trabajo, deberán considerarse también exposiciones no profesionales, como las que puedan derivarse de las aficiones de tiempo libre, otros trabajos, contaminación atmosférica urbana, tabaquismo pasivo y exposiciones en el interior del hogar. Los estudios sobre la calidad del aire en el interior suelen utilizar cuestionarios para registrar los síntomas y quejas de los trabajadores y relacionarlos con el lugar en el que trabajan o la función que desempeñan. Las áreas que presentan la mayor incidencia vuelven a someterse a una nueva inspección. Las fuentes de contaminantes atmosféricos en interiores que han sido documentadas en estudios de la calidad del aire son:

- ventilación inadecuada (52 %);
- contaminación originada en el interior del edificio (17 %);
- contaminación originada en el exterior del edificio (11 %);
- contaminación microbiana (5 %);
- contaminación originada por los materiales de construcción (3 %);
- causas desconocidas (12 %).

En las investigaciones de la calidad del aire interior, la inspección sobre el terreno consiste esencialmente en una inspección del edificio y del medio ambiente para determinar las posibles fuentes contaminantes tanto dentro como fuera del edificio. Las fuentes contaminantes en el interior de un edificio son:

Figura 30.6 • Observaciones y preguntas para un estudio sobre el terreno de la calidad del aire del interior.



- ¿Se han realizado renovaciones en el edificio, como la instalación de moqueta, aislante acústico, empapelado, aislamiento de espuma o paneles que pueden liberar sustancias químicas?
- ¿Existen fuentes externas de contaminación, como fábricas o muelles de carga en donde haya camiones que permanezcan con el motor en marcha?
- ¿Tiene el edificio aparcamiento propio o anexo?
- ¿Se trata el edificio rutinariamente con pesticidas?
- ¿Cuál es la ubicación de las entradas y salidas del aire del sistema de ventilación en el exterior del edificio? ¿Cómo circula el aire dentro del edificio?
- ¿Se fuma dentro del edificio?
- ¿Existen condiciones en el edificio que favorezcan el crecimiento de microorganismos, como charcos estancados de agua en el sótano, depósitos del aire acondicionado y conductos de ventilación?
- ¿Cuáles son las medidas de la temperatura y la humedad relativa en diferentes zonas del edificio?

1. Materiales de construcción del edificio, como aislantes, tableros de conglomerado, materiales adhesivos y pinturas.
2. Ocupantes humanos, que pueden liberar sustancias químicas de sus actividades metabólicas.
3. Actividades humanas como el consumo de tabaco.
4. Equipos como las fotocopiadoras.
5. Sistemas de ventilación que pueden estar contaminados por microorganismos.

Las observaciones y preguntas que pueden hacerse durante el estudio se enumeran en la Figura 30.6.

## Estrategias de muestreo y medición

### *Límites de exposición profesional*

Una vez finalizada la inspección sobre el terreno, el higienista industrial debe decidir si es o no necesario realizar un muestreo; la toma de muestras debe realizarse sólo si su finalidad está clara. El higienista industrial debe preguntarse: "¿Para qué servirán los resultados del muestreo y a qué preguntas responderán?". Tomar muestras y obtener cifras es relativamente fácil; mucho más difícil es interpretarlas.

Los datos obtenidos del muestreo atmosférico y biológico suelen compararse con los límites de exposición profesional (OEL) recomendados u obligatorios. En muchos países se han establecido límites de exposición profesional para la exposición biológica y a la inhalación de agentes químicos y físicos. Hasta la fecha, de las más de 60.000 sustancias químicas de uso comercial, unas 600 han sido evaluadas por distintas organizaciones y países. Los principios que justifican los límites son determinados por las organizaciones que los establecen. Los límites más utilizados, llamados valores límite umbral (TLV), son los que establece en Estados Unidos la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH). La mayoría de los OEL utilizados por la Administración para la Salud y Seguridad en el Trabajo (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) en Estados Unidos se basan en los TLV. Sin embargo, el Instituto Nacional para Salud y Seguridad en el Trabajo (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) del Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos ha propuesto sus propios límites, llamados límites de exposición recomendados (REL).

En el caso de las exposiciones atmosféricas, existen tres tipos de TLV: la exposición media ponderada en el tiempo durante un periodo de ocho horas, TLV-TWA, para proteger contra efectos crónicos en la salud; un límite de exposición media a corto plazo durante quince minutos, TLV-STEL, para proteger contra efectos agudos en la salud, y un valor máximo instantáneo, TLV-C, para proteger contra sustancias químicas que producen asfixia o irritación inmediata. Las directrices sobre los niveles de exposición biológica se denominan índices de exposición biológica (BEI). Estas directrices representan la concentración de sustancias químicas en el organismo que corresponderían a la exposición a la inhalación de un trabajador sano dada una concentración atmosférica concreta. Además de Estados Unidos, 50 países o grupos han establecido OEL, muchos de los cuales coinciden con los TLV. En el Reino Unido, los límites se denominan Límites de Exposición Profesional de la Dirección de Salud y Seguridad (OES) y, en Alemania, los OEL se denominan Concentraciones Máximas en el Lugar de Trabajo (MAK).

Se han establecido OEL para las exposiciones atmosféricas a gases, vapores y partículas, pero no se aplican todavía a las exposiciones atmosféricas a agentes biológicos. Por consiguiente, la mayoría de las investigaciones de la exposición a bioaerosoles

comparan las concentraciones en el interior y en el exterior. Si las características y la concentración de organismos es diferente en el interior y en el exterior, puede existir un problema de exposición. No existen OEL para el muestreo de la piel o de superficies, y cada caso tiene que evaluarse por separado. Por lo que respecta al muestreo de superficies, las concentraciones suelen compararse con las concentraciones de fondo aceptables medidas en otros estudios o determinadas previamente en ese estudio. En el muestreo de la piel, las concentraciones aceptables se calculan en función de la toxicidad, la velocidad de absorción, la cantidad absorbida y la dosis total. Además, el control biológico de un trabajador puede utilizarse para investigar la absorción a través de la piel.

### *Estrategia de muestreo*

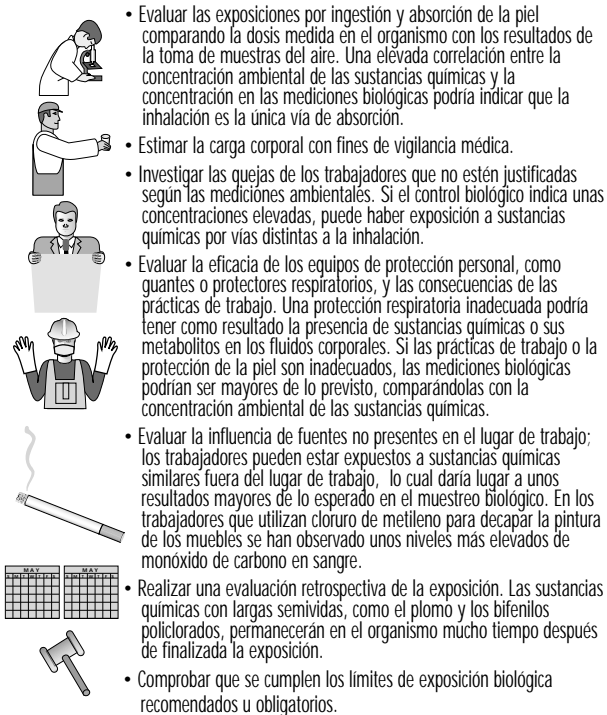
Una estrategia de muestreo ambiental y biológico es un procedimiento para obtener mediciones de la exposición con un objetivo concreto. Una estrategia cuidadosamente diseñada y eficaz puede justificarse desde el punto de vista científico, aprovecha al máximo el número de muestras obtenidas, es eficaz con relación al coste y clasifica las necesidades por orden de prioridad. El objetivo de la estrategia de muestreo orienta las decisiones referentes a de qué deben tomarse muestras (selección de agentes químicos), dónde deben tomarse las muestras (personal, área o fuente), de quién deben tomarse muestras (de qué trabajador o grupo de trabajadores), cuánto debe durar el muestreo (en tiempo real o integrado), con qué frecuencia deben tomarse las muestras (cuántos días), cuántas muestras deben tomarse y cómo debe realizarse el muestreo (método analítico). Tradicionalmente, los muestreos realizados con fines reglamentarios consisten en breves campañas (uno o dos días) que se centran en las exposiciones en el peor de los casos. Aunque esta estrategia requiere un gasto mínimo de recursos y tiempo, en general consigue poca información y tiene escasa aplicación para evaluar las exposiciones profesionales a largo plazo. Para evaluar las exposiciones crónicas de una manera útil para los médicos del trabajo y los estudios epidemiológicos, las estrategias de muestreo deben prever la repetición de la toma de muestras a lo largo del tiempo en un gran número de trabajadores.

### *Finalidad*

El objetivo de las estrategias de muestreo ambiental y biológico es evaluar la exposición de trabajadores concretos o evaluar fuentes contaminantes. El control de los trabajadores se realiza para:

- evaluar las exposiciones individuales a tóxicos crónicos y agudos;
- responder a las quejas de los trabajadores relacionadas con la salud y los olores;
- definir la exposición basal para un programa de control a largo plazo;
- determinar si las exposiciones cumplen la normativa pública;
- evaluar la eficacia de los controles técnicos o de los procesos;
- evaluar las exposiciones agudas para respuestas de emergencia;
- evaluar las exposiciones en lugares con residuos peligrosos;
- evaluar la influencia de las prácticas de trabajo en la exposición;
- evaluar la exposición correspondiente a distintas tareas;
- investigar enfermedades crónicas como la intoxicación por plomo o mercurio;
- investigar la relación entre exposición en el trabajo y enfermedad profesional;
- realizar un estudio epidemiológico.

Figura 30.7 • Objetivos del control biológico.



El control de la fuente y de la atmósfera ambiente se realiza para:

- establecer la necesidad de aplicar controles técnicos, como sistemas de ventilación localizada y cerramientos;
- evaluar las consecuencias de las modificaciones de equipos o procesos;
- evaluar la eficacia de los controles técnicos o de los procesos;
- evaluar las emisiones originadas por equipos o procesos;
- evaluar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios una vez implantadas las acciones correctoras, como la retirada de amianto y plomo;
- responder a las quejas sobre la atmósfera interior, enfermedades de origen no profesional y olores;
- evaluar las emisiones en lugares con residuos peligrosos;
- investigar una respuesta de emergencia;
- realizar un estudio epidemiológico.

Cuando se realiza el control de los trabajadores, la toma de muestras del aire proporciona medidas estimadas de las dosis resultantes de la exposición por inhalación. El control biológico puede servir para conocer la dosis real de una sustancia química que penetra en el organismo a través de todas las vías de absorción: inhalación, ingestión, inyección y contacto con la piel. Así, el control biológico puede reflejar con mayor exactitud que el control atmosférico la carga corporal total y la dosis de una persona. Cuando se conoce la relación entre la exposición atmosférica y la dosis interna, el control biológico puede utilizarse para evaluar las exposiciones crónicas pasadas y presentes.

Los objetivos del control biológico se enumeran en la Figura 30.7.

El control biológico tiene sus limitaciones y debe realizarse únicamente si logra objetivos que no pueden alcanzarse sólo con el control atmosférico (Fiserova-Bergova 1987). Se trata de un

procedimiento invasivo, que requiere la toma de muestras directamente de los trabajadores. Las muestras de sangre suelen constituir el medio biológico más útil de control; sin embargo, sólo se debe extraer sangre cuando se descartan otras pruebas no invasivas, como los análisis de orina o del aire exhalado. En el caso de la mayoría de las sustancias químicas industriales, no existen datos referentes a la trayectoria de las sustancias químicas absorbidas por el organismo, o los que hay son incompletos; por consiguiente, sólo se dispone de un número limitado de métodos analíticos de medición y muchos de ellos no son sensibles ni específicos.

Los resultados de los controles biológicos pueden variar considerablemente entre personas expuestas a las mismas concentraciones atmosféricas de sustancias químicas; la edad, el estado de salud, el peso, el estado nutricional, el consumo de fármacos, el tabaquismo, el consumo de alcohol, la medicación y el embarazo pueden influir en la absorción, distribución, metabolismo y eliminación de las sustancias químicas.

### ¿De qué deben tomarse muestras?

La mayoría de los lugares de trabajo están expuestos a múltiples contaminantes. Los agentes químicos se evalúan tanto individualmente como en agresiones múltiples y simultáneas a los trabajadores. Los agentes químicos pueden actuar independientemente dentro del organismo o interactuar de una manera que potencie su efecto tóxico. La cuestión de qué debe medirse y cómo deben interpretarse los resultados depende del mecanismo de acción biológico de los agentes cuando se encuentran en el interior del organismo. Los agentes pueden evaluarse por separado si actúan de manera independiente en distintos sistemas orgánicos, como un irritante ocular o una neurotoxina. Si actúan sobre el mismo sistema orgánico, como sería el caso de dos irritantes respiratorios, su efecto combinado es importante. Si el efecto tóxico de la mezcla es igual a la suma de los efectos de cada uno de los componentes por separado, se habla de un efecto aditivo. Si el efecto tóxico de la mezcla es mayor que la suma de los efectos de cada agente por separado, el efecto combinado se califica de sinérgico. La exposición al humo del tabaco y la inhalación de fibras de amianto origina un riesgo de cáncer de pulmón mucho mayor que un simple efecto aditivo.

Tomar muestras de todos los agentes químicos presentes en un lugar de trabajo sería costoso y no siempre útil. El higienista industrial debe asignar prioridades en la lista de agentes potenciales, en función del riesgo, para determinar a qué agentes se debe prestar mayor atención.

Los factores que se tienen en cuenta para clasificar las sustancias químicas son:

- efecto independiente, aditivo o sinérgico de los agentes
- toxicidad inherente del agente químico
- cantidades utilizadas y generadas
- número de personas potencialmente expuestas
- duración y concentración previstas de la exposición
- confianza en los controles técnicos
- cambios previstos en los procesos o controles
- límites y directrices de exposición profesional.

### Dónde deben tomarse las muestras

Para obtener la mejor estimación de la exposición de los empleados, se toman muestras del aire en la zona de respiración del trabajador (dentro de un radio de 30 cm alrededor de la cabeza); son lo que se denominan muestras personales. Para obtener muestras de la zona de respiración, el instrumento de muestreo se coloca directamente en el trabajador mientras dura la toma de muestras. Si las muestras del aire se toman cerca del

Figura 30.8 • Factores que se tienen en cuenta para crear GEH basados en la zonificación.



trabajador, pero fuera de la zona de respiración, se denominan muestras ambientales. En las muestras ambientales se tiende a subestimar las exposiciones personales, y además no proporcionan una buena estimación de la exposición a la inhalación. Sin embargo, estas muestras son útiles para evaluar las fuentes y los niveles ambientales de contaminantes. Las muestras ambientales se toman recorriendo el lugar de trabajo con un instrumento portátil, o con estaciones fijas de muestreo. El muestreo ambiental se realiza rutinariamente en lugares de los que se quiere eliminar el amianto, para muestreos de seguridad e investigaciones del aire interior.

### ¿De quién deben tomarse muestras?

Para evaluar la exposición profesional, lo ideal es que se tomen muestras de cada trabajador durante muchos días a lo largo de un período de semanas o meses. Sin embargo, a menos que el lugar de trabajo sea pequeño (<10 empleados), normalmente no se pueden tomar muestras de todos los trabajadores. Para reducir al mínimo la carga del muestreo en términos de coste y equipo y aumentar la eficacia del programa de muestreo, se toman muestras de un subconjunto de trabajadores en el lugar de trabajo, y se extrapolan los resultados al total de la plantilla.

Para seleccionar trabajadores que sean representativos de toda la plantilla, un planteamiento consiste en clasificar a los trabajadores en grupos con exposiciones teóricas similares, llamados grupos de exposición homogénea (GEH) (Corn 1985). Una vez formados los GEH, se selecciona al azar un subconjunto de trabajadores de cada grupo para el muestreo. Los métodos para determinar el tamaño adecuado de las muestras presuponen una distribución logarítmica normal de las exposiciones, una exposición media estimada y una desviación típica geométrica de 2,2 a 2,5. Los datos obtenidos de muestreos previos pueden permitir el uso de una desviación típica geométrica menor. Para clasificar a los trabajadores en distintos GEH, la mayoría de los higienistas industriales los observan en su puesto de trabajo y realizan una predicción cualitativa de su exposición.

Se aplican distintos criterios para formar los GEH; en general, los trabajadores pueden clasificarse según la similitud de su puesto de trabajo o área de trabajo. Cuando se utiliza la similitud del puesto de trabajo y del área de trabajo, el método de clasificación se denomina zonificación (véase Figura 30.8). Cuando están en suspensión en la atmósfera, los agentes químicos y biológicos pueden tener unas pautas de concentración espacial y temporal complejas e imprevisibles en el medio

ambiente de trabajo. Por consiguiente, la proximidad de la fuente al trabajador no siempre es el mejor indicador de similitud de la exposición. Las mediciones de la exposición realizadas en trabajadores con exposiciones teóricamente similares pueden revelar una variación mayor de la prevista. En estos casos, los grupos de exposición deben reconstruirse en conjuntos más pequeños de trabajadores, y la toma de muestras debe proseguir hasta que se compruebe que los trabajadores asignados a cada grupo tienen realmente exposiciones similares (Rappaport 1995).

La exposición puede estimarse para todos los trabajadores, con independencia de su puesto de trabajo o riesgo, o puede estimarse sólo para los trabajadores que, en principio, están más expuestos; esto se denomina muestreo del peor caso. La selección de los trabajadores para el muestreo del peor caso puede basarse en criterios de producción, proximidad a la fuente, datos de muestreos anteriores, inventario y toxicidad química. El método del peor caso se utiliza con fines reglamentarios y no ofrece una medida de la exposición media a largo plazo ni de la variabilidad de un día a otro. El muestreo en función de las tareas requiere la selección de trabajadores con tareas similares que no se realizan con carácter diario.

Existen muchos factores que influyen en la exposición y que pueden repercutir en el éxito de la clasificación de los GEH; entre ellos figuran los siguientes:

1. Los diferentes trabajadores casi nunca realizan el mismo trabajo, aunque la descripción de su puesto de trabajo sea igual, y rara vez sufren las mismas exposiciones.
2. Las formas de trabajar de los diferentes empleados pueden hacer que la exposición varíe significativamente.
3. Los trabajadores que se desplazan por toda el área de trabajo pueden verse expuestos imprevisiblemente a distintas fuentes contaminantes durante una jornada laboral.
4. Las corrientes de aire en el lugar de trabajo pueden aumentar de manera imprevisible las exposiciones de los trabajadores situados a una distancia considerable de una fuente.
5. Las exposiciones pueden estar condicionadas, no por las tareas del puesto de trabajo, sino por el medio ambiente de trabajo.

### Duración del muestreo

La concentración de agentes químicos en muestras ambientales se puede medir directamente sobre el terreno, obteniendo resultados inmediatos (en tiempo real), o bien se pueden recoger muestras en distintos medios de muestreo o en bolsas de muestreo, a distintos tiempos, que son analizadas posteriormente en un laboratorio (muestreo integrado) (Lynch 1995). La ventaja del muestreo en tiempo real es que los resultados se obtienen rápidamente en el propio lugar de trabajo, y se pueden realizar mediciones de las exposiciones agudas a corto plazo. Sin embargo, los métodos en tiempo real son limitados porque no se dispone de ellos para todos los contaminantes de interés, ni tienen siempre la suficiente sensibilidad o exactitud analíticas para cuantificar los contaminantes estudiados. El muestreo en tiempo real puede no ser aplicable cuando el higienista industrial está interesado en exposiciones crónicas y necesita mediciones medias ponderadas en el tiempo para comparar con los OEL.

El muestreo en tiempo real se utiliza para realizar evaluaciones de emergencia, ya que permite hacer estimaciones brutas de la concentración, detectar fugas, controlar la atmósfera ambiente y la fuente, evaluar los controles técnicos, controlar las exposiciones a corto plazo que duran menos de 15 minutos, controlar exposiciones episódicas, y controlar sustancias químicas altamente tóxicas (monóxido de carbono), mezclas explosivas y procesos. Los métodos de muestreo en tiempo real

pueden detectar la evolución de las concentraciones con el tiempo y facilitar de inmediato información cualitativa y cuantitativa. El muestreo ambiental integrado suele realizarse para controles personales, muestreo de zona o comparación de las concentraciones con OEL medios ponderados en el tiempo. Las ventajas del muestreo integrado son la disponibilidad de métodos para una gran variedad de contaminantes; su utilidad para identificar sustancias desconocidas; su elevada exactitud y especificidad y unos límites de detección normalmente muy bajos. Las muestras integradas que se analizan en un laboratorio deben contener suficiente contaminante para que se cumplan los requisitos analíticos mínimos de detección. Por consiguiente, las muestras se toman a lo largo de un período establecido previamente.

Además de los requisitos analíticos que ha de cumplir un método de muestreo, la duración del muestreo debe corresponderse con sus objetivos. La duración del muestreo de una fuente depende de la duración del proceso o el ciclo, o de los momentos en que se prevén concentraciones pico. Para el muestreo de los picos, las muestras deben tomarse a intervalos regulares durante todo el día, a fin de reducir al mínimo la desviación e identificar picos imprevistos. El período de muestreo debe ser lo suficientemente corto para que se identifiquen los picos y quede reflejado, al mismo tiempo, el período real de exposición.

La duración del muestreo personal depende del límite de exposición profesional, la duración de la tarea o el efecto biológico previsto. Los métodos de muestreo en tiempo real se utilizan para valorar las exposiciones agudas a sustancias químicas irritantes y asfixiantes, sensibilizantes y agentes alérgicos. El cloro, el monóxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno son algunas sustancias químicas que pueden ejercer sus efectos con rapidez y en concentraciones relativamente bajas.

Cuando se estudian agentes que producen enfermedades crónicas, como el plomo y el mercurio, las muestras suelen tomarse durante un turno completo (siete horas o más por muestra) utilizando métodos de muestreo integrado. Para evaluar las exposiciones durante un turno completo, el higienista industrial toma una única muestra o una serie de muestras consecutivas que abarcan el turno completo. La duración del muestreo para exposiciones que tienen lugar durante menos tiempo del que dura un turno completo suele asociarse a determinadas tareas o procesos. La construcción, el mantenimiento de edificios y el mantenimiento de las carreteras son algunos trabajos en los que la exposición está vinculada a las tareas.

### ***¿Cuántas muestras deben tomarse y con qué frecuencia?***

La concentración de contaminantes puede variar de un minuto a otro, de un día a otro o de una estación a otra, y puede existir variabilidad entre distintas personas y en una misma persona. La variabilidad de la exposición influye tanto en el número de muestras como en la exactitud de los resultados. Las variaciones de la exposición pueden deberse a diferencias en cuanto a las prácticas de trabajo, cambios en la emisión de contaminantes, al volumen de sustancias químicas utilizadas, a los cupos de producción, la ventilación, los cambios de temperatura, la movilidad del trabajador y la asignación de las tareas. La mayoría de las campañas de muestreo se realizan durante un par de días al año; por consiguiente, las medidas obtenidas no son representativas de la exposición. El período de muestreo es muy corto comparado con el período en el que no se toman muestras; el higienista industrial tiene que extrapolar al segundo los resultados obtenidos durante el primero. Para controlar la exposición a largo plazo, deben tomarse muestras repetidas a lo largo de varias semanas o meses de cada trabajador seleccionado de un GEH y deben caracterizarse las exposiciones correspondientes a todos los turnos.

Aunque es posible que durante el turno de día se desarrolle una mayor actividad, la supervisión durante el turno de noche puede ser menor y, en consecuencia, se observarían más negligencias en las prácticas de trabajo.

## **Técnicas de medición**

### ***Muestreo activo y pasivo***

Los contaminantes se recogen en medios de muestreo, ya sea extrayendo activamente una muestra del aire a través del medio, o permitiendo pasivamente que el aire alcance el medio. El muestreo activo se realiza con una bomba alimentada por pilas, y el muestreo pasivo se realiza haciendo que los contaminantes alcancen el medio de muestreo por difusión o gravedad. Los gases, los vapores, las partículas en suspensión y los bioaerosoles se recogen mediante métodos activos de muestreo; los gases y los vapores pueden recogerse también mediante muestreo pasivo por difusión.

En el caso de los gases, los vapores y la mayoría de las partículas en suspensión, una vez tomada la muestra, se mide la masa del contaminante y se calcula la concentración dividiendo la masa por el volumen de aire muestreado. En el caso de gases y vapores, la concentración se expresa en partes por millón (ppm) o  $\text{mg}/\text{m}^3$ , y en el caso de las partículas en suspensión, se expresa en  $\text{mg}/\text{m}^3$  (Dinardi 1995).

En el muestreo integrado, las bombas utilizadas para tomar muestras del aire son un elemento decisivo del sistema de muestreo, ya que para calcular la concentración es preciso conocer el volumen de aire muestreado. Las bombas se seleccionan en función de la velocidad de flujo deseada, la facilidad de su mantenimiento y calibrado, su tamaño, su coste y su idoneidad para entornos peligrosos. El principal criterio de selección es la velocidad del flujo: las bombas de flujo lento (0,5 a 500 ml/min) se utilizan para tomar muestras de gases y vapores; las bombas de flujo elevado (500 a 4.500 ml/min) se utilizan para tomar muestras de partículas en suspensión, bioaerosoles, gases y vapores. Para que los volúmenes de las muestras sean exactos, las bombas deben ser calibradas con exactitud. El calibrado se realiza utilizando patrones primarios, como medidores electrónicos o manuales de pompas de jabón, que miden directamente el volumen, o métodos secundarios, como los medidores en húmedo, los gasómetros en seco y los rotámetros de precisión que se calibran con arreglo a métodos primarios.

### ***Gases y vapores: medios de muestreo***

Los gases y los vapores se recogen utilizando tubos adsorbentes sólidos porosos, borboteador (impingers), detectores pasivos y bolsas. Los tubos adsorbentes son tubos de vidrio huecos que se rellenan con un sólido granular que permite adsorber sustancias químicas inalteradas en su superficie. Los adsorbentes sólidos son específicos para determinados grupos de compuestos; los adsorbentes utilizados habitualmente son el carbón vegetal, el gel de sílice y el Tenax. El adsorbente de carbón vegetal, una forma amorfa del carbono, carece de polaridad eléctrica y adsorbe preferiblemente gases y vapores orgánicos. El gel de sílice, una forma amorfa de sílice, se utiliza para recoger compuestos orgánicos polares, aminas y algunos compuestos inorgánicos. Debido a su afinidad por los compuestos polares, adsorbe vapor de agua; por consiguiente, cuando la humedad es elevada, el agua puede desplazar las sustancias químicas menos polares del gel de sílice. El Tenax, un polímero poroso, se utiliza para obtener muestras de compuestos orgánicos volátiles apolares que están presentes en concentraciones muy bajas.

La capacidad de realizar tomas precisas de los contaminantes atmosféricos y evitar su pérdida depende de la frecuencia del muestreo, el volumen de las muestras y la volatilidad y concentración de los contaminantes atmosféricos. La eficacia de recogida de los adsorbentes sólidos puede resultar perjudicada por el aumento de la temperatura, la humedad, la velocidad del flujo, la concentración, el tamaño de las partículas del adsorbente y la diversidad de sustancias químicas. Al reducirse la eficacia de la recogida, se pierden sustancias químicas durante el muestreo y se subestiman las concentraciones. Para detectar la pérdida o la descomposición de sustancias químicas, los tubos con adsorbentes sólidos tienen dos secciones de material granular separadas por un tapón de espuma. La parte delantera se utiliza para recoger las muestras y la parte posterior se utiliza para determinar la descomposición. Se considera que se ha producido descomposición cuando al menos el 20-25 % del contaminante aparece en la sección posterior del tubo. El análisis de contaminantes en los adsorbentes sólidos requiere la extracción del contaminante del medio utilizando un disolvente. Para cada lote de tubos de adsorbente y sustancias químicas recogidas, el laboratorio debe determinar la eficacia de la desorción; es decir, la eficacia de la eliminación de sustancias químicas del adsorbente por acción del disolvente. En el caso del carbón vegetal y el gel de sílice, el disolvente más utilizado es el disulfuro de carbono. En el caso del Tenax, las sustancias químicas se extraen mediante desorción térmica directamente en un cromatógrafo de fase gaseosa.

Los borboteadores (impingers) suelen ser frascos de vidrio con un tubo de entrada que permite introducir aire en el frasco atravesando una solución que recoge los gases y vapores por absorción, ya sea disolviéndose sin cambios o sufriendo una reacción química. Los borboteadores se utilizan cada vez menos para controlar los lugares de trabajo, especialmente para la toma de muestras del personal, porque pueden romperse y el medio líquido puede derramarse sobre el empleado. Existen distintos tipos de borboteadores, como las botellas lava-gases, los frascos de absorción en espiral, las columnas de cuentas de vidrio, los midjet-impingers y los borboteadores de placa de vidrio sinterizado. Todos los borboteadores pueden utilizarse para recoger muestras de zona; el impactor más utilizado, el midjet-impinger, puede utilizarse también para tomar muestras personales.

Los detectores pasivos o por difusión son pequeños, no contienen piezas móviles y sirven para obtener muestras tanto de contaminantes orgánicos como inorgánicos. La mayoría de los detectores de compuestos orgánicos utilizan carbón vegetal activado como medio para recoger la muestra. En teoría, cualquier compuesto que pueda ser muestreado utilizando un tubo con adsorbente de carbón vegetal y una bomba puede estudiarse también utilizando un detector pasivo. Estos detectores tienen una geometría diseñada a la medida para conseguir una velocidad de muestreo eficaz.

El muestreo se inicia al retirar la tapa del detector y finaliza cuando dicha tapa vuelve a colocarse en su sitio. La mayoría de los detectores por difusión son lo bastante precisos para determinar las exposiciones medias ponderadas en el tiempo durante ocho horas, pero no son adecuados para exposiciones de corta duración.

Las bolsas de muestreo pueden utilizarse para recoger muestras integradas de gases y vapores. Sus propiedades de permeabilidad y adsorción permiten conservar las muestras durante un día con una pérdida mínima. Las bolsas son de Teflon (politetrafluoroetileno) y Tedlar (fluoruro de polivinilo).

### **Medio de muestreo: materias particuladas**

El muestreo del lugar de trabajo para detectar materias particuladas, o aerosoles, está experimentado algunos cambios en la

actualidad; se tiende a sustituir los métodos tradicionales de muestreo por métodos de muestro selectivo granulométrico. En primer lugar, se describirán los métodos de muestreo tradicionales y, a continuación, los métodos granulométricos.

Los medios utilizados con mayor frecuencia para recoger aerosoles son los filtros de fibra o membrana. La eliminación de aerosoles de la corriente de aire se produce por colisión y adherencia de las partículas a la superficie del filtro. La elección del material del filtro depende de las propiedades físicas y químicas de los aerosoles de los que se desean obtener muestras, el tipo de muestreador y el tipo de análisis. Al seleccionar los filtros, debe considerarse la eficiencia de recogida, la caída de presión, la higroscopicidad, la contaminación de fondo, la resistencia y el tamaño de los poros, que puede variar de 0,01 a 10  $\mu\text{m}$ . Los filtros de membrana se fabrican con distintos tamaños de poro y normalmente son de éster de celulosa, cloruro de polivinilo o politetrafluoroetileno. Las partículas se recogen en la superficie del filtro; por consiguiente, los filtros de membrana suelen utilizarse cuando se van a examinar las muestras con microscopio. Los filtros mixtos de éster de celulosa pueden disolverse fácilmente con ácido y se utilizan generalmente para recoger metales que serán analizados mediante absorción atómica. Los filtros nucleoporosos (policarbonatos) son muy fuertes y termoestables y se utilizan para tomar muestras y analizar fibras de amianto utilizando microscopía electrónica de transmisión. Los filtros de fibra suelen fabricarse con fibra de vidrio y se utilizan para tomar muestras de aerosoles como pesticidas y plomo.

Para estudiar la exposición a aerosoles en el lugar de trabajo, se puede tomar una muestra de un volumen conocido de aire a través de los filtros, medir el incremento total de masa ( $\text{mg}/\text{m}^3$  aire) (análisis gravimétrico), contar el número total de partículas (fibras/cc) o identificar los aerosoles (análisis químico). Para el cálculo de masas, se puede medir el polvo total que entra en el aparato de muestreo o sólo la fracción respirable. Cuando se mide el polvo total, el aumento de la masa representa la exposición por sedimentación en todas las partes del tracto respiratorio. Los instrumentos para la toma de muestras del polvo total están sujetos a error debido a las fuertes corrientes de aire que atraviesan el instrumento o a su orientación inadecuada. Las corrientes de aire y los filtros orientados en vertical pueden determinar que se recojan demasiadas partículas y que se sobreestime la exposición.

Cuando se toman muestras del polvo respirable, el aumento de la masa representa la exposición por sedimentación en la región (alveolar) de intercambio de gases del tracto respiratorio. Para recoger sólo la fracción respirable se utiliza un preclasificador llamado ciclón que distorsiona la distribución del polvo suspendido en el aire. Los aerosoles pasan por el ciclón, se aceleran y forman torbellinos, haciendo que las partículas más pesadas sean arrojadas fuera de la corriente de aire y pasen a una sección de eliminación situada en la parte inferior del ciclón. Las partículas respirables menores de 10  $\mu\text{m}$  permanecen en la corriente de aire y son recogidas por el filtro para su posterior análisis gravimétrico.

Los errores de muestreo que se producen al realizar un muestro del polvo total y de la fracción respirable dan lugar a mediciones que no reflejan con exactitud la exposición o su relación con efectos negativos para la salud. Por consiguiente, se ha propuesto el uso de muestreos selectivos granulométricos para redefinir la relación entre el tamaño de las partículas, el efecto negativo en la salud y el método de muestreo. En el muestreo selectivo granulométrico, la medición de las partículas tiene en cuenta los tamaños asociados a efectos concretos en la salud. La Organización Internacional de Normalización (ISO) y la ACGIH han propuesto tres fracciones de masa particulada: masa particulada inhalable (MPI), masa particulada torácica

(MPT) y masa particulada respirable (MPR). La MPI se refiere a las partículas que pueden penetrar por la nariz y la boca y sustituiría a la fracción total de masa tradicional. La MPT se refiere a las partículas que pueden penetrar en el sistema respiratorio superior una vez pasada la laringe. La MPR se refiere a las partículas que pueden depositarse en la región de intercambio de gases del pulmón y sustituiría a la actual fracción de masa respirable. La adopción del muestreo selectivo granulométrico requiere en la práctica el desarrollo de nuevos métodos de muestreo de aerosoles y el establecimiento de límites de exposición profesional específicos para este tipo de muestreos.

### **Medios de muestreo: materiales biológicos**

Hay pocos métodos normalizados para el muestreo de materiales biológicos o bioaerosoles. Aunque los métodos de muestreo son similares a los utilizados para otras partículas suspendidas en el aire, deben preservar la viabilidad de la mayoría de los bioaerosoles para que puedan cultivarse en el laboratorio. Por consiguiente, es más difícil recoger, almacenar y analizar las muestras. La estrategia para el muestreo de bioaerosoles implica la recogida directa en un agar nutritivo semisólido o la recogida en un medio líquido y su cultivo posterior en placa, incubación durante varios días e identificación y cuantificación de las células que han crecido. Los grupos de células que se multiplican en el agar pueden contarse como unidades formadoras de colonias en el caso de bacterias u hongos viables y unidades formadoras de placas en el caso de virus activos. Con la excepción de las esporas, no se recomiendan los filtros para la recogida de bioaerosoles debido a que la deshidratación produce daños celulares.

Los microorganismos aerosolizados viables se recogen utilizando impactores de vidrio (AGI-30), muestreadores de rendija y borboteadores por inercia. El borboteador recoge los bioaerosoles en un medio líquido y el muestreador de rendija los recoge en portaobjetos de vidrio a elevados volúmenes y velocidades de flujo. El borboteador se utiliza con entre una y seis etapas, en cada una de las cuales se siembra una placa de Petri para separar las partículas según su tamaño.

La interpretación de los resultados del muestreo debe realizarse caso por caso, porque no existen límites de exposición profesional. Los criterios de evaluación deben fijarse antes del muestreo. Para las investigaciones de la atmósfera interior, en particular, las muestras tomadas fuera del edificio se utilizan como referencia basal. Una regla práctica es que las concentraciones deben ser diez veces mayores a la basal para que se pueda pensar que existe contaminación. Cuando se utilizan técnicas de cultivo en placas, es probable que se subestimen las concentraciones por la pérdida de viabilidad durante el muestreo y la incubación.

### **Toma de muestras en la piel y en las superficies**

No existen métodos normalizados para evaluar la exposición de la piel a sustancias químicas y predecir la dosis. El muestreo de superficies se realiza principalmente para evaluar las prácticas de trabajo e identificar posibles fuentes de absorción a través de la piel o por ingestión. Para evaluar el potencial de absorción dérmica e ingestión, se utilizan dos tipos de métodos de muestreo de superficie: métodos directos, que consisten en tomar muestras en la piel del trabajador, y métodos indirectos, que consisten en la obtención de muestras por frotamiento de las superficies.

El muestreo directo de la piel consiste en colocar gasas sobre la piel para absorber las sustancias químicas, lavar la piel con disolventes para separar los contaminantes o utilizar luz fluorescente para identificar los contaminantes presentes en la piel. Las gasas se colocan en diferentes partes del cuerpo y se dejan expuestas o se colocan debajo del equipo de protección personal. Al final de la jornada de trabajo, se retiran las gasas y se

analizan en el laboratorio; la distribución de concentraciones en diferentes partes del cuerpo permite identificar las zonas de exposición de la piel. Este método es poco costoso y fácil de realizar; sin embargo, los resultados presentan limitaciones, ya que las gasas no constituyen modelos físicos adecuados de las propiedades de absorción y retención de la piel y miden concentraciones que no son necesariamente representativas de todo el cuerpo.

Los lavados de la piel consisten en enjuagar la piel con disolventes o introducir las manos en bolsas de plástico llenas de disolvente para medir la concentración de sustancias químicas en su superficie. Este método puede subestimar la dosis al recoger sólo la fracción no absorbida de las sustancias químicas.

El control con luz fluorescente se utiliza para identificar la exposición de la piel a sustancias químicas que son fluorescentes por naturaleza, como compuestos aromáticos polinucleares, y para identificar exposiciones a sustancias químicas a las que se han añadido intencionadamente compuestos fluorescentes. Para detectar la contaminación, se realiza un barrido de la piel con luz ultravioleta. La visualización de las zonas contaminadas permite que los trabajadores conozcan el efecto de las prácticas de trabajo en la exposición. En la actualidad, se están realizando investigaciones para cuantificar la intensidad fluorescente y relacionarla con la dosis.

Los métodos de muestreo indirecto por frotamiento requieren el uso de gasas, filtros de fibra de vidrio o filtros de celulosa para frotar el interior de guantes o respiradores o las superficies. La eficacia de la recogida puede aumentar si se añaden disolventes. Seguidamente, las gasas o los filtros se analizan en el laboratorio. Para normalizar los resultados y poder realizar comparaciones entre distintas muestras, se utiliza una plantilla cuadrada para tomar muestras en un área de 100 cm<sup>2</sup>.

### **Medios biológicos**

Las muestras de sangre, orina y aire exhalado son las más adecuadas para el control biológico rutinario, mientras que el pelo, la leche, la saliva y las uñas se utilizan con menos frecuencia. El control biológico se realiza mediante la recogida en el lugar de trabajo de muestras en serie de sangre y orina, y su posterior análisis en el laboratorio. Las muestras de aire exhalado se recogen en bolsas de Tedlar, pipetas de vidrio especialmente diseñadas al efecto o tubos con adsorbente y se analizan "in situ", utilizando instrumentos de lectura directa, o en el laboratorio. Las muestras de sangre, orina y aire exhalado se utilizan principalmente para medir el compuesto original no modificado (la misma sustancia química de la que se toman muestras en el aire del lugar de trabajo), sus metabolitos o un cambio bioquímico (compuestos intermedios) que ha sido inducido en el organismo. Por ejemplo, el plomo inorgánico se mide en la sangre para evaluar la exposición al plomo; el metabolito ácido mandélico se mide en la orina para determinar tanto la exposición al estireno como la del etilbenceno, y la carboxihemoglobina es el compuesto intermedio que se mide en la sangre para determinar la exposición a monóxido de carbono y cloruro de metileno. Para el control de la exposición, la concentración de un determinante ideal estará estrechamente correlacionada con la intensidad de la exposición. Para el control médico, la concentración de un determinante ideal estará estrechamente correlacionada con su concentración en el órgano diana.

El momento de tomar las muestras puede influir en la utilidad de las mediciones; las muestras deben recogerse en los momentos en que reflejen la exposición con mayor exactitud. El momento más oportuno depende de la semivida biológica de excreción de una sustancia química, que refleja la velocidad con que dicha sustancia es eliminada del organismo, y que puede variar de horas a años. La concentración en los órganos diana

de las sustancias químicas con semivida biológica corta depende en gran medida de la concentración ambiental; la concentración en los órganos diana de las sustancias químicas con semivida biológica larga fluctúa muy poco en respuesta a las exposiciones ambientales. En el caso de las sustancias químicas con semivida biológica inferior a tres horas, las muestras deben tomarse justo al finalizar la jornada laboral, antes de que las concentraciones disminuyan rápidamente, para que quede reflejada la exposición durante ese día. En el caso de las sustancias químicas con semivida larga, como los bifenilos policlorados y el plomo, las muestras pueden tomarse en cualquier momento.

### ***Detectores en tiempo real***

Los instrumentos de lectura directa permiten cuantificar en tiempo real los contaminantes; la muestra se analiza dentro del equipo y no requiere análisis en un laboratorio exterior (Maslansky y Maslansky 1993). Los compuestos pueden medirse sin tener que recogerlos antes en distintos medios, transportarlos, almacenarlos y analizarlos. La concentración se lee directamente en un medidor, una pantalla, en una cinta de registro, un tabulador electrónico de datos, o por un cambio de color. Los instrumentos de lectura directa se utilizan principalmente para gases y vapores; existen también algunos instrumentos para detectar las partículas en suspensión. Los instrumentos varían en coste, complejidad, fiabilidad, tamaño, sensibilidad y especificidad. Existen aparatos muy sencillos, como tubos colorimétricos, que indican la concentración mediante un cambio de color, instrumentos específicos para una sustancia química, como los indicadores de monóxido de carbono, los indicadores de gases combustibles (explosímetros) y los medidores del vapor de mercurio, o instrumentos de reconocimiento, como los espectrómetros para infrarrojos, que analizan grandes grupos de sustancias químicas. Los instrumentos de lectura directa aplican distintos métodos físicos y químicos para analizar los gases y vapores, como la conductividad, la ionización, la potenciometría, la fotometría, los indicadores radiactivos y la combustión.

Los instrumentos portátiles de lectura directa que se utilizan con más frecuencia son los cromatógrafos de gases, los analizadores de vapores orgánicos y los espectrómetros para infrarrojos accionados por pilas. Los cromatógrafos de gases y los analizadores de vapores orgánicos se utilizan principalmente para controlar el medio ambiente en lugares en los que hay residuos peligrosos y para controlar el aire ambiental en las comunidades vecinas. Los cromatógrafos de gases con detectores adecuados son específicos y sensibles y pueden cuantificar sustancias químicas a concentraciones muy bajas. Los analizadores de vapores orgánicos suelen utilizarse para medir compuestos por grupos. Los espectrómetros para infrarrojos portátiles se utilizan principalmente para el control industrial y la detección de fugas, porque son sensibles y específicos para una amplia gama de compuestos.

Existen pequeños detectores personales de lectura directa para una serie de gases comunes (cloro, cianuro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, hidrazina, oxígeno, fosgeno, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono). Estos detectores acumulan las concentraciones medidas a lo largo de todo un día y permiten realizar una lectura directa de la concentración media ponderada en el tiempo, así como un perfil detallado del contaminante correspondiente a ese día.

Los tubos colorimétricos (tubos detectores) son fáciles de utilizar, baratos y sirven para una gran variedad de sustancias químicas. Pueden utilizarse para identificar rápidamente clases de contaminantes atmosféricos y realizar estimaciones aproximadas de concentraciones, que sirven para determinar los volúmenes y las velocidades del flujo de la bomba. Los tubos

colorimétricos son tubos de vidrio llenos de material granular sólido impregnado con un agente químico que reacciona con un contaminante y produce un cambio de color. Después de romper los dos extremos sellados de un tubo, uno de esos extremos se coloca en una bomba manual. Para tomar la muestra, el volumen recomendado de aire contaminado se hace pasar a través del tubo utilizando un número específico de bombeos para cada sustancia química. Generalmente, al cabo de dos minutos se produce un cambio de color o una alteración cromática en el tubo, cuya intensidad es proporcional a la concentración. Algunos tubos colorimétricos se han adaptado para muestreos de larga duración y se utilizan con bombas alimentadas por pilas que pueden funcionar durante períodos de hasta ocho horas. El cambio de color que se produce en el tubo representa una concentración media ponderada en el tiempo. Los tubos colorimétricos son adecuados para realizar análisis tanto cualitativos como cuantitativos; sin embargo, su especificidad y exactitud son limitadas. La exactitud de los tubos colorimétricos no es tan elevada como la de los métodos de laboratorio o la de muchos otros instrumentos de lectura directa. Existen centenares de tubos, muchos de los cuales tienen sensibilidades cruzadas y pueden detectar más de una sustancia química. Este hecho puede causar interferencias que modifiquen las concentraciones medidas.

Los detectores de lectura directa para aerosoles no distinguen entre contaminantes y se utilizan normalmente para contar o determinar el tamaño de las partículas, más con fines de cribado que para determinar promedios de concentración ponderada en el tiempo o exposiciones agudas. Los instrumentos en tiempo real utilizan propiedades ópticas o eléctricas para determinar la masa total y respirable, realizar el recuento de partículas y determinar su tamaño. Los detectores de aerosoles por luz dispersa o los fotómetros para aerosoles detectan la luz que dispersan las partículas cuando pasan por su interior. Al aumentar el número de partículas, la cantidad de luz dispersada aumenta de forma proporcional a la masa. Los detectores de aerosoles por luz dispersa no sirven para distinguir entre distintos tipos de partículas; sin embargo, cuando se utilizan en un lugar de trabajo con un número limitado de tipos distintos de polvo, la masa puede atribuirse a determinado material. Los detectores de aerosoles fibrosos se utilizan para medir la concentración atmosférica de partículas como el amianto. Las fibras se orientan en un campo eléctrico oscilante y se iluminan con láser de helio y neón; los impulsos luminosos resultantes se detectan mediante un tubo fotomultiplicador. Los fotómetros de luz atenuada miden la extinción de luz por efecto de las partículas; la relación entre luz incidente y luz medida es proporcional a la concentración.

### ***Técnicas analíticas***

Existen muchos métodos para analizar las muestras de laboratorio de contaminantes. Algunas de las técnicas más habituales para cuantificar gases y vapores atmosféricos son la cromatografía de gases, la espectrometría de masas, la absorción atómica, la espectroscopia por rayos infrarrojos y UV y la polarografía.

La cromatografía de gases es una técnica que se utiliza para separar y concentrar sustancias químicas contenidas en mezclas para su posterior análisis cuantitativo. El sistema consta de tres componentes principales: el sistema de inyección de la muestra, una columna y un detector. La muestra líquida o gaseosa se inyecta con una jeringa en una corriente de aire, que la transporta a través de una columna en donde se separan sus componentes. La columna está llena de materiales que interactúan de manera diferente con las distintas sustancias químicas y aminoran su desplazamiento. Esta diferente interacción hace



que cada sustancia química se mueva a través de la columna a una velocidad diferente. Una vez separadas, las sustancias químicas pasan directamente a un detector, que puede ser de ionización de llama, fotoionización o captura de electrones. En un registrador de gráficos se registra una señal proporcional a la concentración. El detector de ionización de llama se utiliza para casi todos los compuestos orgánicos, como hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos de cadena lineal, cetonas y algunos hidrocarburos clorados. La concentración se mide por el incremento del número de iones que se produce cuando un hidrocarburo volátil se quema en una llama de hidrógeno. El detector de fotoionización se utiliza para compuestos orgánicos y algunos inorgánicos; es especialmente útil para compuestos aromáticos como el benceno y puede detectar hidrocarburos alifáticos, aromáticos y halogenados. La concentración se mide por el aumento del número de iones que se produce cuando la muestra es bombardeada con radiación ultravioleta. El detector por captura de electrones se utiliza principalmente para sustancias químicas que contienen halógenos; ofrece una respuesta mínima a los hidrocarburos, alcoholes y cetonas. La concentración se mide por el flujo de corriente entre los dos electrodos causado por la ionización del gas por radiactividad.

La espectrofotometría de masas sirve para analizar mezclas complejas de sustancias químicas presentes en cantidades traza. Suele utilizarse conjuntamente con un cromatógrafo de gases para separar y cuantificar los diferentes contaminantes.

La espectroscopia de absorción atómica se utiliza principalmente para cuantificar metales como el mercurio. La absorción atómica es la absorción de la luz de una determinada longitud de onda por un átomo libre en estado fundamental; la cantidad de luz absorbida depende de la concentración. Esta técnica es muy específica, sensible y rápida y puede aplicarse directamente a unos 68 elementos. Los límites de detección están en un rango próximo a ppb y hasta pequeñas ppm.

El análisis por rayos infrarrojos es una técnica potente, sensible, específica y versátil. Utiliza la absorción de energía infrarroja para medir muchas sustancias químicas orgánicas e inorgánicas; la cantidad de luz absorbida es proporcional a la concentración. El espectro de absorción de un compuesto facilita información que permite describirlo y cuantificarlo.

La espectroscopia por absorción UV se utiliza para el análisis de hidrocarburos aromáticos cuando se sabe que existen pocas interferencias. La cantidad de absorción de luz UV es directamente proporcional a la concentración.

Los métodos polarográficos se basan en la electrolisis de una solución de muestra con un electrodo fácilmente polarizable y un electrodo no polarizable. Se utilizan para realizar análisis cualitativos y cuantitativos de aldehídos, hidrocarburos clorados y metales.

## ● HIGIENE INDUSTRIAL: CONTROL DE LAS EXPOSICIONES MEDIANTE LA INTERVENCION

*James Stewart*

Una vez que se identifica y evalúa un riesgo, debe decidirse qué intervenciones (métodos de control) son las más adecuadas para controlar ese riesgo concreto. Los métodos de control suelen dividirse en tres categorías:

1. Controles técnicos.
2. Controles administrativos.
3. Equipos de protección personal.

Como con cualquier otro cambio en los procesos de trabajo, el éxito de estas intervenciones depende de la formación que reciba el personal.

Los controles técnicos son cambios en los procesos o equipos que reducen o eliminan la exposición a un agente. Por ejemplo, la sustitución de una sustancia por otra menos tóxica o la instalación de un sistema de ventilación localizada que elimina los vapores generados durante una etapa del proceso, son ejemplos de controles técnicos. Algunos controles técnicos para el ruido son, por ejemplo, la instalación de materiales insonorizantes, cerramientos o silenciadores en las salidas de aire. Otro tipo de control técnico puede consistir en cambiar el propio proceso. Un ejemplo de este tipo de control sería la eliminación de una o más etapas desengrasantes en un proceso que antes requería tres etapas. Al eliminar la necesidad de realizar la tarea que producía la exposición, se controla la exposición total del trabajador. La ventaja de los controles técnicos es que requieren una participación relativamente pequeña del trabajador, que puede proseguir con su trabajo en un medio ambiente más controlado si, por ejemplo, los contaminantes se eliminan automáticamente de la atmósfera. Esto contrasta con la situación en la que se elige como método de control un respirador que debe llevar el trabajador mientras realiza la tarea en un lugar de trabajo "no controlado". Además de instalar activamente controles técnicos en los equipos existentes, una empresa puede adquirir nuevos equipos que lleven incorporados esos controles u otros más eficaces. En general, el enfoque combinado suele ser el más eficaz (es decir, la instalación de algunos controles técnicos y el uso de equipos de protección personal hasta que se adquieran nuevos equipos con controles más eficaces, que permiten prescindir de los equipos de protección personal). Algunos ejemplos comunes de controles técnicos son:

- ventilación (ventilación tanto general como localizada);
- aislamiento (colocación de una barrera entre el trabajador y el agente);
- sustitución (sustitución por materiales menos tóxicos e inflamables, etc.);
- cambios en el proceso (eliminación de etapas peligrosas).

El higienista industrial debe tener en cuenta las tareas que realiza el trabajador y solicitar su participación en el diseño o elección de los controles técnicos. Por ejemplo, la instalación de barreras en el lugar de trabajo puede dificultar considerablemente la capacidad de un trabajador para realizar su trabajo y podría reducir su rendimiento. Los controles técnicos son el método más eficaz para reducir las exposiciones. Con frecuencia, son también el más caro. Puesto que los controles técnicos son eficaces y costosos, es importante que se consiga la máxima participación de los trabajadores en su elección y diseño. Así debería aumentar la probabilidad de que los controles reduzcan las exposiciones.

Los controles administrativos son cambios en la manera en que un trabajador realiza las tareas correspondientes a su puesto de trabajo; por ejemplo, reducción del tiempo de trabajo en una zona en la que se producen exposiciones, o cambios en las prácticas de trabajo, como rectificación de la posición del cuerpo para reducir la exposición. Los controles administrativos pueden aumentar la eficacia de una intervención, pero presentan varias desventajas:

1. La rotación de los trabajadores puede reducir la exposición media total durante una jornada de trabajo, pero aumenta el número de trabajadores que se verán sometidos a elevadas exposiciones durante períodos cortos de tiempo. A medida que se conoce más sobre los tóxicos y sus mecanismos de actuación, se sabe que las exposiciones pico de corta duración

pueden representar un riesgo mayor del que se estimaría por su contribución a la exposición media.

2. La modificación de las prácticas de trabajo puede representar un importante reto de aplicación y seguimiento. La aplicación y el seguimiento de las prácticas de trabajo determinan su eficacia. Esta atención constante que requieren los controles administrativos supone un importante coste.

El equipo de protección personal está compuesto por los elementos que se entregan al trabajador para que los lleve puestos mientras realiza determinadas tareas (o todas ellas) de su puesto de trabajo; algunos de esos elementos son los respiradores, las gafas, los guantes protectores y las pantallas de protección facial. El equipo de protección personal suele utilizarse cuando los controles técnicos no han conseguido controlar la exposición a unos niveles aceptables o cuando dichos controles no son factibles (por razones operativas o de coste). El equipo de protección personal puede ofrecer una protección importante a los trabajadores si se lleva y se utiliza correctamente. En el caso de la protección de las vías respiratorias, el factor de protección (relación entre la concentración fuera y dentro del respirador) puede ser de 1.000 o más para los respiradores de aire suministrado con presión positiva o de hasta 10 para los respiradores que purifican el aire y ocupan la mitad de la cara. Los guantes (si se elige un modelo adecuado) pueden proteger las manos durante horas contra los disolventes. Las gafas protectoras ofrecen una protección eficaz contra las salpicaduras de sustancias químicas.

### **Intervención: factores que deben considerarse**

En general, para reducir la exposición a unos niveles aceptables, se tienen que combinar distintos tipos de controles. Cualesquiera que sean los métodos elegidos, la intervención debe reducir la exposición y el riesgo resultante a un nivel aceptable. Existen, sin embargo, muchos otros factores que deben considerarse a la hora de elegir una intervención. Por ejemplo:

- eficacia de los controles;
- facilidad de uso para el trabajador;
- coste de los controles;
- idoneidad de las propiedades de advertencia del material;
- nivel aceptable de exposición;
- frecuencia de la exposición;
- vía(s) de exposición;
- requisitos reglamentarios sobre controles específicos.

### **Eficacia de los controles**

La eficacia de los controles es, obviamente, un aspecto fundamental cuando se toman medidas para reducir las exposiciones. Cuando se compara un tipo de intervención con otra, se ha de tener en cuenta que el nivel de protección necesario justifique las dificultades que puede conllevar la intervención; un control excesivo es un desperdicio de recursos, que podrían utilizarse para reducir otras exposiciones o las exposiciones que afectan a otros empleados. Por otra parte, un control deficiente deja al trabajador expuesto a condiciones insanas. Un primer paso útil consiste en clasificar las intervenciones de acuerdo con su eficacia y, seguidamente, utilizar dicha clasificación para evaluar la importancia de los demás factores.

### **Facilidad de uso**

Para que un control sea eficaz, es preciso que el trabajador pueda realizar las tareas de su puesto de trabajo al mismo tiempo que se aplica ese control. Por ejemplo, si el método de control elegido es una sustitución, el trabajador debe conocer los riesgos de la nueva sustancia química, recibir formación sobre los

procedimientos seguros de manipulación, conocer los procedimientos correctos de evacuación, etc. Si el control consiste en un aislamiento, o colocación de un dispositivo que separa la sustancia del trabajador, éste debe dejar que el trabajador realice su trabajo. Si las medidas de control interfieren con las tareas del puesto de trabajo, el trabajador se resistirá a utilizarlas y posiblemente encontrará otras formas de realizar sus tareas, que conlleven una exposición mayor, en lugar de menor.

### **Coste**

Todas las organizaciones disponen de unos recursos limitados. El reto consiste en aprovechar al máximo dichos recursos. Cuando se identifican exposiciones peligrosas y se desarrolla una estrategia de intervención, el coste es un factor que debe tenerse en cuenta. La "mejor compra" no siempre será la solución de mayor o menor coste. El coste se convierte en un factor sólo después de haber identificado varios métodos viables de control. Entonces, el coste puede utilizarse como criterio para seleccionar aquellos controles que serán más eficaces en una determinada situación. Si el coste es el factor determinante desde el principio, es posible que se elijan controles deficientes o inadecuados o que éstos interfieran con el trabajo del empleado. Sería poco aconsejable elegir controles de bajo coste que interfiriesen y retrasaran un proceso de fabricación. El proceso perdería productividad y el coste sería mayor. En muy poco tiempo, el coste "real" de estos controles de "bajo coste" sería enorme. Los ingenieros industriales aportan su conocimiento de las instalaciones y los procesos en su conjunto; los ingenieros de producción, su conocimiento de las etapas y procesos de producción; los analistas financieros, su conocimiento de los problemas de asignación de recursos. Los higienistas industriales pueden aportar una perspectiva específica a este debate gracias a su conocimiento de las tareas de cada puesto de trabajo, su interacción con el equipo de fabricación y la manera en que funcionarán los controles en un entorno determinado. Este enfoque en equipo aumenta la probabilidad de elegir el control más adecuado (desde distintas perspectivas).

### **Idoneidad de las propiedades de advertencia**

Cuando se intenta proteger a un trabajador de un riesgo para la salud en el trabajo, deben tenerse en cuenta las propiedades que advierten de la presencia de un material, como su olor o la irritación que produce. Por ejemplo, si un empleado trabaja con un semiconductor en una zona en la que se utiliza arsenamina, la extrema toxicidad del gas supone un importante riesgo potencial. La situación se agrava por las escasas propiedades de advertencia de la arsenamina; los trabajadores no pueden detectar la arsenamina por la vista o el olfato hasta que su concentración no ha superado ya los niveles aceptables. En un caso así, no pueden aceptarse los controles que son marginalmente eficaces para mantener las exposiciones por debajo de unos niveles aceptables, porque los trabajadores no pueden detectar cuándo se superan esos niveles. La solución en este caso consiste en instalar controles técnicos que aislen al trabajador del material. Además, debe instalarse un detector continuo de la arsenamina que advierta a los trabajadores de un eventual fallo de los controles técnicos. En situaciones en las que existe el riesgo de exposición de elevada toxicidad y escasas propiedades de advertencia, se practica la higiene industrial preventiva. El higienista industrial debe abordar cada problema de exposición con una actitud flexible y reflexiva.

### **Nivel aceptable de exposición**

Si se estudia la aplicación de controles para proteger a un trabajador de una sustancia como la acetona, cuyo nivel aceptable de exposición puede ser del orden de 800 ppm, dicho nivel puede reducirse a 400 ppm o menos con relativa facilidad. El ejemplo

de la acetona contrasta con el control del 2-etoxietanol, cuyo nivel aceptable de exposición puede estar en el rango de 0,5 ppm. Para conseguir el mismo porcentaje de reducción (0,5 ppm a 0,25 ppm) probablemente se necesitarían diferentes controles. De hecho, con unos niveles de exposición tan bajos, el aislamiento del material puede convertirse en el principal medio de control. Cuando los niveles de exposición son elevados, la ventilación puede conseguir la reducción necesaria. Así pues, el nivel aceptable establecido (por el gobierno, la empresa, etc.) para una sustancia puede condicionar la elección de los controles.

### **Frecuencia de la exposición**

El modelo clásico para evaluar la toxicidad utiliza la siguiente relación:

$$\text{TIEMPO} \times \text{CONCENTRACION} = \text{DOSIS}$$

La dosis, en este caso, es la cantidad de material que está disponible para su absorción. Hasta ahora se ha hablado de intentar minimizar (reducir) el componente de la concentración en esta ecuación. También se puede reducir la duración de la exposición (la razón que justifica los controles administrativos). Así se reduciría igualmente la dosis. El problema aquí no es que el trabajador pase cierto tiempo en una zona contaminada, sino la frecuencia con que realiza una operación (tarea). Esta distinción es importante. En el primer ejemplo, la exposición se controla alejando a los trabajadores de la zona en la que están expuestos a determinada cantidad de un agente tóxico. El esfuerzo de la intervención no está encaminado hacia el control de la cantidad de sustancia tóxica (en muchas situaciones, puede utilizarse un enfoque combinado). En el segundo caso, la frecuencia de la operación se utiliza para introducir los controles adecuados, no para establecer un horario de trabajo. Por ejemplo, si una operación, como el desengrasado, es realizada rutinariamente por un trabajador, los controles pueden consistir en medidas de ventilación, sustitución por un disolvente menos tóxico o incluso automatización del proceso. Si la operación se realiza con poca frecuencia (p. ej., una vez al trimestre), los equipos de protección personal pueden constituir una alternativa adecuada (dependiendo de muchos de los factores que se describen en esta sección). Como ilustran estos dos ejemplos, la frecuencia con que se realiza una operación puede afectar directamente a la selección de controles. Cualquiera que sea la situación de exposición, la frecuencia con que un trabajador realiza las tareas debe tenerse en cuenta a la hora de elegir los controles.

Obviamente, la vía de exposición influye en la elección del método de control. Si se trata de un irritante respiratorio, se considerará el uso de ventilación, respiradores, etc. El reto para el higienista industrial es identificar todas las vías de exposición. Por ejemplo, los éteres de glicol se utilizan como disolventes transportadores en las operaciones de impresión. Se puede medir su concentración atmosférica en la zona de respiración e introducir controles. Sin embargo, los éteres de glicol se absorben rápidamente a través de la piel intacta. La piel representa una importante vía de exposición y debe tenerse en cuenta. De hecho, si se usan unos guantes inadecuados, la exposición de la piel puede continuar mucho tiempo después de que se haya reducido la exposición ambiental (si el trabajador sigue utilizando los guantes contaminados). El higienista debe evaluar la sustancia —sus propiedades físicas, químicas y toxicológicas— para determinar qué vías de exposición son posibles y probables (dependiendo de las tareas que realiza el trabajador).

A la hora de elegir los controles, uno de los factores que deben tenerse en cuenta son los requisitos normativos al respecto. Puede haber códigos profesionales, reglamentos, etc., que impongan una determinada serie de controles. El higienista

industrial puede actuar con flexibilidad respecto de los requisitos normativos, pero debe aplicar los controles mínimos obligatorios. Otro aspecto de los requisitos normativos es que los controles obligatorios pueden ser menos eficaces o entrar en conflicto con la opinión del higienista industrial. En estas situaciones, el higienista debe ser creativo y encontrar soluciones que satisfagan tanto los requisitos normativos como los objetivos de buena práctica de la organización.

### **Formación e información**

Sea cual sea el tipo de intervención que se elija finalmente, deben facilitarse formación y otras vías de información para que los trabajadores conozcan las intervenciones, la razón por la que se han elegido, las reducciones de la exposición previstas y el papel que ellos desempeñan para conseguir esas reducciones. Sin la participación y el conocimiento de los trabajadores, es probable que las intervenciones fracasen o tengan una eficacia reducida. La formación sensibiliza a la plantilla respecto a la existencia de peligros. Esta sensibilización puede ser de gran valor para el higienista industrial que intenta identificar y reducir exposiciones nuevas o no detectadas previamente. La formación, el etiquetado y otras actividades relacionadas pueden formar parte de un programa de cumplimiento de los requisitos normativos. Sería conveniente verificar la legislación local, para tener la seguridad de que las medidas de formación o etiquetado adoptadas satisfacen tanto los requisitos legales como los operativos.

### **Conclusión**

En esta breve descripción de las intervenciones, se han presentado algunos aspectos generales para estimular la reflexión. En la práctica, estas normas adquieren una gran complejidad y tienen con frecuencia importantes implicaciones para la salud de los trabajadores y de la empresa. El juicio profesional del higienista industrial es esencial para elegir los mejores controles. “Mejor” es un término que tiene muchos significados diferentes. El higienista industrial debe promover el trabajo en equipo y la colaboración de los trabajadores, la dirección y el personal técnico.

## **FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS PARA EVALUAR LA EXPOSICIÓN**

**Dick Heederik**

La evaluación de la exposición en el lugar de trabajo consiste en identificar y evaluar los agentes con los que un trabajador puede entrar en contacto. Se pueden construir índices de exposición que reflejen la cantidad de un agente presente en el medio ambiente en general o en el aire inhalado, y la cantidad de un agente que realmente se inhala, se traga o se absorbe por otras vías (ingesta). Otros índices reflejan la cantidad de agente que se reabsorbe (absorción) y la exposición en el órgano diana. La dosis es un término farmacológico o toxicológico utilizado para indicar la cantidad de una sustancia que se administra a una persona. La frecuencia de dosis es la cantidad de sustancia administrada por unidad de tiempo. La dosis de una exposición en el lugar de trabajo es difícil de determinar en la práctica, puesto que los procesos físicos y biológicos, como la inhalación, la absorción y la distribución de un agente en el organismo humano establecen entre la exposición y la dosis relaciones complejas no lineales. La incertidumbre sobre el nivel real de exposición a los agentes hace además que sea difícil cuantificar la relación existente entre exposición y efecto en la salud.

Para muchas exposiciones profesionales, existe un intervalo de tiempo, durante el cual la exposición o la dosis alcanzan la mayor importancia, para el desarrollo de un determinado problema de salud o síntoma. Por consiguiente, la exposición, o la dosis, biológicamente importante sería la que se produce durante el intervalo de tiempo. Se cree que algunas exposiciones a cancerígenos en el lugar de trabajo tienen este tipo de intervalo de tiempo relevante. El cáncer es una enfermedad con un largo período de latencia y, por consiguiente, puede ocurrir que la exposición que causa el desarrollo definitivo de la enfermedad tenga lugar muchos años antes de que el cáncer se manifieste. Es, por tanto, un fenómeno arbitrario ya que lo que cabría esperar es que la exposición acumulada a lo largo de toda una vida profesional fuera el parámetro relevante. Es posible que la exposición que se produce en el momento de manifestarse la enfermedad no tenga especial importancia.

La pauta de exposición —continua, intermitente, con o sin picos agudos— puede ser también relevante. Es importante tenerla en cuenta tanto para los estudios epidemiológicos como para las mediciones ambientales que se utilizan para observar el cumplimiento de las normas sanitarias y los controles ambientales en el marco de los programas de prevención y control. Por ejemplo, si un efecto en la salud está causado por exposiciones pico, estos picos deben ser medidos para que puedan ser controlados. Las observaciones que sólo facilitan datos sobre exposiciones medias durante largos períodos de tiempo no tiene gran utilidad, puesto que los valores de desviación de los picos pueden quedar ocultos por la obtención del valor promedio y, desde luego, no pueden controlarse en el momento en que ocurren.

Muchas veces se desconoce la exposición o la dosis biológicamente relevante para un determinado efecto, porque las pautas de ingesta, absorción, distribución y eliminación, o los mecanismos de biotransformación, no se conocen con suficiente detalle. Tanto el conocimiento de la velocidad a la que un agente entra y abandona el organismo (cinética) como el de los procesos bioquímicos que sufre la sustancia (biotransformación) ayudan a determinar las relaciones entre exposición, dosis y efecto.

El control ambiental consiste en la medición y evaluación de los agentes presentes en el lugar de trabajo para evaluar la exposición ambiental y los consiguientes riesgos para la salud. El control biológico consiste en la medición y evaluación de los agentes presentes en el lugar de trabajo o de sus metabolitos en los tejidos, secreciones o excreciones para evaluar la exposición y los riesgos para la salud. Algunas veces se utilizan *biomarcadores*, como aductos del ADN, para medir la exposición. Los biomarcadores sirven también como indicadores de los mecanismos del propio proceso de la enfermedad, pero este es un tema complejo que se aborda con más detalle en el capítulo *Control biológico* y más adelante en esta sección.

El modelo básico de exposición-respuesta puede esquematizarse de la siguiente forma

exposición → absorción → distribución, eliminación,  
transformación → dosis en el órgano diana objetivo →  
fisiopatología → efecto

Dependiendo del agente, las relaciones entre exposición-absorción y exposición-ingesta pueden ser complejas. Para muchos gases pueden realizarse aproximaciones sencillas basadas en la concentración atmosférica del agente durante una jornada de trabajo y en la cantidad de aire inhalado. Para el muestreo del polvo debe tenerse en cuenta, además, que el depósito de las partículas es función de su tamaño. Las consideraciones sobre el tamaño pueden aumentar también la complejidad de la

relación. En el capítulo *Sistema respiratorio* se facilitan más detalles sobre el aspecto de la toxicidad respiratoria.

La valoración de la exposición y la dosis es un elemento de la valoración cuantitativa del riesgo. Los métodos de evaluación del riesgo para la salud suelen constituir la base para establecer los límites de exposición correspondientes a los niveles de emisión de agentes tóxicos en el aire que se definen en las normas ambientales y laborales. El análisis del riesgo para la salud proporciona una estimación de la probabilidad (riesgo) de que ocurran determinados efectos en la salud o una estimación del número de casos con esos efectos. El análisis del riesgo para la salud permite establecer una concentración aceptable de un agente tóxico en el aire, el agua o los alimentos, dada una magnitud de riesgo aceptable elegida *a priori*. El análisis cuantitativo del riesgo ha encontrado una aplicación en la epidemiología del cáncer, lo que explica la importancia que se concede a la evaluación retrospectiva de la exposición. Sin embargo, otras estrategias más elaboradas de evaluación de la exposición se aplican también a evaluaciones tanto prospectivas como retrospectivas de la misma. Los principios de la evaluación de la exposición se han aplicado también al estudio de otros efectos, como las enfermedades respiratorias benignas (Wegman y cols. 1992; Post y cols. 1994). En este momento, predominan dos líneas de investigación. Una de ellas utiliza estimaciones de la dosis obtenidas de la información procedente de las mediciones ambientales, y la otra se basa en los biomarcadores como medidas de la exposición.

### Control de la exposición y predicción de la dosis

Lamentablemente, el número de datos cuantitativos sobre muchos tipos de exposición es insuficiente para predecir el riesgo de desarrollar determinado efecto. Ya en 1924, Haber postuló que la gravedad del efecto en la salud (H) es proporcional al producto de la concentración de la exposición (X) y la duración de la exposición (T):

$$H = X \cdot T$$

La ley de Haber, que es como se denomina, constituyó la base para desarrollar la idea de que las mediciones de la exposición media ponderada en el tiempo (TWA) —es decir, mediciones realizadas y promediadas durante un cierto período de tiempo— serían una medida útil de la exposición. Este supuesto sobre la validez de la media ponderada en el tiempo se ha cuestionado durante muchos años. En 1952, Adams y sus colaboradores afirmaron que “no existe ningún fundamento científico que justifique el uso de la media ponderada en el tiempo para integrar exposiciones variables ...” (en Atherly 1985). El problema es que muchas relaciones son más complejas que la relación que representa la ley de Haber. Existen muchos ejemplos de agentes cuyos efectos dependen más de su concentración que de la duración de la exposición. Por ejemplo, los estudios de laboratorio han aportado interesantes evidencias de que en ratas expuestas a tetracloruro de carbono, la pauta de exposición (continua frente a intermitente y con o sin picos) así como la dosis pueden modificar el riesgo observado de que las ratas experimenten cambios en la concentración de enzimas hepáticas (Bogers y cols. 1987). Otro ejemplo es el de los bioaerosoles, como la enzima  $\alpha$ -amilasa, un mejorador de la masa que puede causar enfermedades alérgicas a los trabajadores de la industria panadera (Houba y cols. 1996). No se sabe si el riesgo de desarrollar esta enfermedad depende principalmente de las exposiciones pico, de la exposición media o del nivel acumulado de exposición (Wong 1987; Checkoway y Rice 1992). No se dispone de información sobre las pautas temporales de la mayoría de los agentes, especialmente de los agentes que tienen efectos crónicos.

Los primeros modelos de las pautas de exposición y la estimación de la dosis fueron publicados en los decenios de 1960 y 1970 por Roach (1966; 1977). Roach demostró que la concentración de un agente alcanza un valor de equilibrio en el receptor tras una exposición de duración infinita, porque la eliminación contrarresta la absorción del agente. En una exposición de ocho horas, este nivel de equilibrio puede alcanzar un valor del 90 % si la semivida del agente en el órgano diana es inferior a unas dos horas y media. Esto indica que la dosis en el órgano diana de los agentes con semivida corta está determinada por una exposición inferior a ocho horas. La dosis en el órgano diana es una función del producto del tiempo de exposición y la concentración de agentes con semivida larga. Rappaport (1985) ha aplicado un enfoque similar aunque más elaborado, y ha demostrado que la variabilidad de la exposición dentro de un mismo día tiene una influencia limitada cuando se trata de agentes con semivida larga. Introdujo el término *efecto amortiguador en el receptor*.

La información anterior se ha utilizado principalmente para extraer conclusiones sobre los tiempos medios adecuados para medir la exposición y a efectos de cumplimiento de los requisitos legales. Desde que se publicaron los artículos de Roach, se acepta que, para estimar la exposición a irritantes, deben tomarse muestras puntuales durante cortos intervalos medios de tiempo, mientras que para los agentes con semivida larga, como el amianto, tiene que estimarse la exposición media acumulada durante un periodo de tiempo largo. No obstante, hay que tener presente que la dicotomización entre estrategias de muestreo puntual y estrategias de exposición media acumulada durante ocho horas, según se ha adoptado en muchos países para cumplir los requisitos legales, constituye una aplicación extremadamente simple de los principios biológicos descritos.

En el artículo de Wegman y cols. (1992) se ofrece un ejemplo de cómo mejorar una estrategia de evaluación de la exposición basándose en los principios farmacocinéticos en el campo de la epidemiología. Estos autores aplicaron una interesante estrategia de evaluación de la exposición utilizando dispositivos de vigilancia continua para medir las exposiciones pico del personal al polvo y relacionarlas con síntomas respiratorios reversibles agudos cada 15 minutos. Un problema conceptual de este tipo de estudios, que los autores comentan con detalle en su artículo, es la definición de lo que es una exposición pico relevante para la salud. La definición del pico dependerá a su vez de consideraciones biológicas. Rappaport (1991) formula dos requisitos para que las exposiciones pico tengan importancia etiológica en el proceso de la enfermedad: (1) el agente se elimina rápidamente del organismo, y (2) existe una velocidad no lineal de daño biológico durante una exposición pico. Las velocidades no lineales de daño biológico pueden estar relacionadas con cambios en la absorción, que a su vez están relacionados con los niveles de exposición, la sensibilidad del huésped, la sinergia con otras exposiciones, la participación de otros mecanismos de enfermedad a exposiciones más elevadas o niveles umbral para la progresión de la enfermedad.

Estos ejemplos indican también que los enfoques farmacocinéticos pueden servir para fines distintos de la estimación de la dosis. Los resultados de los modelos farmacocinéticos pueden utilizarse también para analizar la relevancia biológica de los índices de exposición existentes y para diseñar nuevas estrategias de evaluación de la exposición relevante para la salud.

Los modelos farmacocinéticos de la exposición pueden generar, asimismo, estimaciones de la dosis real en el órgano diana. Por ejemplo, en el caso del ozono, un gas irritante agudo, se han desarrollado modelos que predicen la concentración tisular en las vías respiratorias como función de la concentración media del ozono en el aire contenido en el pulmón a una cierta

distancia de la tráquea, el radio de las vías respiratorias, la velocidad media del aire, la dispersión efectiva y el flujo de ozono del aire a la superficie del pulmón (Menzel 1987; Miller y Overton 1989). Este tipo de modelos pueden utilizarse para predecir la dosis de ozono en una región concreta de las vías respiratorias, dependiendo de las concentraciones ambientales de ozono y de las pautas de respiración.

En la mayoría de los casos, la estimación de la dosis en el órgano diana se basa en información sobre la pauta de exposición a lo largo del tiempo, los antecedentes profesionales y la información farmacocinética sobre la absorción, distribución, eliminación y transformación del agente. Todo el proceso puede describirse mediante una serie de ecuaciones que se resuelven matemáticamente. Muchas veces no se dispone de información sobre los parámetros farmacocinéticos en el ser humano y tienen que utilizarse estimaciones de los parámetros derivadas de experimentos animales. Existen ya varios ejemplos del uso de los modelos farmacocinéticos de la exposición para calcular las dosis. Las primeras referencias bibliográficas al uso de modelos para convertir los datos sobre la exposición en estimaciones de la dosis se remontan al artículo de Jahr (1974).

Aunque, en términos generales, las estimaciones de las dosis no se han validado y han tenido una aplicación limitada en los estudios epidemiológicos, se espera que la nueva generación de índices de exposición o dosis dé lugar a un análisis óptimo de la relación exposición-respuesta en los estudios epidemiológicos (Smith 1985, 1987). Un problema que todavía no se ha abordado en los modelos farmacocinéticos es el de las grandes diferencias que existen en la cinética de los agentes tóxicos en distintas especies y, por consiguiente, los efectos de la variación de los parámetros farmacocinéticos en distintas personas son de gran interés (Droz 1992).

### Control biológico y biomarcadores de la exposición

El control biológico permite obtener una estimación de la dosis y, por consiguiente, suele considerarse superior al control ambiental. Sin embargo, la variabilidad de los índices que se emplean para el control Biológico puede ser considerable incluso en una misma persona. Para obtener una estimación aceptable de la dosis a la que se ve expuesta un trabajador, tienen que realizarse mediciones repetidas y el esfuerzo de medición puede llegar a ser mayor que el del control ambiental.

Este hecho se ilustra con un interesante estudio sobre los trabajadores de una fábrica de barcos de plástico reforzado con fibra de vidrio (Rappaport y cols. 1995). La variabilidad de la exposición al estireno se evaluó midiendo repetidamente el contenido ambiental de estireno. Se midió el contenido de estireno en el aire exhalado por los trabajadores expuestos, así como los intercambios de cromátidas hermanas. Se demostró que un estudio epidemiológico que utilizase el estireno ambiental como medida de la exposición sería más eficiente, en términos del número de mediciones necesarias, que un estudio que utilizase los otros índices de exposición. Para medir el estireno en el aire se realizaron tres mediciones repetidas, a fin de calcular la exposición media a largo plazo con una precisión determinada. Para medir el estireno en el aire exhalado se realizaron cuatro mediciones repetidas en cada trabajador, mientras que para determinar los intercambios de cromátidas hermanas se realizaron 20 mediciones repetidas. Esta observación se explica por la relación entre señal y ruido, determinada por la variabilidad en la exposición de un día a otro y de un trabajador a otro, que fue más favorable en el caso del estireno ambiental que para los dos biomarcadores de la exposición. Así pues, aunque la relevancia biológica de un cierto indicador de la exposición sea óptima, el resultado de un análisis de exposición-respuesta puede seguir

siendo insatisfactorio debido a una menor relación entre señal y ruido, que introduce un error de clasificación incorrecta.

Droz (1991) aplicó modelos farmacocinéticos para estudiar las ventajas de los métodos de evaluación de la exposición basados en la toma de muestras del aire comparados con los métodos de control Biológico dependientes de la semivida del agente. Demostró que el control biológico se ve también muy afectado por la variabilidad biológica, que no está relacionada con la variabilidad del ensayo toxicológico. Sugirió que el uso de indicadores biológicos no ofrece ninguna ventaja estadística cuando la semivida del agente considerado es inferior a unas diez horas.

Aunque parece más adecuado medir la exposición ambiental en lugar de un indicador biológico de su efecto por la variabilidad de la variable medida, se pueden encontrar otros argumentos en favor del uso de un biomarcador, incluso cuando eso suponga un mayor esfuerzo de medición, como cuando existe una considerable exposición dérmica. Para agentes como los pesticidas y algunos disolventes orgánicos, la exposición dérmica puede tener mayor relevancia que la exposición ambiental. Un biomarcador de la exposición incluiría esta vía de exposición, mientras que la medición de la exposición dérmica es compleja y sus resultados no son fáciles de interpretar (Boleij y cols. 1995). Los primeros estudios de trabajadores agrícolas en los que se utilizaron "parches" para evaluar la exposición dérmica detectaron importantes cantidades de pesticidas en la superficie corporal, dependiendo de las tareas que realizaba cada trabajador. Sin embargo, debido a la escasa información disponible sobre la absorción por la piel, todavía no pueden utilizarse los perfiles de exposición para calcular una dosis interna.

Los biomarcadores pueden ofrecer también ventajas considerables en la epidemiología del cáncer. Cuando un biomarcador es un marcador precoz del efecto, su uso puede tener como resultado la reducción del período de seguimiento. Aunque todavía tienen que realizarse estudios de validación, los biomarcadores de la exposición o de la sensibilidad individual podrían dar lugar a estudios epidemiológicos más potentes y a estimaciones más precisas del riesgo.

### Análisis del intervalo de tiempo

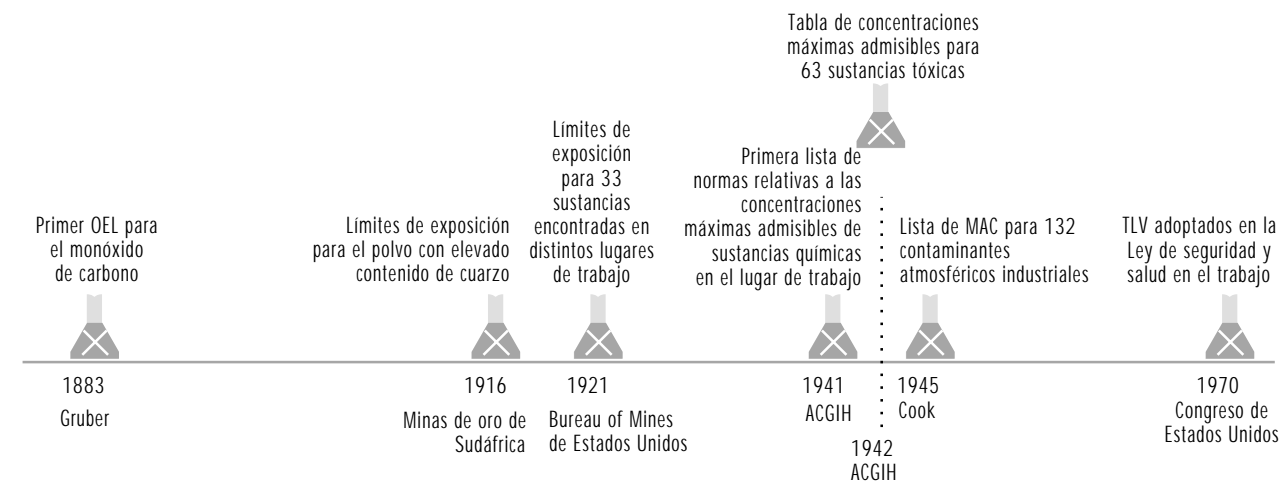
De forma paralela al desarrollo de los modelos farmacocinéticos, los epidemiólogos han explorado nuevos enfoques para el análisis

de los datos, como el "análisis del marco temporal" para relacionar períodos relevantes de exposición con determinados efectos, y para considerar la influencia de las pautas temporales en la exposición o las exposiciones pico dentro del campo de la epidemiología del cáncer profesional (Checkoway y Rice 1992). Desde el punto de vista conceptual, esta técnica está relacionada con los modelos farmacocinéticos, ya que la relación entre exposición y resultado se optimiza asignando coeficientes de ponderación a los diferentes períodos, pautas y niveles de exposición. En los modelos farmacocinéticos, se cree que estos coeficientes de ponderación tienen un significado fisiológico y se estiman por adelantado. En el análisis del marco temporal, los coeficientes de ponderación se estiman a partir de los datos aplicando criterios estadísticos. Hodgson y Jones (1990) ofrecen ejemplos de este método en su análisis de la relación entre la exposición al gas radón y el cáncer de pulmón en una cohorte de mineros del estaño en el Reino Unido. Seixas, Robins y Becker (1993) analizaron la relación entre la exposición al polvo y las enfermedades respiratorias en una cohorte de mineros del carbón en Estados Unidos. Un estudio muy interesante que pone de manifiesto la importancia del análisis del intervalo de tiempo es el realizado por Peto y cols. (1982). Estos autores demostraron que las tasas de mortalidad por mesotelioma en una cohorte de trabajadores de aislamientos parecían ser proporcionales a una función del tiempo transcurrido desde la primera exposición y la exposición acumulada. El tiempo transcurrido desde la primera exposición tenía especial relevancia, puesto que esta variable era una aproximación del tiempo necesario para que una fibra emigre de su lugar de depósito en los pulmones a la pleura. Este ejemplo demuestra que la cinética de depósito y migración determina en gran medida la función del riesgo. Un posible problema del análisis del marco temporal es que requiere información detallada sobre los períodos y niveles de exposición, lo cual dificulta su aplicación en muchos estudios de enfermedades crónicas.

### Comentarios finales

En conclusión, los principios en los que se basan los modelos farmacocinéticos y los análisis del marco temporal o el intervalo de tiempo son ampliamente aceptados. Los conocimientos en este campo se han utilizado principalmente para desarrollar estrategias de evaluación de la exposición. Sin embargo, para hacer un

Figura 30.9 • Cronología de los límites de exposición profesional (OEL).



uso más elaborado de estos métodos, se requiere un considerable esfuerzo de investigación. Por consiguiente, el número de aplicaciones es aún limitado. Las aplicaciones relativamente sencillas, como el desarrollo de estrategias óptimas de evaluación de la exposición en función del efecto, son las que más se utilizan. Una importante cuestión en el desarrollo de biomarcadores de la exposición o el efecto es la validación de estos índices. Con frecuencia se supone que un biomarcador cuantificable permite predecir los riesgos para la salud mejor que los métodos tradicionales. Lamentablemente, muy pocos estudios de validación justifican este supuesto.

## ● LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL

*Dennis J. Paustenbach*

### Historia de los límites de exposición profesional

En los últimos 40 años, muchas organizaciones de distintos países han propuesto límites de exposición profesional (OEL) para los contaminantes ambientales. Los límites o directrices que se han convertido gradualmente en los más aceptados en Estados Unidos y en la mayoría de los demás países son los que publica anualmente la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH), que se denominan valores límite umbral (TLV) (LaNier 1984; Cook 1986; ACGIH 1994).

Desde que se establecieron OEL para agentes potencialmente nocivos en el medio ambiente de trabajo, se ha demostrado repetidamente su utilidad (Stokinger 1970; Cook 1986; Doull 1994). La contribución de los OEL a la prevención o reducción al mínimo de las enfermedades profesionales es ahora un hecho ampliamente aceptado, pero durante muchos años estos límites no existían o no se respetaban (Cook 1945; Smyth 1956; Stokinger 1981; LaNier 1984; Cook 1986).

Ya en el siglo XV se sabía que el polvo y las sustancias químicas suspendidas en el aire podían causar enfermedades y lesiones, pero no estaba claro cuáles eran las concentraciones y duración de la exposición a las que se podía esperar que esto ocurriera (Ramazzini 1700).

Según Baetjer (1980): "A principios de este siglo, cuando la Dra. Alice Hamilton inició su distinguida carrera en la medicina del trabajo, no se tomaban muestras del aire ni existían límites, pero tampoco eran necesarios. La sola observación de las condiciones de trabajo y de las enfermedades y la muerte de trabajadores demostraban directamente que existían exposiciones nocivas. Sin embargo, la necesidad de establecer niveles para una exposición segura se hizo pronto evidente."

Los primeros intentos de establecer un OEL se centraron en el monóxido de carbono, el gas tóxico al que más personas están expuestos en su lugar de trabajo (para una cronología del desarrollo de los OEL, véase la Figura 30.9. El trabajo de Max Gruber en el Instituto de Higiene de Munich se publicó en 1883. En su artículo, describía la exposición de dos gallinas y doce conejos a concentraciones conocidas de monóxido de carbono durante un período de hasta 47 horas a lo largo de tres días; su conclusión fue que: "El límite para que se manifieste el efecto nocivo del monóxido de carbono se encuentra con toda probabilidad en una concentración de 500 partes por millón, pero con seguridad (en no menos de) 200 partes por millón." Para llegar a esta conclusión, el propio Gruber había inhalado monóxido de carbono. No presentó sensaciones ni síntomas molestos después de tres horas de exposición durante dos días

consecutivos a concentraciones de 210 partes por millón y 240 partes por millón (Cook 1986).

Las primeras y más extensas series de experimentos con animales sobre los límites de exposición fueron las realizadas por K.B. Lehmann y otros investigadores bajo su dirección. En una serie de publicaciones que hacían referencia a un período de 50 años, describieron sus estudios con amoníaco, cloruro de hidrógeno (gas), hidrocarburos clorados y muchas otras sustancias químicas (Lehmann 1886; Lehmann y Schmidt-Kehl 1936).

Kobert (1912) publicó una de las primeras tablas de límites de exposición aguda. Contenia las concentraciones correspondientes a 20 sustancias clasificadas como: (1) rápidamente mortales para el ser humano y los animales, (2) peligrosas en el plazo de media hora a una hora, (3) de media hora a una hora sin trastornos graves, y (4) sólo se observan síntomas mínimos. En su artículo "Interpretations of permissible limits", Schrenk (1947) observa que "los valores indicados para el ácido clorhídrico, el cianuro de hidrógeno, el amoníaco, el cloro y el bromo bajo el epígrafe 'sólo síntomas mínimos al cabo de varias horas' en el citado artículo de Kobert coinciden con los valores habitualmente aceptados en las actuales tablas de concentración máxima admisible (MACs) para exposiciones declaradas". Sin embargo, los valores correspondientes a algunos de los disolventes orgánicos más tóxicos, como el benceno, el tetracloruro de carbono y el disulfuro de carbono, superaban con creces a los que se aplicaron posteriormente (Cook 1986).

Una de las primeras tablas de límites de exposición elaboradas en Estados Unidos fue la publicada por el Bureau of Mines de Estados Unidos (Fieldner, Katz y Kenney 1921). Aunque su título no lo indica, las 33 sustancias enumeradas son las que se encuentran en los lugares de trabajo. Cook (1986) observó también que la mayoría de los límites de exposición establecidos durante el decenio de 1930, excepto para el polvo, se basaban en experimentos bastante cortos con animales. Una notable excepción fue el estudio sobre la exposición crónica al benceno realizado por Leonard Greenburg, del Public Health Service de Estados Unidos, bajo la dirección de un comité del National Safety Council (NSC 1926). De este trabajo se derivó una exposición aceptable para el ser humano basada en experimentos animales de larga duración.

Según Cook (1986), los límites admisibles para las exposiciones al polvo establecidos antes de 1920 se basaban en la exposición de los trabajadores de las minas de oro de Sudáfrica, donde el polvo generado por las operaciones de perforación tenía un elevado contenido de sílice libre cristalino. En 1916, se estableció un límite de exposición de 8,5 millones de partículas por pie cúbico de aire (mppcf) para el polvo con un contenido de cuarzo del 80 % al 90 % (Phthisis Prevention Committee 1916). Más adelante, el nivel se redujo a 5 mppcf. Cook señala también que, en Estados Unidos, las normas aplicadas para el polvo, basadas también en la exposición de los trabajadores, fueron recomendadas por Higgins y sus colaboradores después de realizar un estudio en las minas de cinc y plomo del suroeste de Missouri en 1917.

El nivel inicial establecido para el polvo con alto contenido de cuarzo era de diez mppcf, apreciablemente mayor que el establecido en los estudios sobre el polvo realizados posteriormente por el Public Health Service de Estados Unidos. En 1930, el Ministerio de Trabajo de la URSS publicó un decreto en el que se establecían concentraciones máximas admisibles para 12 sustancias industriales tóxicas.

La lista más completa de límites de exposición profesional hasta 1926 contenía 27 sustancias (Sayers 1927). En 1935, Sayers y Dalle Valle publicaron las respuestas fisiológicas a cinco concentraciones de 37 sustancias, siendo la quinta la concentración máxima admisible para exposiciones prolongadas.

Pais/Provincia	Tipo de norma
Argentina	Los OEL son esencialmente los mismos que los TLV establecidos por la ACGIH en 1978. La principal diferencia respecto de la lista de la ACGIH es que en ésta no se establecen STEL (límites de exposición para periodos cortos) para 144 sustancias (del total de 630), mientras que en Argentina, para esas sustancias, el valor que se aplica como TWA aparece también en la categoría de STEL.
Australia	El National Health and Medical Research Council (NHMRC) adoptó en 1952 una edición revisada de <i>Occupational Health Guide Threshold Limit Values (1990-97)</i> . Los OEL no tienen categoría legal en Australia, excepto cuando se incorporan específicamente en la ley por referencia. Los TLV de la ACGIH se publican en Australia como anexo a las guías de la salud en el trabajo, revisadas junto con las revisiones de la ACGIH en años impares.
Austria	Los valores recomendados por el Comité de Expertos de la Comisión de la Protección de los Trabajadores para la Evaluación de los Valores MAC (concentración máxima admisible), en cooperación con el Instituto General de Prevención de Accidentes del Sindicato de Trabajadores Químicos, son considerados obligatorios por el Ministerio Federal de Administración Social. Son responsables de su aplicación los Inspectores del Trabajo, de conformidad con la Ley de protección del trabajo.
Bélgica	La Administración de Higiene y Medicina del Trabajo del Ministerio de Empleo y Trabajo utiliza los TLV de la ACGIH como directriz.
Brasil	Desde 1978, se han utilizado los TLV de la ACGIH como base para la legislación brasileña sobre la salud en el trabajo. Como la semana laboral en Brasil es normalmente de 48 horas, los valores de la ACGIH se ajustaron de acuerdo con una fórmula desarrollada para este fin. La lista de la ACGIH fue adoptada sólo para los contaminantes ambientales que en ese momento tenían aplicación a escala nacional. El Ministerio de Trabajo ha actualizado los límites y ha establecido valores para otros contaminantes, de acuerdo con las recomendaciones de la Fundación Fundacentro de Seguridad y Medicina del Trabajo.
Canadá (y provincias)	Cada provincia tiene su propia normativa:
Alberta	Los OEL están regulados en la Ley de seguridad y salud en el trabajo, Reglamento sobre riesgos químicos, que exige al empresario que garantice que los trabajadores no estén expuestos por encima de esos límites.
Columbia Británica	Los Reglamentos sobre salud y seguridad industrial establecen requisitos legales aplicables a la mayor parte de la industria de la provincia, que hacen referencia a la lista actual de TLV para contaminantes ambientales publicada por la ACGIH.
Manitoba	El Departamento de Medio Ambiente y Seguridad y Salud en el Lugar de Trabajo es responsable de la legislación y de su aplicación con relación a los OEL. Las directrices que se utilizan actualmente para interpretar el riesgo para la salud son los TLV de la ACGIH, con la excepción de los cancerígenos, para los cuales se prescribe un nivel de exposición cero "en la medida en que sea razonablemente posible".
New Brunswick	Los límites aplicados corresponden a la última versión de la ACGIH y, en caso de infracción, es la versión publicada en el momento de la infracción la que dicta el cumplimiento.
Territorios del Noroeste	La División de Seguridad de los Territorios del Noroeste del Departamento de Justicia y Servicios regula la seguridad en el lugar de trabajo de los trabajadores no federales de acuerdo con la última edición de los TLV de la ACGIH.
Nueva Escocia	La lista de OEL es la misma que la de la ACGIH publicada en 1976, con sus posteriores modificaciones y revisiones.
Ontario	La normativa referente a una serie de sustancias peligrosas se aplica en virtud de la Ley de salud y seguridad en el trabajo y se publica en folletos distintos para cada sustancia, en los que se incluyen el nivel de exposición admisible y los códigos para los equipos respiratorios, las técnicas para medir las concentraciones ambientales y estrategias de control médico.
Quebec	Los niveles de exposición admisibles son similares a los TLV de la ACGIH y los niveles de exposición admisibles para los contaminantes ambientales en el lugar de trabajo son de obligado cumplimiento.
Chile	La concentración máxima de once sustancias que pueden causar efectos agudos, graves o fatales no puede superarse en ningún caso. Los valores límite establecidos en Chile coinciden con los TLV de la ACGIH, a los que se aplica un factor de 0,8 para considerar la semana laboral de 48 horas.
Dinamarca	Los OEL incluyen valores para 542 sustancias químicas y 20 sustancias particuladas. En general, la ley obliga a que estos límites no se superen como medias ponderadas en el tiempo. Los datos de la ACGIH se utilizan para definir los límites. Aproximadamente el 25 % de los valores son diferentes a los de la ACGIH, y casi todos estos son algo más estrictos.
Ecuador	Ecuador no ha incorporado a su legislación una lista de niveles de exposición admisibles. Los TLV de la ACGIH se utilizan como orientación para una buena práctica de la higiene industrial.
Finlandia	Los OEL se definen como las concentraciones que se consideran peligrosas al menos para algunos trabajadores expuestos durante largos periodos de tiempo. Mientras que la ACGIH tiene como principio que casi todos los trabajadores pueden verse expuestos a las sustancias por debajo del TLV sin padecer efectos adversos, el punto de vista en Finlandia es que cuando las exposiciones superan el valor límite, pueden producirse efectos perjudiciales para la salud.
Alemania	El valor MAC es "la concentración máxima admisible de un compuesto químico presente en el aire de una zona de trabajo (como gas, vapor, materia particulada) que, según los actuales conocimientos, no daña la salud de la mayoría de los trabajadores ni causa otras molestias. En estas condiciones, la exposición puede repetirse y prolongarse durante un periodo diario de ocho horas, considerando una semana laboral media de 40 horas (42 horas por semana como promedio durante cuatro semanas sucesivas para las empresas que tengan cuatro turnos de trabajo) (...). Se utilizan criterios fundamentados científicamente para la protección de la salud, antes de tener en cuenta su viabilidad técnica o económica."

Continúa en la página siguiente.



Pais/Provincia	Tipo de norma
Irlanda	En general se usan los TLV más recientes de la ACGIH. Sin embargo, la lista de la ACGIH no está incorporada en las leyes o reglamentos nacionales.
Países Bajos	Los valores MAC están tomados en gran parte de la lista de la ACGIH, así como de la República Federal de Alemania y el NIOSH. El valor MAC se define como la "concentración en la atmósfera del lugar de trabajo que, de acuerdo con los actuales conocimientos, en general no daña la salud de los trabajadores ni de su descendencia ni siquiera después de una exposición repetida de larga duración durante toda una vida laboral."
Filipinas	Se utilizan los TLV de la ACGIH de 1970, excepto 50 ppm para el cloruro de vinilo y 0,15 mg/m <sup>3</sup> para el plomo, los compuestos inorgánicos, el humo y el polvo.
Federación Rusa	La ex URSS estableció muchos de sus límites con el objetivo de eliminar cualquier posibilidad de efectos, aunque fueran reversibles. Estas respuestas subclínicas y plenamente reversibles a las exposiciones en el lugar de trabajo se han considerado, hasta la fecha, demasiado restrictivas en Estados Unidos y en la mayoría de los demás países. De hecho, debido a las dificultades económicas y técnicas para conseguir unos niveles tan bajos de contaminantes ambientales en el lugar de trabajo, existen pocos indicios de que estos límites se hayan alcanzado realmente en los países que los han adoptado. En cambio, los límites parecen servir más como objetivos idealizados que como límites cuyo logro suponga para los fabricantes una obligación legal y un compromiso moral.
Estados Unidos	Al menos seis grupos recomiendan límites de exposición aplicables en el lugar de trabajo: los TLV de la ACGIH, los Límites de Exposición Recomendada (REL) propuestos por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), los Límites de Exposición Ambiental en el Lugar de Trabajo (WEEL) desarrollados por la American Industrial Hygiene Association (AIHA), los límites para contaminantes ambientales en el lugar de trabajo propuestos por el Comité Z-37 del American National Standards Institute (EAL), las guías sobre el lugar de trabajo propuestas por la American Public Health Association (APHA 1991), y las recomendaciones de las administraciones locales, estatales o regionales. Además, el Departamento de Trabajo ha establecido unos límites de exposición admisibles (PEL) que tienen categoría de ley y que, por tanto, tienen que cumplirse obligatoriamente en el lugar de trabajo. La Occupational Safety and Health Administration (OSHA) es la responsable de hacer cumplir estos límites.

Fuente: Cook 1986.

Lehmann y Flury (1938) y Bowditch y cols. (1940) publicaron distintos artículos en los que presentaban tablas con un único valor para exposiciones repetidas a cada sustancia.

Muchos de los límites de exposición desarrollados por Lehmann se incluyeron en una monografía publicada por primera vez en 1927 por Henderson y Haggard (1943), y unos años después en el *Schadliche Gase* de Flury y Zernik (1931). Según Cook (1986), este libro se consideró la referencia autorizada sobre los efectos de gases, vapores y polvo nocivos en el lugar de trabajo, hasta que se publicó el segundo volumen del *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology* (1949).

Las primeras listas de límites relativos a la exposición química en la industria, llamados concentraciones máximas admisibles (ó MAC), se elaboraron en 1939 y 1940 (Baetjer 1980). Representaban el consenso de la American Standard Association y una serie de higienistas industriales que habían formado la ACGIH in 1938. Estos "límites propuestos" fueron publicados en 1943 por James Sterner. A principios de 1940, se reunió un comité de la ACGIH para emprender la tarea de identificar los niveles seguros de exposición a sustancias químicas en el lugar de trabajo, reuniendo todos los datos que pudieran relacionar el nivel de exposición a un agente tóxico con la probabilidad de que se produjera un efecto adverso (Stokinger 1981; LaNier 1984). La primera serie de valores fue publicada en 1941 por este comité, que estaba compuesto por Warren Cook, Manfred Boditch (según los informes, el primer higienista empleado por la industria en Estados Unidos), William Fredrick, Philip Drinker, Lawrence Fairhall y Alan Dooley (Stokinger 1981).

En 1941, un comité (denominado Z-37) de la American Standards Association, que más tarde se convirtió en el American National Standards Institute, estableció su primer límite de 100 ppm para el monóxido de carbono. En 1974, el comité había publicado ya boletines independientes sobre 33 límites de exposición a polvos y gases tóxicos.

En la reunión anual de la ACGIH en 1942, el recién creado Subcomité de Límites Umbral presentó en su informe una tabla de 63 sustancias tóxicas con las "concentraciones máximas admisibles de contaminantes atmosféricos", basadas en listas elaboradas por distintos servicios estatales de higiene industrial. El informe contenía la siguiente advertencia: "La tabla no debe interpretarse como expresión de las concentraciones seguras recomendadas. El material se presenta sin comentarios" (Cook 1986).

En 1945, Cook publicó una lista de 132 contaminantes ambientales industriales con sus concentraciones máximas admisibles, incluidos los valores establecidos en ese momento en seis estados, así como los valores recomendados para el control de enfermedades profesionales por los organismos federales y las concentraciones máximas admisibles que parecían mejor documentadas por las referencias a investigaciones originales (Cook 1986).

En la reunión anual de la ACGIH celebrada en 1946, el Subcomité de Límites Umbral presentó su segundo informe con valores para 131 gases, vapores, polvos, humos y nieblas, y 13 polvos minerales. Los valores se compilaban de la lista publicada por el subcomité en 1942, de la lista publicada por Warren Cook en *Industrial Medicine* (1945) y de los valores publicados por el Comité Z-37 de la American Standards Association. El comité insistió en que la "lista de valores CMA (M.A.C.) que se presenta... está sujeta a revisión anual".

### Uso previsto de los OEL

Los TLV de la ACGIH y la mayoría de los demás OEL utilizados en Estados Unidos y en otros países son límites que se refieren a las concentraciones ambientales de sustancias y representan condiciones en las que "se cree que casi todos los trabajadores pueden estar repetidamente expuestos día tras día sin efectos nocivos para la salud" (ACGIH 1994). (Véase Tabla 30.2)

En algunos países, el OEL corresponde a una concentración que garantiza la protección de prácticamente todo el mundo. Es importante reconocer que, a diferencia de algunos límites de exposición relativos a contaminantes ambientales, aguas contaminadas o aditivos alimentarios establecidos por otros grupos profesionales u organismos normativos, la exposición al TLV no previene necesariamente las molestias o lesiones para todas las personas expuestas (Adkins y cols. 1990). La ACGIH admitió hace tiempo que, debido a la gran variabilidad de la susceptibilidad individual, un pequeño porcentaje de trabajadores puede experimentar molestias debido a la presencia de algunas sustancias en concentración igual o inferior al límite umbral y que un porcentaje aún menor puede verse afectado más seriamente por el agravamiento de una enfermedad preexistente o por el desarrollo de una enfermedad profesional (Cooper 1973; ACGIH 1994). Así se señala claramente en la introducción al folleto anual de la ACGIH *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices* (ACGIH 1994).

Esta limitación, aunque quizás lejos de ser ideal, se considera práctica, ya que tradicionalmente se ha considerado que, por limitaciones técnicas o económicas, es inviable mantener unas concentraciones ambientales tan bajas como para proteger a las personas hipersensibles. Hasta cerca de 1990, esta limitación de los TLV no se había considerado grave. A la vista de las considerables mejoras logradas desde mediados del decenio de 1980 en la capacidad analítica, los instrumentos de vigilancia/muestreo del personal, las técnicas de control biológico y el uso de robots como control técnico fiable, estamos ahora tecnológicamente capacitados para considerar límites de exposición profesional más estrictos.

La información sobre cada TLV y su justificación se publica periódicamente en *Documentation of the Threshold Limit Values* (ACGIH 1995). Otros países publican de vez en cuando algún tipo de documentación sobre los OEL. Antes de interpretar o ajustar un límite de exposición, debe consultarse siempre la justificación o documentación del correspondiente OEL, así como los datos específicos que se consideraron para establecerlo (ACGIH 1994).

Los TLV se basan en la mejor información obtenida de la experiencia industrial y los estudios experimentales realizados con seres humanos y animales y, siempre que es posible, de una combinación de estas fuentes (Smith y Olishifski 1988; ACGIH 1994). La razón que justifica el establecimiento de determinados valores límite difiere según la sustancia. Por ejemplo, la protección contra eventuales daños para la salud puede ser un factor importante en algunos casos, mientras que en otros el criterio puede ser lograr una ausencia razonable de irritación, narcosis, molestias u otras formas de estrés. La antigüedad y la exhaustividad de la información que se utiliza como base para establecer los límites de exposición profesional varía también según la sustancia; en consecuencia, la precisión de cada TLV es diferente. Deben consultarse siempre los TLV más recientes y su documentación (o equivalente) para evaluar la calidad de los datos que sirvieron como base para establecer ese valor.

Aunque en todas las publicaciones que contienen OEL se insiste en que deben utilizarse únicamente para establecer niveles seguros de exposición de las personas en el lugar de trabajo, se han utilizado también en otras situaciones. Por esta razón, todos los límites de exposición deben ser interpretados y aplicados sólo por profesionales que tengan conocimientos de higiene industrial y toxicología. El Comité TLV (ACGIH 1994) no pretendía que se utilizaran, o se modificaran para ser utilizados:

- como índice relativo de riesgo o toxicidad;
- para evaluar la contaminación atmosférica fuera del lugar de trabajo;

- para estimar los riesgos de exposiciones continuas e interrumpidas o de otros períodos prolongados de trabajo ;
- como prueba para diagnosticar o destacar la presencia de una enfermedad o condición física;
- para ser adoptados en países cuyas condiciones de trabajo difieren de las de Estados Unidos.

El Comité TLV y otros grupos que establecen OEL advierten que estos valores no deben "utilizarse directamente" ni extrapolarse para predecir niveles seguros de exposición en otros entornos. No obstante, si se conocen los fundamentos científicos de los valores recomendados y los métodos correctos para extrapolar los datos, pueden utilizarse para predecir niveles admisibles de exposición para muchos tipos diferentes de situaciones de exposición y horarios de trabajo (ACGIH 1994; Hickey y Reist 1979).

**Principios y enfoques del establecimiento de límites de exposición**

Los TLV fueron establecidos en un principio sólo para ayudar a los higienistas industriales, a quienes se reconocía libertad de criterio para aplicar esos valores. No debían ser utilizados con fines jurídicos (Baetjer 1980). Sin embargo, en 1968, la Ley de contratos públicos de Walsh-Healey, en Estados Unidos, incorporó la lista de TLV de 1968, que incluía unas 400 sustancias químicas. En Estados Unidos, cuando se aprobó la Ley de salud y seguridad en el trabajo (Occupational Safety and Health Act, OSHA), se exigió que todos los límites fueran valores establecidos por consenso nacional o valores establecidos por el gobierno federal.

Los límites de exposición aplicados a los contaminantes ambientales en el lugar de trabajo se basan en la premisa de que, aunque todas las sustancias químicas son tóxicas en determinada concentración cuando la exposición a ellas se prolonga durante un cierto período de tiempo, existe una concentración (es decir, dosis) para todas las sustancias a la que no se produce ningún efecto nocivo, sea cual sea la frecuencia con que se repita la exposición. Una premisa similar se aplica a las sustancias cuyos efectos se limitan a irritación, narcosis, molestias y otras formas de estrés (Stokinger 1981; ACGIH 1994).

Figura 30.10 • Datos que suelen utilizarse para establecer un límite de exposición profesional.

**PROPIEDADES FÍSICAS**

- Liposolubilidad
- Hidrosolubilidad
- Presión de vapor
- Umbral olfativo

**DATOS SOBRE TOXICIDAD AGUDA**

- Toxicidad oral, LD50
- Toxicidad dérmica, LD50
- Irritación dérmica y ocular
- Toxicidad por inhalación, LC50

**DATOS SUBAGUDOS Y SUBCRONICOS (ORAL, DERMICO O POR INHALACION)**

- 14 días, NOEL
- 90 días, NOEL
- 6 meses, NOEL

**OTROS DATOS**

- Desarrollo (teratología y embriotoxicidad)
- Mutagenicidad (ensayo de Ames, Drosophila, etc.)
- Fertilidad
- Reproducción (3 generaciones)
- Estudio de reversibilidad
- Ensayo de absorción dérmica
- Farmacocinética
- Bioensayo de cáncer (2 años)

**DATOS EPIDEMIOLOGICOS**

- Morbilidad
- Mortalidad
- Historias clínicas

**DATOS SOBRE LA EXPOSICION PARA LA HIGIENE INDUSTRIAL**

- Muestras ambientales
- Muestras personales

Estos principios difieren por tanto de los aplicados a agentes físicos como la radiación ionizante y a algunos cancerígenos químicos, puesto que no siempre existe un umbral o dosis con riesgo cero (Stokinger 1981). El concepto del efecto umbral es motivo de controversia y existen científicos de prestigio que se manifiestan tanto a favor como en contra de las teorías al respecto (Seiler 1977; Watanabe y cols. 1980; Stott y cols. 1981; Butterworth y Slaga 1987; Bailer y cols. 1988; Wilkinson 1988; Bus y Gibson 1994). Teniendo esto en cuenta, algunos límites de exposición profesional propuestos por distintos organismos normativos a principios del decenio de 1980 corresponden a niveles que, aunque no garantizan una ausencia completa de riesgos, estos riesgos no son mayores que los riesgos profesionales clásicos, como electrocuciones, caídas, etc. Incluso en lugares de trabajo en los que no se utilizan sustancias químicas industriales, el riesgo global de sufrir una lesión fatal es casi de uno por mil. Este es el razonamiento que se ha utilizado para justificar la elección de este criterio de riesgo teórico de cáncer para establecer los TLV aplicados a cancerígenos químicos (Rodricks, Brett y Wrenn 1987; Travis y cols. 1987).

Los límites de exposición profesional establecidos tanto en Estados Unidos como en otros países se derivan de una gran variedad de fuentes. Los TLV de 1968 (adoptados por la OSHA en 1970 como legislación federal) se basaban principalmente en la experiencia humana. Esta observación puede sorprender a muchos higienistas que han empezado a ejercer su profesión hace poco, puesto que indica que, en la mayoría de los casos, los límites de exposición se han establecido después de haber comprobado que una sustancia es tóxica, irritante o produce otros efectos no deseados en el ser humano. Como cabría esperar, muchos de los límites de exposición más recientes para las toxinas sistémicas, especialmente los límites internos establecidos por los fabricantes, se han basado principalmente en ensayos de toxicología realizados en animales, en lugar de esperar a observar efectos adversos en los trabajadores expuestos (Paustenbach y Langner 1986). Sin embargo, ya en 1945, el Comité TLV reconoció el valor de los experimentos animales que, de hecho, constituyen la segunda fuente de información más común en la que se han basado estas directrices (Stokinger 1970).

En los últimos 40 años se han propuesto y utilizado diversos enfoques para deducir OEL a partir de datos obtenidos en animales. El enfoque aplicado por el Comité TLV y otros organismos no difiere significativamente del utilizado por la Food and Drug Administration (FDA) de Estados Unidos para establecer la dosis diaria admisible de aditivos alimentarios. Los higienistas industriales que tienen que interpretar los OEL pueden extraer conclusiones útiles del enfoque aplicado por la FDA para establecer los límites de exposición a aditivos alimentarios y contaminantes (Dourson y Stara 1983).

Se han descrito también los enfoques metodológicos que pueden aplicarse para establecer los límites de exposición en el lugar de trabajo basándose exclusivamente en los datos obtenidos con animales (Weil 1972; OMS 1977; Zielhuis y van der Kreek 1979a, 1979b; Calabrese 1983; Dourson y Stara 1983; Leung y Paustenbach 1988a; Finley y cols. 1992; Paustenbach 1995). Aunque estos enfoques implican cierto grado de incertidumbre, parecen ser mucho mejores que la extrapolación cualitativa al ser humano de los resultados obtenidos en experimentos con animales.

Aproximadamente el 50 % de los TLV de 1968 se derivaron de datos humanos y el 30 % de datos animales. En 1992, casi el 50 % se derivaron principalmente de datos animales. Los criterios utilizados para establecer los TLV pueden clasificarse en cuatro grupos: morfológicos, funcionales, bioquímicos y varios (molestias, cosméticos). De los TLV basados en datos humanos,

la mayoría se derivan de los efectos observados en trabajadores que estuvieron expuestos a la sustancia durante muchos años. En consecuencia, la mayoría de los TLV actuales se han basado en los resultados de las mediciones en el lugar de trabajo y en observaciones cualitativas y cuantitativas de la respuesta humana (Stokinger 1970; Park y Snee 1983). Los TLV establecidos recientemente para nuevas sustancias químicas se han basado principalmente en los resultados de estudios animales, más que en la experiencia humana (Leung y Paustenbach 1988b; Leung y cols. 1988).

En 1968, sólo la mitad de los TLV estaban destinados principalmente a prevenir efectos tóxicos sistémicos. Aproximadamente el 40 % se basaban en la irritación y cerca del 2 % tenían como objetivo la prevención del cáncer. En 1993, aproximadamente el 50 % pretendían prevenir efectos sistémicos, el 35 % prevenir irritación y el 5 % prevenir el cáncer. En la Figura 30.10 se ofrece un resumen de los datos que suelen utilizarse para establecer los OEL.

#### **Límites para los irritantes**

Hasta 1975, los OEL destinados a prevenir la irritación se basaban principalmente en experimentos humanos. Desde entonces, se han desarrollado varios modelos animales experimentales (Kane y Alarie 1977; Alarie 1981; Abraham y cols. 1990; Nielsen 1991). También se ha utilizado otro modelo basado en las propiedades químicas para establecer OEL preliminares referentes a bases y ácidos orgánicos (Leung y Paustenbach 1988).

#### **Límites para los cancerígenos**

En 1972, el Comité de la ACGIH empezó a distinguir entre cancerígenos humanos y animales en su lista de TLV. Según Stokinger (1977), uno de los motivos de esta distinción era ayudar a que los participantes en los debates (representantes sindicales, trabajadores y opinión pública) se centraran en aquellas sustancias químicas a las que era más probable que se produjeran exposiciones en el lugar de trabajo.

#### **¿Garantizan los TLV protección suficiente a los trabajadores?**

En 1988, muchas personas empezaron a expresar preocupación por el grado de protección de la salud que ofrecían los TLV. La pregunta clave que se planteaba era la siguiente, ¿qué porcentaje de la población activa está verdaderamente protegida contra los efectos nocivos para la salud cuando está expuesta a un TLV?

Castleman y Ziem (1988) y Ziem y Castleman (1989) afirmaron que los criterios científicos utilizados para establecer los límites eran inadecuados y que habían sido elaborados por higienistas con intereses creados en los sectores que pretendían regular.

Estos artículos generaron una gran polémica, tanto en contra como en defensa del trabajo de la ACGIH (Finklea 1988; Paustenbach 1990a, 1990b, 1990c; Tarlau 1990).

En un estudio de seguimiento realizado por Roach y Rappaport (1990), se intentó cuantificar el margen de seguridad y la validez científica de los TLV. Los autores concluyeron que existían graves incoherencias entre los datos científicos disponibles y la interpretación realizada en *Documentation* por el Comité TLV en 1976. Señalaron también que los TLV reflejaban probablemente lo que el Comité percibía como realista y factible en ese momento. Tanto los análisis de Roach y Rappaport como los de Castleman y Ziem han sido respondidos por la ACGIH, que ha insistido en la inexactitud de sus críticas.

Aunque el mérito de los análisis de Roach y Rappaport y de Ziem y Castleman seguirá siendo objeto de debate durante varios años, es evidente que el proceso mediante el cual se establecerán los TLV y otros OEL probablemente nunca volverá a

ser el mismo que el aplicado entre 1945 y 1990. Es posible que en los próximos años, la justificación y el riesgo inherente de un TLV se describan más explícitamente en la documentación de cada uno de estos valores. También es cierto que la definición de "prácticamente seguro" o "riesgo insignificante" con respecto a la exposición en el lugar de trabajo cambiará a medida que cambien los valores de la sociedad (Paustenbach 1995, 1997).

El grado de reducción que sin duda se producirá en los TLV y otros OEL en los próximos años variará en función del tipo de efecto nocivo para la salud que se intente prevenir (depresión del sistema nervioso central, toxicidad aguda, olor, irritación, efectos en el desarrollo, u otros). No está claro en qué medida se basará el Comité TLV en modelos predictivos de la toxicidad ni qué criterios de riesgo adoptará de cara al nuevo siglo.

### Normas y horarios de trabajo no tradicionales

El efecto del trabajo por turnos en la capacidad, longevidad, mortalidad y bienestar general de los trabajadores no se conoce todavía con exactitud. En algunos sectores se han introducido los llamados turnos y horarios de trabajo no tradicionales para intentar eliminar, o al menos reducir, algunos de los problemas causados por el trabajo por turnos normal, que consiste en tres turnos de ocho horas al día. Un tipo de horario de trabajo que se califica de no tradicional es el que establece períodos de trabajo que duran más de ocho horas y un número variable de días laborales a la semana (por ejemplo, jornadas de 12 horas, tres días a la semana). Otro tipo de horario de trabajo no tradicional implica en una serie de exposiciones breves al agente químico o físico durante un determinado horario de trabajo (por ejemplo, un horario en el que una persona está expuesta a una sustancia química durante 30 minutos, cinco veces al día, dejando que transcurra una hora entre dos exposiciones sucesivas). La última categoría de horario no tradicional es el "caso crítico" de personas que se ven continuamente expuestas a un contaminante ambiental (por ejemplo, naves espaciales, submarinos).

Las semanas laborales comprimidas constituyen un tipo de horario de trabajo no tradicional que se ha utilizado principalmente en sectores no industriales. Se trata de un trabajo a tiempo completo (casi 40 horas semanales) que se realiza en menos de cinco días a la semana. En la actualidad existen muchos tipos de horarios comprimidos, pero los más comunes son los siguientes: (a) cuatro días de trabajo a la semana con jornadas de diez horas; (b) tres días de trabajo a la semana con jornadas de 12 horas; (c) cuatro días y medio de trabajo a la semana con jornadas de nueve horas y un día con jornada de cuatro horas (normalmente el viernes), y (d) el plan cinco/cuatro nueve que consiste en alternar semanas de cinco y cuatro días de trabajo con jornadas de nueve horas (Nollen y Martin 1978; Nollen 1981).

Los trabajadores que tienen un horario de trabajo no tradicional representan sólo el 5 % de la población activa. De ellos, sólo entre 50.000 y 200.000 norteamericanos que trabajan con horarios de trabajo no tradicionales lo hacen en industrias en las que están expuestos rutinariamente a niveles significativos de sustancias químicas en suspensión en el aire. En Canadá, se cree que el porcentaje de trabajadores de la industria química con horario de trabajo no tradicional es mayor (Paustenbach 1994).

### Un enfoque para establecer OEL internacionales

Como señala Lundberg (1994), un reto que tienen por delante todos los comités nacionales es identificar un enfoque científico común para establecer OEL. Los proyectos internacionales conjuntos resultan ventajosos para las partes implicadas, puesto que la redacción de documentos, estableciendo criterios es un proceso que consume tiempo y dinero (Paustenbach 1995).

Esta fue la idea cuando el Consejo de Ministros de los Estados Nórdicos decidió en 1977 establecer el Grupo de Expertos Nórdicos. La tarea que se encomendó a este grupo fue la de elaborar documentos basados en criterios científicos que sirvieran como base común a los organismos normativos de los cinco países nórdicos (Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia) para establecer los OEL. Los documentos elaborados por el Grupo de Expertos dieron lugar a la definición de un efecto crítico y de relaciones dosis-respuesta y dosis-efecto. El efecto crítico es el efecto adverso que se produce con el nivel más bajo de exposición. No se analizan los factores de seguridad ni se propone un OEL numérico. Desde 1987, el Grupo de Expertos Nórdicos publica estos documentos todos los años también en inglés.

Lundberg (1994) ha propuesto un enfoque normalizado que todos los distritos deberían utilizar. Según su propuesta, debe elaborarse un documento con las siguientes características:

- Un documento con criterios normalizados debe reflejar los conocimientos actualizados que se han publicado en la bibliografía científica.
- La bibliografía utilizada como referencia debe estar compuesta preferiblemente por artículos científicos revisados por la comunidad científica y, si no, al menos que hayan sido publicados. No deben utilizarse las comunicaciones personales. La transparencia ante el público en general y, especialmente, ante los trabajadores, reducirá el tipo de recelos que últimamente han suscitado los documentos publicados por la ACGIH.
- El comité científico debe estar constituido por científicos independientes procedentes del ámbito académico o del sector público. Si el comité cuenta entre sus miembros con representantes científicos de la industria, tanto los empresarios como los trabajadores deben estar representados.
- Todos los estudios epidemiológicos y experimentales pertinentes deben ser analizados con detenimiento por el comité científico, especialmente los "estudios clave" que ofrezcan datos sobre el efecto crítico. Deben describirse todos los efectos observados.
- Deben estudiarse las posibilidades de control ambiental y biológico. También deben analizarse a fondo estos datos, incluidos los datos toxicocinéticos.
- Deben facilitarse los datos que permitan establecer las relaciones entre dosis-respuesta y dosis-efecto. En la conclusión debe establecerse el nivel de efecto no observable o el nivel más bajo con efecto observado (LOEL) para cada efecto observado. En caso necesario, deberán explicarse las razones por las que determinado efecto es el efecto crítico. De esta forma, se tiene en cuenta la importancia toxicológica de un efecto.
- Deben describirse específicamente las propiedades mutagénicas, cancerígenas y teratogénicas, así como los efectos alérgicos e inmunológicos.
- Debe facilitarse una lista de referencias para todos los estudios descritos. Si en el documento se especifica que sólo se han utilizado estudios relacionados con el tema, no será preciso facilitar una lista de referencias no utilizadas ni explicar la razón de que no se hayan utilizado. Por otra parte, puede ser interesante indicar las bases de datos que se han utilizado para buscar la bibliografía.

En la práctica, existen sólo pequeñas diferencias en la forma en que se establecen los OEL en distintos países. Por consiguiente, debería ser relativamente fácil llegar a un acuerdo sobre las características de un documento de criterios normalizado que contenga información clave. Desde este punto de vista, la decisión sobre la amplitud del margen de seguridad incorporado en el límite debería tomarse en el ámbito de la política nacional.

## Referencias

- Abraham, MH, GS Whiting, Y Alarie et al. 1990. Hydrogen bonding 12. A new QSAR for upper respiratory tract irritation by airborne chemicals in mice. *Quant Struct Activity Relat* 9:6-10.
- Adkins, LE et al. 1990. Letter to the Editor. *Appl Occup Environ Hyg* 5(11):748-750.
- Alarie, Y. 1981. Dose response analysis in animal studies: Prediction of human responses. *Environ Health Persp* 42:9-13.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1994. *1993-1994 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*. Cincinnati: ACGIH.
- . 1995. *Documentation of Threshold Limit Values*. Cincinnati: ACGIH.
- Baetjer, AM. 1980. The early days of industrial hygiene: Their contribution to current problems. *Am Ind Hyg Assoc J* 41:773-777.
- Bailer, JC, EAC Crouch, R Shaikh, D Spiegelman. 1988. One-hit models of carcinogenesis: Conservative or not? *Risk Anal* 8:485-490.
- Bogers, M, LM Appelman, VJ Feron, et al. 1987. Effects of the exposure profile on the inhalation toxicity of carbon tetrachloride in male rats. *J Appl Toxicol* 7:185-191.
- Boleij, JSM, E Buringh, D Heederik, H Kromhour. 1995. *Occupational Hygiene for Chemical and Biological Agents*. Amsterdam: Elsevier.
- Bouyer, J, D Hémon. 1993. Studying the performance of a job exposure matrix. *Int J Epidemiol* 22(6) Suppl. 2:S65-S71.
- Bowditch, M, DK Drinker, P Drinker, HH Haggard, A Hamilton. 1940. Code for safe concentrations of certain common toxic substances used in industry. *J Ind Hyg Toxicol* 22:251.
- Burdorf, A. 1995. *Certification of Occupational Hygienists—A Survey of Existing Schemes Throughout the World*. Estocolmo: International Occupational Hygiene Association (IOHA).
- Bus, JS, JE Gibson. 1994. Body defense mechanisms to toxicant exposure. En *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, dirigido por RL Harris, L Cralley y LV Cralley. Nueva York: Wiley.
- Butterworth, BE, T Slaga. 1987. *Nongenotoxic Mechanisms in Carcinogenesis: Banbury Report 25*. Cold Spring Harbor, Nueva York: Cold Spring Harbor Laboratory.
- Calabrese, EJ. 1983. *Principles of Animal Extrapolation*. Nueva York: Wiley.
- Casarett, LJ. 1980. En *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*, dirigido por J Doull, CD Klaassen, y MO Amdur. Nueva York: Macmillan.
- Castleman, BI, GE Ziem. 1988. Corporate Influence on Threshold Limit Values. *Am J Ind Med* 13(5).
- Comité Européen de Normalisation (CEN). 1994. *Workplace Atmospheres—Guidance for the Assessment of Exposure to Chemical Agents for Comparison With Limit Values and Measurement Strategy*. EN 689, preparado por el Comité Técnico 137 del CEN. Bruselas: CEN.
- Cook, WA. 1945. Maximum allowable concentrations of industrial contaminants. *Ind Med* 14(11):936-946.
- . 1986. *Occupational Exposure Limits—Worldwide*. Akron, Ohio: American Industrial Hygiene Association (AIHA).
- Cooper, WC. 1973. Indicators of susceptibility to industrial chemicals. *J Occup Med* 15(4):355-359.
- Corn, M. 1985. Strategies for air sampling. *Scand J Work Environ Health* 11:173-180.
- Checkoway, H, CH Rice. 1992. Time-weighted averages, peaks, and other indices of exposure in occupational epidemiology. *Am J Ind Med* 21:25-33.
- Dinardi, SR. 1995. *Calculation Methods for Industrial Hygiene*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold.
- Doull, J. 1994. The ACGIH Approach and Practice. *Appl Occup Environ Hyg* 9(1):23-24.
- Dourson, MJ, JF Stara. 1983. Regulatory history and experimental support of uncertainty (safety) factors. *Regul Toxicol Pharmacol* 3:224-238.
- Droz, PO. 1991. Quantification of concomitant biological and air monitoring results. *Appl Ind Hyg* 6:465-474.
- . 1992. Quantification of biological variability. *Ann Occup Health* 36:295-306.
- Fieldner, AC, SH Katz, SP Kenney. 1921. *Gas Masks for Gases Met in Fighting Fires*. Bulletin No. 248. Pittsburgh: USA Bureau of Mines.
- Finklea, JA. 1988. Threshold limit values: A timely look. *Am J Ind Med* 14:211-212.
- Finley, B, D Proctor, DJ Paustenbach. 1992. An alternative to the USEPA's proposed inhalation reference concentration for hexavalent and trivalent chromium. *Regul Toxicol Pharmacol* 16:161-176.
- Fiserova-Bergerova, V. 1987. Development of using BEIs and their implementation. *Appl Ind Hyg* 2(2):87-92.
- Flury, F, F Zernik. 1931. *Schadliche Gase, Dampfe, Nebel, Rauch-und Staubarten*. Berlin: Springer.
- Goldberg, M, H Kromhout, P Guénel, AC Fletcher, M Gérin, DC Glass, D Heederik, T Kauppinen, A Ponti. 1993. Job exposures matrices in industry. *Int J Epidemiol* 22(6) Suppl. 2:S10-S15.
- Gressel, MG, JA Gideon. 1991. An overview of process hazard evaluation techniques. *Am Ind Hyg Assoc J* 52(4):158-163.
- Henderson, Y, HH Haggard. 1943. *Noxious Gases and the Principles of Respiration Influencing their Action*. Nueva York: Reinhold.
- Hickey, JLS, PC Reist. 1979. Adjusting occupational exposure limits for moonlighting, overtime, and environmental exposures. *Am Ind Hyg Assoc J* 40:727-734.
- Hodgson, JT, RD Jones. 1990. Mortality of a cohort of tin miners 1941-1986. *Br J Ind Med* 47:665-676.
- Holzner, CL, RB Hirsh, JB Perper. 1993. Managing workplace exposure information. *Am Ind Hyg Assoc J* 54(1):15-21.
- Houba, R, D Heederik, G Doekes, PEM van Run. 1996. Exposure sensitization relationship for alpha-amylase allergens in the baking industry. *Am J Resp Crit Care Med* 154(1):130-136.
- International Congress on Occupational Health (ICOH). 1985. Invited lectures of the XXI International Congress on Occupational Health, Dublin. *Scand J Work Environ Health* 11(3):199-206.
- Jacobs, RJ. 1992. Strategies to recognize biological agents in the work environment and possibilities for setting standards for biological agents. 1ª Conferencia científica internacional de la IOHA, Bruselas, Bélgica, 7-9 diciembre 1992.
- Jahr, J. 1974. Dose-response basis for setting a quartz threshold limit value. *Arch Environ Health* 9:338-340.
- Kane, LE, Y Alarie. 1977. Sensory irritation to formaldehyde and acrolein during single and repeated exposures in mills. *Am Ind Hyg Assoc J* 38:509-522.
- Kobert, R. 1912. The smallest amounts of noxious industrial gases which are toxic and the amounts which may perhaps be endured. *Comp Pract Toxicol* 5:45.
- Kromhout, H, E Symanski, SM Rappaport. 1993. Comprehensive evaluation of within-and between-worker components of occupational exposure to chemical agents. *Ann Occup Hyg* 37:253-270.
- LaNier, ME. 1984. *Threshold Limit Values: Discussion and 35 Year Index with Recommendations (TLVs: 1946-81)*. Cincinnati: ACGIH.
- Lehmann, KB. 1886. Experimentelle Studien über den Einfluss Technisch und Hygienisch Wichtiger Gase und Dampfe auf Organismus: Ammoniak und Salzsäuregas. *Arch Hyg* 5:1-12.
- Lehmann, KB, F Flury. 1938. *Toxikologie und Hygiene der Technischen Lösungsmittel*. Berlin: Springer.
- Lehmann, KB, L Schmidt-Kehl. 1936. Die 13 Wichtigsten Chlorkohlenwasserstoffe der Fettreihe vom Standpunkt der Gewerbehygiene. *Arch Hyg Bakteriol* 116:131-268.
- Leidel, NA, KA Busch, JR Lynch. 1977. *NIOSH Occupational Exposure Sampling Strategy Manual*. Washington, DC: NIOSH.
- Leung, HW, DJ Paustenbach. 1988a. Setting occupational exposure limits for irritant organic acids and bases based on their equilibrium dissociation constants. *Appl Ind Hyg* 3:115-118.
- . 1988b. Application of pharmacokinetics to derive biological exposure indexes from threshold limit values. *Amer Ind Hyg Assoc J* 49:445-450.
- Leung, HW, FJ Murray, DJ Paustenbach. 1988. A proposed occupational exposure limit for 2, 3, 7, 8 - TCDD. *Amer Ind Hyg Assoc J* 49:466-474.
- Lundberg, P. 1994. National and international approaches to occupational standard setting within Europe. *Appl Occup Environ Hyg* 9:25-27.
- Lynch, JR. 1995. Measurement of worker exposure. En *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, dirigido por RL Harris, L Cralley y LV Cralley. Nueva York: Wiley.
- Maslansky, CJ, SP Maslansky. 1993. *Air Monitoring Instrumentation*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold.
- Menzel, DB. 1987. Physiological pharmacokinetic modelling. *Environ Sci Technol* 21:944-950.
- Miller, FJ, JH Overton. 1989. Critical issues in intra- and interspecies dosimetry of ozone. En *Atmospheric Ozone Research and Its Policy Implications*, dirigido por T Schneider, SD Lee, GJR Wolters, y LD Grant. Amsterdam: Elsevier.
- National Academy of Sciences (NAS) y National Research Council (NRC). 1983. *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*. Washington, DC: NAS.
- National Safety Council (NSC). 1926. *Final Report of the Committee of the Chemical and Rubber Sector on Benzene*. Washington, DC: National Bureau of Casualty and Surety Underwriters.
- Ness, SA. 1991. *Air Monitoring for Toxic Exposures*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold.
- Nielsen, GD. 1991. Mechanisms of activation of the sensory irritant receptor. *CRC Rev Toxicol* 21:183-208.
- Nollen, SD. 1981. The compressed workweek: Is it worth the effort? *Ing Eng* :58-63.
- Nollen, SD, VH Martin. 1978. *Alternative Work Schedules. Part 3: The Compressed Workweek*. Nueva York: AMACOM.
- Olishifski, JB. 1988. Administrative and clinical aspects in the chapter Industrial Hygiene. En *Occupational Medicine: Principles and Practical Applications*, dirigido por C Zenz. Chicago: Year Book Medical.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1977. *Methods used in Establishing Permissible Levels in Occupational Exposure to Harmful Agents*. Technical Report No. 601. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo (OIT).
- . 1992a. *Our Planet, Our Health*. Report of the WHO Commission on Health and Environment. Ginebra: OMS.

- . 1992b. *Occupational Hygiene in Europe: Development of the Profession*. European Occupational Health Series No. 3. Copenhague: Oficina Regional de la OMS para Europa.
- Panett, B, D Coggon, ED Acheson. 1985. Job exposure matrix for use in population based studies in England and Wales. *Br J Ind Med* 42:777-783.
- Park, C, R Snee. 1983. Quantitative risk assessment: State of the art for carcinogenesis. *Fund Appl Toxicol* 3:320-333.
- Patty, FA. 1949. *Industrial Hygiene and Toxicology*. Vol. II. New York: Wiley.
- Paustenbach, DJ. 1990a. Health risk assessment and the practice of industrial hygiene. *Am Ind Hyg Assoc J* 51:339-351.
- . 1990b. Occupational exposure limits: Their critical role in preventative medicine and risk management. *Am Ind Hyg Assoc J* 51:A332-A336.
- . 1990c. What Does the Risk Assessment Process Tell us about the TLVs? Presentado en la Conferencia conjunta de 1990 sobre higiene industrial. Vancouver, BC, 24 octubre.
- . 1994. Occupational exposure limits, pharmacokinetics, and unusual workshifts. En *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. Vol. IIIa (4th edn.). Nueva York:Wiley.
- . 1995. The practice of health risk assessment in the United States (1975-1995): How the US and other countries can benefit from that experience. *Hum Ecol Risk Assess* 1:29-79.
- . 1997. OSHA's program for updating the permissible exposure limits (PELs): Can risk assessment help "move the ball forward"? *Risk in Perspectives* 5(1):1-6. Harvard University School of Public Health.
- Paustenbach, DJ, RR Langner. 1986. Setting corporate exposure limits: State of the art. *Am Ind Hyg Assoc J* 47:809-818.
- Peto, J, H Seidman, IJ Selikoff. 1982. Mesothelioma mortality in asbestos workers: implications for models of carcinogenesis and risk assessment. *Br J Cancer* 45:124-134.
- Phthisis Prevention Committee. 1916. *Report of Miners*. Johannesburg: Phthisis Prevention Committee.
- Post, WK, D Heederik, H Kromhout, D Kromhout. 1994. Occupational exposures estimated by a population specific job-exposure matrix and 25-year incidence rate of chronic non-specific lung disease (CNSLD): The Zutphen Study. *Eur Resp J* 7:1048-1055.
- Ramazzini, B. 1700. *De Morbis Atrificum Diatriba [Diseases of Workers]*. Chicago: The Univ. of Chicago Press.
- Rappaport, SM. 1985. Smoothing of exposure variability at the receptor: Implications for health standards. *Ann Occup Hyg* 29:201-214.
- . 1991. Assessment of long-term exposures to toxic substances in air. *Ann Occup Hyg* 35:61-121.
- . 1995. Interpreting levels of exposures to chemical agents. En *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, dirigido por RL Harris, L Cralley, y LV Cralley. Nueva York: Wiley.
- Rappaport, SM, E Symanski, JW Yager, LL Kupper. 1995. The relationship between environmental monitoring and biological markers in exposure assessment. *Environ Health Persp* 103 Suppl. 3:49-53.
- Renes, LE. 1978. The industrial hygiene survey and personnel. En *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, dirigido por GD Clayton y FE Clayton. Nueva York: Wiley.
- Roach, SA. 1966. A more rational basis for air sampling programmes. *Am Ind Hyg Assoc J* 27:1-12.
- . 1977. A most rational basis for air sampling programmes. *Am Ind Hyg Assoc J* 20:67-84.
- Roach, SA, SM Rappaport. 1990. But they are not thresholds: A critical analysis of the documentation of threshold limit values. *Am J Ind Med* 17:727-753.
- Rodricks, JV, A Brett, G Wrenn. 1987. Significant risk decisions in federal regulatory agencies. *Regul Toxicol Pharmacol* 7:307-320.
- Rosen, G. 1993. PIMEX-combined use of air sampling instruments and video filming: Experience and results during six years of use. *Appl Occup Environ Hyg* 8(4).
- Rylander, R. 1994. Causative agents for organic dust related disease: Proceedings of an international workshop, Sweden. *Am J Ind Med* 25:1-11.
- Sayers, RR. 1927. Toxicology of gases and vapors. En *International Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Toxicology*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Schrenk, HH. 1947. Interpretation of permissible limits. *Am Ind Hyg Assoc Q* 8:55-60.
- Seiler, JP. 1977. Apparent and real thresholds: A study of two mutagens. En *Progress in Genetic Toxicology*, dirigido por D Scott, BA Bridges y FH Sobels. Nueva York: Elsevier Biomedical.
- Seixas, NS, TG Robins, M Becker. 1993. A novel approach to the characterization of cumulative exposure for the study of chronic occupational disease. *Am J Epidemiol* 137:463-471.
- Smith, RG, JB Olishifski. 1988. Industrial toxicology. En *Fundamentals of Industrial Hygiene*, dirigido por JB Olishifski. Chicago: National Safety Council.
- Smith, TJ. 1985. Development and application of a model for estimating alveolar and interstitial dust levels. *Ann Occup Hyg* 29:495-516.
- . 1987. Exposure assessment for occupational epidemiology. *Am J Ind Med* 12:249-268.
- Smyth, HF. 1956. Improved communication: Hygienic standard for daily inhalation. *Am Ind Hyg Assoc Q* 17:129-185.
- Stokinger, HE. 1970. Criteria and procedures for assessing the toxic responses to industrial chemicals. En *Permissible Levels of Toxic Substances in the Working Environment*. Ginebra: OIT.
- . 1977. The case for carcinogen TLV's continues strong. *Occup Health Safety* 46 (March-April):54-58.
- . 1981. Threshold limit values: Part I. *Dang Prop Ind Mater Rep* (May-June):8-13.
- Stott, WT, RH Reitz, AM Schumann, PG Watanabe. 1981. Genetic and nongenetic events in neoplasia. *Food Cosmet Toxicol* 19:567-576.
- Suter, AH. 1993. Noise and conservation of hearing. En *Hearing Conservation Manual*. Milwaukee, Wisc: Council for Accreditation in Occupational Hearing Conservation.
- Tait, K. 1992. The Workplace Exposure Assessment Expert System (WORK SPERT). *Am Ind Hyg Assoc J* 53(2):84-98.
- Tarlau, ES. 1990. Industrial hygiene with no limits. A guest editorial. *Am Ind Hyg Assoc J* 51:A9-A10.
- Travis, CC, SA Richter, EA Crouch, R Wilson, E Wilson. 1987. Cancer risk management: A review of 132 federal regulatory decisions. *Environ Sci Technol* 21(5):415-420.
- Watanabe, PG, RH Reitz, AM Schumann, MJ McKenna, PJ Gehring. 1980. Implications of the mechanisms of tumorigenicity for risk assessment. En *The Scientific Basis of Toxicity Assessment*, dirigido por M Witschi. Amsterdam: Elsevier.
- Wegman, DH, EA Eisen, SR Woskie, and X Hu. 1992. Measuring exposure for the epidemiologic study of acute effects. *Am J Ind Med* 21:77-89.
- Weil, CS. 1972. Statistics versus safety factors and scientific judgment in the evaluation of safety for man. *Toxicol Appl Pharmacol* 21:454-463.
- Wilkinson, CF. 1988. Being more realistic about chemical carcinogenesis. *Environ Sci Technol* 9:843-848.
- Wong, O. 1987. An industry wide mortality study of chemical workers occupationally exposed to benzene. II Dose-response analyses. *Br J Ind Med* 44:382-395.
- World Commission on Environment and Development (WCED). 1987. *Our Common Future*. Brundtland Report. Oxford: OUP.
- Zielhuis, RL, van der FW Kreek. 1979a. Calculations of a safety factor in setting health based permissible levels for occupational exposure. A proposal. I. *Int Arch Occup Environ Health* 42:191-201.
- Ziem, GE, BI Castleman. 1989. Threshold limit values: Historical perspective and current practice. *J Occup Med* 13:910-918.

#### Otras lecturas recomendadas

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1988. *ACGIH-TLV Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1988-1989*. Cincinnati: ACGIH.
- . 1991. *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, 1990-1991*. Cincinnati: ACGIH.
- Atherly, GA. 1985. Critical review of time-weighted average as an index of exposure and dose, and of its key elements. *Am Ind Hyg Assoc J* 46:481-487.
- Centre of International Projects. 1982. *English-Russian Glossary of Selected Terms in Preventive Toxicology*. Moscú: Programa de las Naciones Unidas para (PNUMA).
- Firenze, RJ. 1973. *Guide to Occupational Safety and Health Management*. Dubuque, Ind: Hunt Publishing.
- Hickey, JLS, PC Reist. 1977. Application of occupational exposure limits to unusual work schedules. *Am Ind Hyg Assoc J* 38:613-621.
- Magnuson, HI. 1965. Soviet and American standards for industrial health. *Arch Environ Health* 10:542-545.
- National Safety Council (NSC). 1988a. *Accident Prevention Manual for Industrial Operations*. Washington, DC: NSC.
- . 1988b. *Fundamentals of Industrial Hygiene*. Washington, DC: NSC.
- Sayers, RR, JM DalleValle. 1935. Prevention of occupational diseases other than those that are caused by toxic dust. *Mech Eng* 57:230-234.
- US Department of Labor. 1972. *OSHA General Industry-Safety and Health Standards 29 CFR 1910*. Washington, DC: US Department of Labor.
- Zielhuis, RL, van der FW Kreek. 1979b. Calculations of a safety factor in setting health based permissible levels for occupational exposure. A proposal. II. Comparison of extrapolated and published permissible levels. *Int Arch Occup Environ Health* 42:203-215.