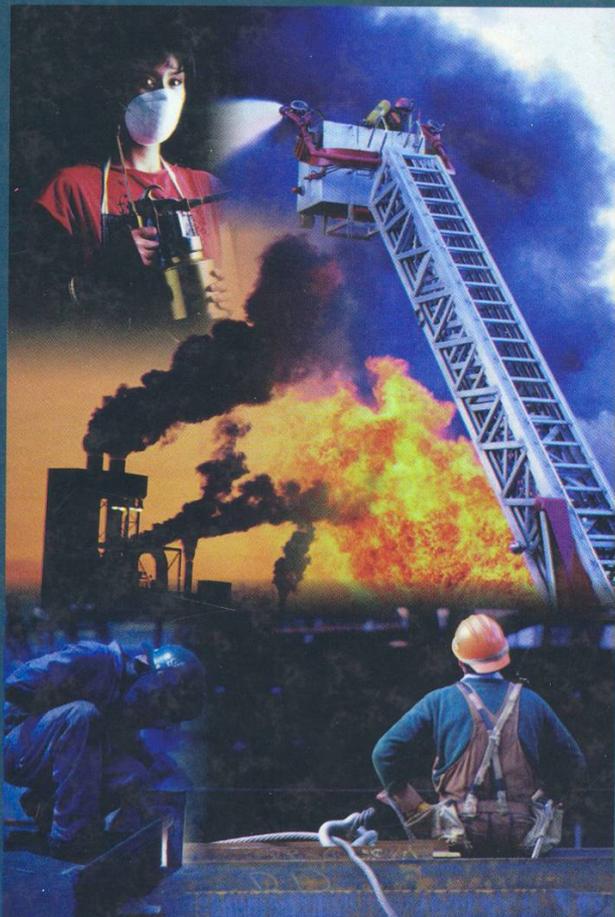


# Manual de Evaluación y Administración de Riesgos

Para  
profesionales  
en cuestiones  
ambientales,  
de la salud  
y la seguridad



**MC  
Graw  
Hill**

Rao Kolluru • Steven Bartell  
Robin Pitblado • Scott Stricoff

---

---

# **MANUAL DE EVALUACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS**

# **MANUAL DE EVALUACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS**

**Para profesionales  
en cuestiones ambientales,  
de la salud y la seguridad**

---

**Rao V. Kolluru, Dr.P.H. Editor in Chief**

**Steven M. Bartell, Ph.D.**

**Robin M. Pitblado, Ph.D.**

**R. Scott Stricoff**

Traducción

**Manuel Ortiz Staines**

**McGRAW-HILL**

**MÉXICO • BUENOSAIRES • CARACAS • GUATEMALA • LISBOA  
MADRID • NUEVA YORK • SAN JUAN • SANTAFÉ DE BOGOTA • SANTIAGO  
SÃO PAULO • AUCKLAND • LONDRES • MILÁN • MONTREAL • NUEVA DELHI  
SAN FRANCISCO • SINGAPUR • ST. LOUIS • SIDNEY • TORONTO**

*Supervisor editorial:* **Eduardo Mendoza Tello**  
*Supervisor de producción:* **Juan José García G.**  
*Supervisor de diseño de portadas:* **Dolores PARRALES**

**KOLLURU**

## **MANUAL DE EVALUACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS**

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra,  
por cualquier medio, sin autorización escrita del editor.

DERECHOS RESERVADOS © 1998, respecto a la primera edición en español por  
McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.

Una División de *The McGraw-Hill Companies, Inc.*

Cedro Núm. 512, Col. Atlampa,

Delegación Cuauhtémoc

C.P. 06450, México, D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736

**ISBN 970-10-1958-X**

Translated from the first English edition of  
**RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT HANDBOOK**  
For Environmental, Health and Safety Professionals  
Copyright © MCMXCVI, by McGraw-Hill Inc.

**ISBN 0-07-035987-3**

3456789012

P.E.-98

**09876543201**

Impreso en México

Printed in Mexico

Esta obra se terminó de  
imprimir en Noviembre de 2001 en  
Programas Educativos S.A. de C.V.  
Calz. Chabacano No. 65-A  
Col. Asturias C.P. 06850 México, D.F.  
Empresa certificada por el Instituto Mexicano  
de Normalización y Certificación A.C. bajo la  
Norma ISO-9002:1994/NMX-CC-04: 1995 con  
el núm. de registro RSC-048 y bajo la Norma  
ISO-14001:1996/SAA-1998, con el núm. de  
registro RSAA-003

# CONTENIDO

---

Colaboradores ix  
Revisores xi  
Prefacio xiii

## Parte 1 Panorama general y enlaces

Capítulo 1. Evaluación y administración de riesgos:  
un enfoque unificado  
*Rao V. Kolluru, Dr.P.H.*

1-3

---

Capítulo 2. Evaluación de riesgos integrada y administración  
estratégica  
*Rao V. Kolluru, Dr.P.H. y Daniel G. Brooks, Ph.D.*

2-1

---

Capítulo 3. Nuevas fronteras en administración del medio ambiente,  
la salud y la seguridad  
*J. Ladd Greeno y John S. Willson*

3-1

---

## Parte 2 Salud

Capítulo 4. Evaluación de riesgos para la salud: principios y prácticas  
*Rao V. Kolluru, Dr.P.H.*

4-3

---

Capítulo 5. Riesgos de salud pública y de seguridad: prevención y otras  
iniciativas  
*Rao V. Kolluru, Dr.P.H.*

5-1

---

Capítulo 6. Selección de tecnologías de limpieza de sitios  
de residuos peligrosos: fortalecimiento de la ciencia  
y mejoramiento de la economía  
*Roy L. Smith, Ph.D.*

6-1

---

**Capítulo 7. Pesticidas y salud humana: ciencia, reglamentos  
y percepción pública**

*Jeffrey H. Driver, Dr.PH, D.A.B.T. y Christopher F. Wilkinson, Ph.D.*

7-1

---

### **Parte 3 Seguridad**

**Capítulo 8. Análisis de riesgos de seguridad y la administración  
del proceso de seguridad: principios y prácticas**

*R. Scott Stricoff*

8-3

---

**Capítulo 9. ¿Por qué no podemos administrar la seguridad?:  
mitos y realidades**

*David A. Webb*

9-1

---

### **Parte 4 Ecología**

**Capítulo 10. Evaluación de riesgos ecológicos/ambientales:  
principios y prácticas**

*Steven M. Bartell, Ph.D.*

10-3

---

**Capítulo 11. Evaluación de riesgo ecológico en la Reserva Kesterson:  
un estudio de caso**

*Steven M. Bartell, Ph.D., y Harry M. Ohlendorf, Ph.D.*

11-1

---

**Capítulo 12. Evaluación de riesgo ecológico del Río McArthur:  
un estudio de caso**

*Steven M. Bartell, Ph.D., y Mark B. Wittrup, P.E.*

12-1

---

### **Parte 5 Evaluación de riesgos internacionales**

**Capítulo 13. Evaluación de riesgos internacionales:  
principios y prácticas**

*Robin M. Pitblado, Ph.D.*

13-3

---

**Capítulo 14. Evaluación de riesgos internacionales:  
estudios de casos**

*Robin M. Pitblado, Ph.D.*

14-1

---

## Parte 6 Comunicación de riesgos

Capítulo 15. Comunicación de riesgos en situaciones de crisis y fuera de crisis: herramientas y técnicas para una comunicación ambiental efectiva

*Vincent T. Covello, Ph.D.*

15-3

---

Capítulo 16. Participación y persuasión: una perspectiva de comunicaciones sobre la administración de riesgos

*David B. McCallum, Ph.D., y Susan L. Santos*

16-1

---

## Parte 7 Perspectivas adicionales

Capítulo 17. Ecología industrial y evaluación de riesgos completa

*Braden R. Allenby, J.D., Ph.D.*

17-3

---

Capítulo 18. Toma de decisiones basadas en riesgos: integración de la administración de riesgos en la planificación de negocios

*Daniel G. Brooks, Ph.D., y Adam Borison, Ph.D.*

18-1

---

Apéndice A. Siglas/Glosario A.1

Apéndice B. Organismos selectos especializados en cuestiones ambientales, de la salud, y la seguridad B.1

Índice I.1

---

# COLABORADORES

---

**Braden R. Allenby, J.D., Ph.D.**

AT&T Engineering Research Center  
P.O. Box 900  
Princeton, NJ 08542-0900  
Teléfono (609) 639-2244  
Fax (609) 639-2851  
(Cap.17)

**Steven M. Bartell Ph.D.**

Senes Oak Ridge Inc.  
102 Donner Drive  
Oak Ridge, TN 37830  
Teléfono (615) 483-6111  
Fax (615) 481-0060  
(Caps. 10, 11 y 12)

**Adam Borison, Ph.D.**

Applied Decision Analysis Inc.  
2710 Sand Hill Road  
Menlo Park, CA 94025  
Teléfono (415) 854-7101/926-9201  
Fax (415) 854-6233  
(Cap. 18)

**Daniel G. Brooks, Ph.D.**

(Arizona State Univ.)  
30 West Knight Lane  
Tempe, AZ 85284  
Teléfono/Fax (602) 838-8807  
(Caps. 2 y 18)

**Vincent T. Covello, Ph.D.**

(Univ. of California at Berkeley)  
39 Claremont Avenue  
New York, NY 10027  
Teléfono (212) 222-7841  
Fax (212) 749-3590  
(Cap. 15)

**Jeffrey H. Driver, Dr. P.H., D.A.B.T.**

Technology Sciences Group Inc.  
1101 Seventeenth St., N.W.  
Washington, DC 20036  
Teléfono (202) 828-8968  
Fax (202) 872-0745  
(Cap. 7)

**J. Ladd Greeno**

Arthur D. Little Inc.  
20 Acorn Park  
Cambridge, MA 02140-2390  
Teléfono (617) 498-5000  
Fax (617) 498-7161  
(Cap.3)

**Rao V. Kolluru, Dr. P.H.**

CH2M HILL  
99 Cherry Hill Road  
Parsippany, NJ 07054  
Teléfono (201) 316-9300  
Fax (201) 334-5847  
(Caps. 1, 2, 4 y 5)

**David B. McCallum, Ph.D.**

Focus Group  
P.O. Box 356  
Tilghman Island, MD 21671  
Teléfono (410) 886-2850  
Fax (410) 886-2852  
(Cap.16)

**Harry M. Ohlendorf, Ph.D.**

CH2M HILL  
2485 Natomas Park Drive  
Sacramento, CA 95833  
Teléfono (916) 920-0300  
Fax (916) 920-8463  
(Cap. 11)

**Robin M. Pitblado, Ph.D.**

DNV Technica Ltd.  
3 Cathedral Street  
London, SE19DE, England  
Teléfono (011) 44171 357-6080  
Fax (011) 44171 357-0475  
(Caps. 13 y 14)

**Susan L. Santos, M.S.**

Focus Group  
29 Wellgate Road  
Medford, MA 02155  
Teléfono (617) 483-3054  
Fax (617) 483-3058.  
(Cap. 16)

**Roy L. Smith, Ph.D.**

USEPA

841 Chestnut Street  
Philadelphia, PA 19107  
Teléfono (215) 597-6682  
Fax (215) 597-9890  
(Cap. 6)

**R. Scott Stricoff**

Arthur D. Little Inc.  
20 Acorn Park  
Cambridge, MA 02140-2390  
Teléfono (617) 498-5000/5884  
Fax (617) 498-7161  
(Cap.8)

**David A. Webb**

Arthur D. Little Inc.  
20 Acorn Park  
Cambridge, MA 02140-23900  
Teléfono (617) 498-5000  
Fax (617) 498-7161  
(Cap. 9)

**Christopher F. Wilkinson, Ph.D**

Technology Sciences Group Inc.  
1101 Seventeenth St., N.W.  
Washington, DC 20036  
Teléfono (202) 828-8966  
Fax (202) 872-0745  
(Cap. 7)

**John S. Willson**

Arthur D. Little Inc.  
20 Acorn Park  
Cambridge, MA 02140-2390  
Teléfono (617) 498-5000  
Fax (617) 498-7161  
(Cap. 3)

**Mark B. Witttrup, P.E.**

Cameco Corp.  
2121-11th Street West  
Saskatoon, Saskatchewan  
Canada, S7M 1J3  
Teléfono (306) 956-6485  
Fax (306) 956-6201  
(Cap.12)

# REVISORES

---

**A. W. Bazemore, Ph.D.**

Director, Executive Training Concepts  
32B Tierney Drive  
Cedar Grove, NJ 07009  
Teléfono (201) 239-5844

**Paul Brandt-Rauf, Sc.D., M.D.,  
Dr.P.H.**

Columbia University School of  
Public Health  
60 Haven Avenue, B-1  
New York, NY 10032  
Teléfono (212) 305-3454

**David E. Burmaster, Ph.D.**

President  
Alceon Corp.  
2067 Massachusetts Avenue  
Cambridge, MA 02140  
Teléfono (617) 864-4300

**John Ehrenfeld, Ph.D.**

Director  
Technology, Business & Environment  
Massachusetts Institute of Technology  
77 Massachusetts Avenue  
Cambridge, MA 02319  
Teléfono (617) 253-1694

**George M. Gray, Ph.D.**

Deputy Director  
Harvard Center for Risk Analysis  
718 Huntington Avenue  
Harvard School of Public Health  
Boston, MA 02115  
Teléfono (617) 432-4341

**Clive Nussey, Ph.D.**

Head, Toxic and Environmental Risk  
Group  
Health and Safety Executive  
Bootle, Merseyside L203RA  
United Kingdom  
Teléfono 44-151-951-4000

**Benjamin Parkhurst, Ph.D.**

The Cadmus Group Inc.  
309 South Fourth Street  
Laramie, WY 82010  
Teléfono (307) 742-7624

**Cameron G. Ramsay, Ph.D.**

Director, Client Services  
DNV Technica  
Johnstone House, Rose Street  
Aberdeen, AB11UD  
United Kingdom  
Teléfono 44-1224-632-211

**Michael D. Utidjian, M.D.**

Corporate Medical Director  
American Cyanamid Company  
Wayne, New Jersey 07470  
Teléfono (201) 831-3022

---

# PREFACIO

---

Este manual se refiere a riesgos —ambientales, de la salud y de la seguridad— y a las decisiones para controlar y administrar estos riesgos. El propósito de la obra es proporcionar una guía para evaluar los diferentes riesgos, para crear políticas ambientales efectivas y asignar recursos sobre una base racional: una tarea en verdad importante.

El qué, el porqué y el cómo de la evaluación de riesgos siguen siendo sujetos de fuertes debates. No obstante, hay un reconocimiento creciente de que las evaluaciones de riesgos ofrecen un marco científico y sistemático para definir, asignar prioridades y mitigar los riesgos. El gobierno de Clinton, el Congreso norteamericano y las agencias reglamentadoras han estado considerando diversas iniciativas de políticas que extenderían más el papel de la evaluación de riesgos en la toma de decisiones sobre cuestiones ambientales y de salud pública.

La disciplina de la evaluación de riesgos no deja de tener desventajas. Aun cuando cierto tipo de evaluación de riesgos tal vez se remonte a la época de los habitantes de las cavernas que cazaban grandes animales para obtener alimentos y ropa, la evaluación de riesgos cuantitativa moderna sigue en su infancia. Partidarios y detractores de la evaluación de riesgos insisten en la necesidad de extender el componente científico. Aun hoy, muchas políticas y decisiones ambientales dependen más de lo que no sabemos, que de lo que sí sabemos. Siguiendo esta línea, un informe reciente de la Oficina de Evaluación Tecnológica del Congreso estadounidense, subraya la necesidad de la realización de esfuerzos de investigación y desarrollo que hay que realizar en varios frentes: investigación básica, desarrollo y validación de métodos y modelos y el desarrollo de datos químicos específicos.

La evaluación de riesgos, por supuesto, no constituye la única base para la administración de riesgos. Si bien las evaluaciones de riesgos proporcionan estimaciones de riesgos, con frecuencia muy distintas, no contestan preguntas como “¿qué tan limpio es lo limpio?” y “¿qué tan seguro es lo seguro?”. La “aceptabilidad” o tolerancia del riesgo es del dominio de la gerencia. Las decisiones de administración de riesgos sustentadas en evaluación de riesgos y análisis de costo-beneficio, en la realidad técnica y los valores públicos son mucho más efectivos y duraderos que las decisiones surgidas de análisis aislados.

La preocupación por los riesgos no es de lo que trata esta obra, más bien, trata de prioridades nacionales e inversiones de recursos en el nivel nacional y acerca de incorporar prioridades ambientales, de la salud y de la seguridad (EHS, por sus iniciales en inglés) en el pensamiento de la gerencia, aunado a otros problemas estratégicos del negocio a nivel corporativo. Esto significará la realización de algunos cambios en el énfasis tradicional: de costos y cumplimiento, a inversiones, utilidades, y ventajas sostenibles; de conflicto a colaboración; de una actitud de solución de problemas a un modo de búsqueda de oportunidades; y de eficiencia (hacer las cosas bien) a efectividad (hacer lo correcto).

La mayoría de las publicaciones sobre el tema se enfoca a un tipo de riesgos: salud, seguridad, ecología, o comunicación. Esta obra cubre todos estos temas y las consecuencias para la empresa en dieciocho capítulos agrupados en siete partes. Las partes de Salud, Seguridad, Ecología y la de Evaluación de riesgos internacionales empiezan con capítulos de principios y prácticas que presentan los elementos fundamentales de la evaluación de riesgos y varios ejemplos de “cómo hacerlo”. (Los autores de estos capítulos se presentan en la portada de los capítulos.) Si usted está interesado en un tema específico, tal vez quiera ir directamente a esa parte, de preferencia después de leer el primer capítulo. Los interesados en los aspectos de la especialidad y estratégicos del medio ambiente, la salud y la seguridad,

deben prestar atención especial a los capítulos 2, 3 y 18. En la obra también se analizan algunos grupos de intereses no tradicionales y fuerzas emergentes que cada vez más definen las políticas EHS corporativas y los perfiles de riesgo. Entre ellas se encuentran instituciones financieras (bancos, compañías de seguros), enfoques basados en el mercado, la Comisión de Valores y Seguros, asociaciones industriales, normas internacionales (ISO 9000 y 14000), accionistas y clientes, así como grupos de intereses públicos. Aun cuando no se mencionan específicamente, los principios y metodologías aquí expuestos también pueden contribuir a una mejor comprensión de la dinámica del crecimiento exponencial de la población, la densidad urbana y la pobreza extendida, que presentan un riesgo sustancial a la salud pública y el medio ambiente a escala mundial.

Este manual ha sido diseñado y organizado para que sea útil para practicantes en la industria, el gobierno, e instituciones educativas. Esperamos que la obra sirva como un instrumento de referencia completo y también como un texto para estudiantes de la ciencia ambiental, ingeniería, salud pública, negocios y programas híbridos interdisciplinarios en surgimiento.

Un manual como éste no sería posible sin la colaboración de colegas y amigos y la tolerancia de nuestras familias. En particular quiero agradecer a colegas y estudiantes de la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Columbia y el Instituto de Tecnología de New Jersey con quienes he tenido la oportunidad de asociarme. Vaya también nuestro agradecimiento especial al grupo de libros profesionales de McGraw-Hill que transformó rápidamente un pesado manuscrito en este manual.

Esperamos que la obra contribuya al avance del arte y la ciencia de la evaluación y administración de riesgos y al desarrollo de una infraestructura unificada y que la evaluación de riesgos se transforme a sí misma de una ciencia "mórbida" a una ciencia saludable. Y confiamos en que la aplicación integrada de los análisis de riesgo-beneficio-coste conduzca a una utilización más efectiva de nuestros recursos y un entorno más saludable y seguro para la vida en el planeta.

*Rao V. Kolluru*

P • A • R • T • E • 1

# PANORAMA GENERAL Y ENLACES

---

# CAPÍTULO 1

---

## EVALUACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS

---

### UN ENFOQUE UNIFICADO\*

---

**Rao V. Kolluru, Dr.PH.**

*CH2M Hill*

*Parsippany, New Jersey*

*Les cuento lo que he descubierto. El conocimiento puede ser comunicado, pero no la sabiduría. Podemos encontrarla, vivirla, fortalecernos con ella, hacer maravillas a través de ella, pero no se puede comunicar y enseñar.*

*Siddhartha*

HERMANN HESSE

**En este capítulo:**

- Medio ambiente, salud pública y toma de decisiones
- Evaluación de riesgos: diversas aplicaciones, lenguaje común
- Perspectiva reglamentaria: estudios de caso ilustrativo
- Con la vista al frente: retos e innovaciones
- Glosario y definiciones

---

### **MEDIO AMBIENTE, SALUD PÚBLICA Y TOMA DE DECISIONES**

---

Desde que Estados Unidos celebró el primer Día de la Tierra en 1970, creando ese mismo año la Environmental Protection Agency, hemos logrado un avance significativo en la calidad de nuestro entorno: aire, agua, tierra y recursos naturales. Sin embargo, han surgido miles de preocupaciones nuevas: humo de tabaco de fumadores indirectos, radón, alteraciones hormonales, sida, alteraciones traumáticas acumulativas, teléfonos celulares, agotamiento de la capa de ozono en la estratosfera y calentamiento del globo terrestre, sólo por nombrar unas cuantas. Las preocupaciones acerca de los accidentes industriales y la seguridad de productos químicos y alimenticios también se han intensificado; los nombres de la Isla de Tres Millas,

---

\* Partes de este capítulo han sido adaptadas de materiales publicados en Rao Kolluru, Editor, *Environmental Strategies Handbook: A Guide to Effective Policies and Practices* (McGraw-Hill, Nueva York, 1994).

George M. Gray Ph.D. del Centro Harvard para Análisis de Riesgos, Escuela Harvard de Salud Pública, Boston Massachusetts, revisó este capítulo y proporcionó sugerencias valiosas.

Bhopal y Alar se han convertido en términos de uso común en las últimas dos décadas. El incremento de la sensibilidad pública hacia los riesgos ambientales múltiples, junto con una percepción de que los riesgos se están saliendo del control gubernamental, provocaron un número de movimientos públicos sobre el "derecho a saber" y el "derecho a saber más". Sin embargo, la abundancia de información que ha surgido, demostró ser más sorprendente que ilustrativa (sin que llegara realmente a asombrar dado el grado de incertidumbre científica, las diversas interpretaciones de los mismos datos por parte de expertos y los miles de millones de dólares en juego).

El creciente interés en la evaluación de riesgos no se debe a que eliminen incertidumbres o riesgos (aun cuando tales poderes se achacan con frecuencia a los asesores de riesgos). Más bien, la ventaja clave de la evaluación de riesgos es que proporciona un marco sistemático basado en principios científicos para comprender y administrar diversos riesgos; en otras palabras, proporcionan guías para la aplicación de recursos nacionales para proteger la salud pública y el medio ambiente.

Así, la evaluación y administración de riesgos se refieren a la toma de decisiones, a que se tomen acciones bajo la incertidumbre; decisiones tales como "qué tan limpio es lo limpio" en un depósito de residuos peligrosos; qué tanto control de la contaminación es necesario en un sitio industrial; qué controles de seguridad y sistemas de respaldo se requieren para la manufactura, transportación, almacenamiento y uso de sustancias peligrosas; qué especies deben ser protegidas por su valor comercial y cuáles por derecho propio y qué riesgos de salud pública y seguridad exigen más (o menos) atención. Todas estas decisiones requieren una mejor comprensión de la naturaleza de los riesgos y juicios relativos a riesgos "aceptables". Todos requieren comparaciones entre el actuar y no actuar; entre distintos riesgos de salud, seguridad y ecológicos; entre métodos y tecnologías alternativos; y diversos intercambios entre "manzanas y naranjas" y "empleos y búhos".

La evaluación de riesgos no es, por supuesto, la única base para la toma de decisiones ambientales. Para que sean efectivas, las decisiones de administración de riesgos deben incluir criterios de beneficios y costos, alternativas tecnológicas y valores sociales; en especial cuando reglamentos basados en incentivos económicos ganan fuerza sobre enfoques de "orden y control". Como veremos más adelante, las decisiones de evaluación y administración de riesgos no tienen un valor neutral, sino que reflejan el juego entre la ciencia, la economía y la seguridad pública.

En las páginas siguientes de este capítulo hemos incluido conceptos generales y modelos de evaluación y administración de riesgos. Una guía específica del "cómo hacerlo" se presenta en los capítulos de Principios y Prácticas sobre salud, seguridad, ecología y aspectos internacionales: capítulos 4, 8, 10 y 13. Encontrará varias aplicaciones esbozadas en el terreno reglamentario, así como en la administración estratégica corporativa (el tema principal de los siguientes dos capítulos). Concluimos este capítulo con algunas ideas sobre cómo extender el componente científico y mejorar el proceso de evaluación de riesgos y toma de decisiones.

## ***EVALUACIÓN DE RIESGOS: DIVERSAS APLICACIONES, LENGUAJE COMÚN***

---

### **Orígenes históricos y puntos importantes**

La evaluación de riesgos y beneficios de alguna forma puede remontarse hasta el amanecer de la historia. Podríamos preguntarnos si Adán pensó en los riesgos antes de aceptar la manzana prohibida de manos de Eva en el Jardín del Edén. Ciertamente, el hombre de las cavernas debió, de alguna manera, de sopesar los riesgos de cazar animales grandes para obtener alimentos y vestido.

Un análisis histórico interesante sobre el tema realizado por Covello y Mumpower (1985) hace referencia a las prácticas de una tribu llamada Asipu que vivió en el Valle del Éufrates y el Tigris alrededor de 3200 a. de C. Los asipu servían como consultores sobre decisiones riesgosas tales como matrimonios y nuevas ubicaciones para construcciones. Identificaban dimensiones importantes del problema y acciones alternativas. Los asipu también observaban

los presagios de los dioses, que ellos consideraban especialmente calificados para interpretar. Luego creaban un expediente con los puntos a favor y en contra y recomendaban la alternativa más favorable, tal vez el primer caso conocido de un análisis de riesgos estructurado.

A continuación presentamos una breve ojeada histórica de algunos riesgos ambientales, de la salud pública y ocupacionales y puntos importantes selectos en cuanto a salud pública y seguridad.

**Riesgos ambientales y de la salud pública.** Tal vez el primer caso reconocido de un riesgo ambiental importante es el plomo: la contaminación de provisiones de agua transportada en tuberías de plomo. Los peligros de la exposición al plomo fueron reconocidos ampliamente por los griegos y los romanos. Los romanos prohibieron la mezcla de plomo o litargirio en el vino (el ácido ascético en el vino agrio se convierte en acetato de plomo de sabor dulzón). Según algunos historiadores, la contaminación, intencional o no intencional, de alimentos y bebidas con plomo pudo haber acelerado la decadencia y caída del Imperio Romano.

La contaminación del aire y los problemas respiratorios por carbón y quema de leña fueron endémicos en las áreas urbanas durante siglos. Aun antes de la Revolución Industrial, Londres estaba asolada por el humo, lo cual se prolongó hasta el siglo veinte a pesar de numerosas proclamas reales, intervenciones gubernamentales e iniciativas privadas. El episodio de contaminación del aire de Londres en 1952 produjo 4 000 muertes (y el episodio anterior en 1948 en Donora, Pennsylvania, que dio por resultado 20 muertes) provocaron gran parte de la legislación sobre el control subsecuente de la contaminación del aire en Europa y Estados Unidos.

Otro hito histórico en el reconocimiento y control de los riesgos ambientales —de tipo biológico— tuvo lugar en 1855, cuando el doctor Snow rastreó el surgimiento de la epidemia de cólera en Londres hasta una bomba de agua pública en la que el agua para beber estaba contaminada con líquidos provenientes del drenaje. Acontecimientos posteriores que finalmente llevaron a la creación de sistemas de aprovisionamiento de agua potable adecuados en Europa y América, constituyen uno de los mayores triunfos en salubridad pública del siglo veinte.

**Riesgos ocupacionales.** Desde el siglo dieciséis hasta las primeras décadas de este siglo, la ciencia de los riesgos ocupacionales, la medicina y la toxicología lograron rápidos avances a través de importantes contribuciones realizadas por lumbreras como Paracelso, Agrícola, Ramazzini, Orfila, Pott y Hamilton (*Casarett and Doull's Toxicology*, 1991; Paustenbach, 1989). Paracelso (1493-1541) propuso el entonces concepto revolucionario de que "todas las sustancias son venenos... la dosis correcta distingue a un veneno de un remedio", que sigue siendo una parte integrante de la toxicología de hoy día. Ya en 1534, Paracelso describía las enfermedades de los mineros en gran detalle en su tratado *Bergsucht*. Sir Percival Pott (1775) observó que los jóvenes deshollinadores de Londres tenían una alta incidencia de cáncer de escroto, y demostró el enlace entre la exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos y el riesgo del cáncer. Alice Hamilton, la primera mujer integrante del cuerpo de profesores de Harvard, fue un elemento importante para el establecimiento del programa de Higiene Industrial en Harvard en 1937, el que (junto con los programas de Johns Hopkins) ejerció una influencia profunda en la práctica de la higiene industrial y de la salud ocupacional en gran parte del mundo.

**Un asunto inconcluso: evaluación comparativa de los problemas.** Yendo a épocas más recientes, entre la creciente complejidad de los problemas ambientales y las demandas en conflicto de sus limitados recursos, la Environmental Protection Agency (EPA), estadounidense, integró un grupo de trabajo especial en 1986 para comparar los riesgos relacionados con problemas ambientales más importantes. El grupo de trabajo, integrado por gerentes de alta jerarquía y expertos técnicos, primero dividió los problemas ambientales en 31 áreas delicadas como la contaminación del aire, contaminantes en el agua potable y sitios de depósito de residuos peligrosos. Luego consideraron distintos tipos de riesgos para cada área problema: riesgos de salud cancerígenos y no cancerígenos, efectos ecológicos y consecuencias en el bienestar, por ejemplo, disminución de la agudeza visual y daños a propiedades. Los resultados presentados por el grupo de trabajo fueron publicados en el informe sobresaliente, "Unfinished Business: A Comparative Assessment of Environmental Problems" (EPA, 1987).

### Entrevista con un experto en riesgos

SCIENCE: Doctor Noitall, usted es la máxima autoridad mundial con respecto a todo tipo de riesgos, una figura respetada que acaba de aparecer en televisión en cadena nacional.

NOITALL: Una gran subestimación de mi valor verdadero.

SCIENCE: Debe contar con un enorme laboratorio para descubrir tantos hechos que no están a disposición de las agencias oficiales.

NOITALL: Los hechos ya no se crean en laboratorios, son creados por los medios. Cualquier pronunciamiento de mi parte que es repetido en tres publicaciones periódicas, cuatro periódicos, o en un programa de televisión es considerado un hecho. Mi comparecencia en tres programas de entrevista es suficiente para calificarme como experto. Ya no es necesario tener un laboratorio en mi profesión.

SCIENCE: ¿Podría darnos un ejemplo de cómo evitar los riesgos?

NOITALL: Mantenerse fuera de la casa. Más de 3 millones de personas en Estados Unidos sufrieron heridas en 1987 en accidentes en el hogar; el noventa por ciento de los accidentes automovilísticos ocurren a dieciséis kilómetros del hogar. Es imperativo mantenerse alejado de la casa.

SCIENCE: Pero nos hemos enterado de que muchos accidentes ocurren en las carreteras.

NOITALL: Es cierto. Se produce un incidente por cada diez minutos de conducción en las carreteras en Estados Unidos. He elaborado una fórmula rigurosa que muestra que cuanto más tiempo se pasa en la carretera, mayor es la posibilidad de que ocurra un accidente. Por lo tanto, recomiendo conducir a ciento veinte kilómetros por hora como una forma de reducir el tiempo pasado en las carreteras y así reducir las posibilidades de sufrir un accidente.

SCIENCE: Si nos mantenemos fuera del hogar, ¿no se presenta un incremento en las posibilidades de contraer enfermedades infecciosas?

NOITALL: Es necesario abandonar toda actividad sexual por entero. El peligro de enfermedad proveniente de esa fuente es mucho mayor que la de comer una manzana, y debe ser evitado a cualquier costo.

SCIENCE: ¿Existen otros peligros acerca de los cuales la Environmental Protection Agency no nos ha advertido?

NOITALL: Respirar. El respirar genera radicales de oxígeno que son la principal fuente de mutaciones en el DNA, que conducen al cáncer, defectos congénitos y moléculas de forma muy extraña en la orina. El respirar ha sido observado tres minutos antes de la muerte en el 100% de los casos fatales. Urgimos a todos a dejar de respirar hasta que se haya realizado una investigación apropiada. La EPA ha sido informada de esta relación y se ha negado a actuar al respecto, una escandalosa manifestación de irresponsabilidad.

SCIENCE: ¿Y qué hay de los riesgos relacionados con el crimen?

NOITALL: Una tercera parte de todos los homicidios se cometen entre íntimos, una tercera parte entre conocidos y una tercera parte en desconocidos. Por lo tanto, es imperativo evitar a las amistades íntimas, a los conocidos y a los desconocidos con el fin de reducir el riesgo de homicidio de manera significativa.

SCIENCE: ¿Podemos eliminar un riesgo determinado por completo?

NOITALL: Es posible reducir un riesgo hasta casi cero, al adoptar lo que llamo "la estrategia de alternativa más arriesgada". Por ejemplo, podría adoptarse la práctica de volar con deslizadores, ya que se ha demostrado plenamente que es mucho menor el número de deportistas de esta disciplina que mueren por absorber el humo de cigarrillos de terceros, o fumadores pasivos, que los que nunca participan en el deporte. Las personas que practican el ciclismo sin un casco de seguridad no necesitan preocuparse por la presencia de un reactor nuclear pequeño en la cercanía. Las personas que ingieren un coctel antes de la cena o vino con sus comidas, nunca tienen que preocuparse de tener un poco de tricloroetileno en su agua para beber. Mediante la elección apropiada de estrategias alternativas, es posible reducir nuestras oportunidades de morir de cualquier desorden en particular hasta un nivel deseado. Ha aliviado a muchas personas del síndrome de ansiedad de riesgo.

SCIENCE: Esto nos parece tan lógico, que nos sorprende que las personas no sigan sus recomendaciones.

NOITALL: La mayoría de los "ignorantes", de hecho, siguen mi fórmula sin saberlo. Millones de personas recorren treinta kilómetros para llegar al trabajo, vuelan en aviones y eligen abuelos de vidas inevitablemente cortas y todavía se preocupan del agua potable limpia. Estas personas son admiradores secretos de las úlceras pépticas.

SCIENCE: Le estamos muy agradecidos por el tiempo que nos dedica, pero tenemos una última pregunta. ¿Practica usted con el ejemplo?

NOITALL: Muy a mi pesar, la respuesta es no. Mi familia paterna tiene una debilidad hereditaria cuya manifestación clínica es la psicosis de "comer, beber y ser feliz". Como resultado de ello, todos mis ancestros de ese lado de la familia han muerto prematuramente, en sus primeros noventa. Dudo poder escapar de la maldición familiar.

**Fuente:** Daniel E. Koshland, *Science*, 30 de junio de 1989, vol. 244, pág. 1529, derechos reservados, 1989, por AAAS.

Al reconocer las limitaciones de los métodos de datos y evaluación de riesgos, los expertos de la EPA clasifican los problemas ambientales como sigue:

- Altos, o al menos medianos, en todos los tipos de riesgos: normas sobre contaminantes del aire, agotamiento del ozono en la estratosfera, residuos de pesticidas en alimentos y otros riesgos por pesticidas.
- De altos riesgos de la salud, pero bajos en riesgos ecológicos y del bienestar: contaminantes del aire peligrosos, radón en interiores y otra contaminación del aire en interiores, exposición de productos de consumo y exposición de los trabajadores a pesticidas y otros productos químicos.
- De alto riesgo ecológico y del bienestar, pero bajo en riesgos para la salud: calentamiento del globo terrestre, fuentes de contaminación de agua superficial en el lugar y fuera de él y alteración de los hábitat acuáticos (por ejemplo estuarios y pantanos).
- De bajo o mediano riesgo en todo tipo: agua subterránea.

En términos generales, las prioridades de la EPA parecen alinearse más estrechamente con la opinión pública que con los juicios de los expertos. Datos de encuestas nacionales revelaron la siguiente clasificación hecha por el público (véanse también clasificaciones específicas en el recuadro):

- Altos: disposición de desperdicios químicos, contaminación del agua, accidentes químicos, contaminación del aire.
- Medianos: derrames de petróleo, exposición de los trabajadores, pesticidas, agua potable.
- Bajos: contaminación del aire en interiores, productos de consumo, radiación (excepto la energía nuclear), calentamiento del globo terrestre.

***El pueblo contra la clasificación de los expertos de la EPA de riesgos a la salud y ambientales***

Pueblo	Expertos EPA
1. Sitios de depósito de desperdicios peligrosos	Mediano a bajo
2. Exposición a químicos en el lugar de trabajo	Alto
3. Contaminación industrial de vías fluviales	Bajo
4. Radiación por accidente nuclear	No clasificado
5. Desperdicios radioactivos	No clasificado
6. Fugas de químicos de tanques de almacenamiento bajo tierra	Mediano a bajo
7. Pesticidas	Alto
8. Contaminación por accidentes industriales	Mediano a bajo
9. Contaminación del agua por desperdicios agrícolas	Mediano
10. Contaminación de agua potable	Alto
11. Contaminación de aire industrial	Alto
12. Destrucción de la capa de ozono	Alto
13. Contaminación de aguas costeras	Bajo
14. Contaminación de agua de plantas residuales	Mediano a bajo
15. Escapes de vehículos	Alto
16. Derrames petroleros	Mediano a bajo
17. Lluvia ácida	Alto
18. Contaminación del agua por desperdicios urbanos	Mediano
19. Tierras húmedas dañadas	Bajo
20. Alteración genética	Bajo
21. Sitios de depósito de residuos no peligrosos	Mediano a bajo
22. Efecto de invernadero	Bajo
23. Contaminación del aire en interiores	Alto
24. Radiación por rayos X	No clasificado
25. Radón en interiores	Alto
26. Radiación de hornos de microondas	No clasificado

**Fuente:** Frederick Allen, U.S. EPA, basado en un informe de la EPA, "Unfinished Business: A Comparative Assessment of Environmental Problems" (1987), y encuestas de opinión pública nacionales realizadas por la Organización Roper en diciembre de 1987 y enero de 1988; citado por Stephen Breyer en *Breaking the Vicious Circle: Toward Effective Risk Regulation*, 1993, Harvard University Press, Boston.

**Reducción de riesgos: establecimiento de prioridades y desarrollo de estrategias.** A principios de 1989, en una de sus primeras acciones como administrador de la EPA, William Reilly pidió al Consejo Asesor en Ciencias de la EPA que revisara el documento "Un negocio inconcluso" y que sugiriera formas para mejorar el proceso de identificar, evaluar y reducir riesgos. En septiembre de 1990, el Consejo presentó un informe intitulado, "Reducing Risk: Setting Priorities and Strategies for Environmental Protection", que señaló la naturaleza fragmentaria de la política ambiental norteamericana en sus leyes, programas y herramientas. Presentamos a continuación algunos extractos del informe:

El concepto del riesgo ambiental, junto con su terminología relacionada y metodologías analíticas ayudan a las personas a analizar problemas ambientales distintos en un idioma común. Permite que muchos problemas ambientales sean medidos y comparados en términos comunes y permite también que distintas reducciones de riesgos se evalúen partiendo de una base común. Así, el concepto del riesgo ambiental puede ayudar al país a desarrollar políticas ambientales de manera consistente y sistemática.

Deben considerarse fuertes costos de por medio si la sociedad fracasa en el intento de establecer prioridades ambientales basadas en los riesgos. Si los recursos finitos se gastan en problemas de baja prioridad a costa de riesgos de alta prioridad, la sociedad correrá altos riesgos innecesarios. Si se establecen prioridades basadas en las mayores oportunidades de reducir el riesgo, el riesgo total se reducirá de manera más eficiente, y disminuirán las amenazas tanto a la salud pública como a los ecosistemas locales y globales...

Siguiendo esta tónica el Consejo Asesor en Ciencias (SAB por sus iniciales en inglés), presentó 10 recomendaciones a la EPA para

1. Dirigir los esfuerzos de protección ambiental con base en oportunidades de una mayor reducción de riesgos.
2. Asignar tanta importancia a la reducción de riesgos ecológicos como a la reducción de riesgos para la salud humana.
3. Mejorar las metodologías de datos y analíticas que apoyan la evaluación, comparación y reducción de diversos riesgos ambientales.
4. Reflejar las prioridades basadas en los procesos de planificación estratégica.
5. Reflejar las prioridades basadas en riesgos en el proceso de presupuestos.
6. Hacer un mayor uso de todas las herramientas disponibles para reducir riesgos, en conformidad con la nación.
7. Resaltar la prevención de la contaminación como la opción preferida para reducir riesgos.
8. Incrementar los esfuerzos para integrar las consideraciones ambientales a los aspectos más amplios de política pública de manera tan fundamental como son tratados los asuntos económicos.
9. Trabajar para mejorar la comprensión pública de los riesgos ambientales y capacitar a un grupo de trabajo profesional para ayudar a reducirlos.
10. Desarrollar métodos analíticos mejorados para evaluar los recursos naturales y cuantificar los efectos ambientales a largo plazo en los análisis económicos.

Sin duda, tomará tiempo alcanzar este cambio estratégico en la manera de pensar para convertirlo en puesta en práctica real en el nivel local. No obstante, las recomendaciones del SAB presentan un marco igualmente persuasivo para las políticas y prácticas de las organizaciones de negocios nacionales y hasta mundiales.

**Evaluación formal y probabilística.** Como disciplina formal, la evaluación de riesgos apareció en las décadas de 1940 y 1950, al mismo tiempo que el surgimiento de la industria nuclear. En la tabla 1.1 se presentan acontecimientos históricos selectos de la evolución de la evaluación de riesgos. Los análisis de peligros de la seguridad han sido utilizados por lo menos a partir de la década de 1950 en las industrias nuclear, refinación de petróleo, y de procesos químicos, así como en la aeroespacial. Las evaluaciones de riesgos para la salud, por otra

**TABLA 1.1** Surgimiento de la evaluación cuantitativa de riesgos: puntos relevantes selectos

1938	Federal Food, Drug, and Cosmetic Act
1940 y 1950	Desarrollo y aplicación de técnicas de probabilidades en operaciones de energía atómica y aeroespaciales (HAZOP, modo de fallo, técnicas y procedimientos de árbol de fallas)
1958	Enmiendas a la Ley de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos - Cláusula Delaney
1975	Estudio de Seguridad en Reactor WASH-1400 (Rasmussen). Comisión Reglamentadora Nuclear Norteamericana
1976	Publicación de la EPA de guías de evaluación de riesgos de carcinógenos (primera cuantificación de riesgos de cáncer por químicos después de riesgos de cáncer por radiación)
1980	Énfasis renovado en proteger la salud humana, especialmente de riesgos carcinógenos, por ejemplo, criterios sobre la calidad del agua de la EPA basados en riesgos de $10^{-7}$ a $10^{-5}$ , modelo de respuesta de dosis de etapas múltiples linealizadas
1980	Veredicto de la Suprema Corte de que OSHA debe demostrar un beneficio para la salud al reducir el límite de benceno de 10 ppm
1981	Primera publicación de la revista de la Sociedad para el Análisis de Riesgos, <i>Risk Analysis</i>
1983	Reporte de NAS/NRC <i>Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process</i>
1986	Guías de evaluación de riesgos formalizadas Manual del Superfund para Evaluación de Salud Pública (SPHEM) Guías de Exposición y Evaluación de Riesgos de 1986 (incluyendo mezclas mutagénicas, carcinogénicas, de desarrollo y químicas) Creciente importancia de la comunicación de riesgos en la administración de riesgos (SARA Título III, 1986)
1987	Publicación de la EPA de <i>Unfinished Business: A Comparative Assessment of Environmental Problems</i>
1989	Publicación del manual de la EPA, <i>Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual; Environmental Evaluation Manual</i>
1990	Publicación del Consejo Asesor Científico de la EPA de <i>Reducing Risk: Setting Priorities and Strategies for Environmental Protection</i> Programas de administración de riesgos de la EPA bajo las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio de 1990 (tóxicos aéreos, prevención de liberación accidental)
1990	Norma de Administración de Procesos de Seguridad OSHA (PSM) (terminado en febrero de 1992) Énfasis creciente en efectos no cancerígenos (por ejemplo, reproductivos); creciente uso de modelos fármaco quinéticos, equivalencia de toxicidad (por ejemplo, diocinas, PAH) Nuevas guías de exposición; toxicidades de desarrollo, reproductivas y neurológicas; riesgos carcinógenos; y exposiciones en interiores (calidad del aire) Creciente atención a los impactos ecológicos/ambientales Armonización de problemas de riesgos internacionales a través de la OMS, UNEP, OECD, etcétera. Uso extendido de criterios de riesgos y costo-beneficio en la toma de decisiones ambientales

parte, son de cuño más reciente; se inician en 1976, con la publicación de la EPA de su *Carcinogenic Risk Assessment Guidelines* y fueron impulsadas por el Superfund y los programas de RCRA en la década de 1980. La pericia en la evaluación de riesgos ecológicos aún está en su infancia, pero el creciente interés público por los recursos ecológicos y la clasificación del Consejo Asesor en Ciencias de la EPA de estos problemas al frente de la lista de asuntos nacionales han proporcionado un mayor ímpetu a la evaluación de los riesgos ecológicos.

## Conceptos y definiciones

Tomando una indicación de la economía, la ciencia del desconsuelo, podríamos llamar “ciencia mórbida” a la evaluación de riesgos. Aun cuando es difícil en su concepto, el riesgo está inherente en nuestra vida diaria y en todas las tomas de decisiones. La mayoría de nosotros tiene una opinión intuitiva de lo que son los peligros y los riesgos y de que de alguna manera son indeseables, aun cuando son inherentes en la vida diaria. Ya que el riesgo tiene muchas dimensiones de visos científicos, políticos, sociales y económicos, encontramos varias definiciones en la literatura. *La evaluación de riesgos y el análisis de riesgos* con frecuencia son utilizados como sinónimos, como ocurre en este capítulo, pero el análisis de riesgos en ocasiones también se utiliza en un sentido amplio para incluir aspectos de la administración de riesgos. Sin ignorar estas diferencias, los riesgos financieros de Wall Street, los riesgos actuariales de la industria de los seguros, las bajas ocasionadas por un accidente en una planta nuclear, los riesgos de cáncer asociados con las emisiones industriales, la pérdida del hábitat por actividades humanas: todas esas nociones de apariencia distinta tienen en común el concepto de un fenómeno medible llamado *riesgo*. En un “enfoque unificado”, la *evaluación de riesgos* puede definirse como el proceso de estimar la probabilidad de que ocurra un acontecimiento y la magnitud probable de los efectos adversos —en la seguridad, salud, ecología, o financieros— durante un lapso específico. Ésta es una definición “científica” y simple del riesgo ya que la magnitud es sólo una dimensión; las definiciones sociales tienden a depender de la equidad, control, confianza, etcétera —en ocasiones llamada una versión “moderada” de un paradigma basado en el riesgo—. Hasta hace poco, la evaluación de riesgos era considerada dentro del ámbito de la ciencia, en tanto que las percepciones públicas eran consideradas inocentes e irrelevantes, excepto para comunicar los riesgos. En el nuevo paradigma, tanto la ciencia de los riesgos como los valores públicos se consideran objetivos en parte y subjetivos en parte, y ambos se consideran fundamentales para una buena administración de los riesgos (véase capítulos 15 y 16).

En la evaluación y administración de riesgos, contemplamos una situación o escenario y nos hacemos este tipo de preguntas: ¿Qué puede salir mal y por qué, qué tan factible es, qué tan malo puede ser y qué podemos hacer al respecto? El riesgo, entonces, es una función de la naturaleza del peligro, su facilidad de acceso o vía de contacto (posibilidad de exposición), características de la población expuesta (receptora), la posibilidad de que ocurra y la magnitud de exposición y consecuencias, así como los valores públicos. Efectos agudos ocurren de una exposición única, generalmente en altas concentraciones durante un periodo corto y el efecto es evidente en un plazo breve. Los efectos crónicos son el resultado de exposiciones continuas o repetidas durante una parte importante de la vida del receptor y los efectos pueden no manifestarse sino hasta mucho tiempo después de la exposición inicial. Las reacciones de tipo alérgico en individuos sensibles, pueden presentarse a niveles de exposición de magnitud inferior a las reacciones de la población en general. En suma, los efectos tóxicos dependen del peligro, de quién lo recibe, y de la cantidad. (Véase también “Glosario y Definiciones” al final del capítulo.)

### *Diferentes tipos/Expresiones de riesgos*

- |                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| • Seguridad                        | • Agudo                              |
| • Salud humana                     | • Subcrónico                         |
| • Ambientales/ecológicos           | • Crónico                            |
| • Bienestar público/buena voluntad |                                      |
| • Financieros                      |                                      |
| • Ocupacionales/trabajador         | • Casos de cáncer                    |
| • Ambiental/público                | • Efectos no cancerosos/sistemáticos |
| • Consumidor/residencial           |                                      |

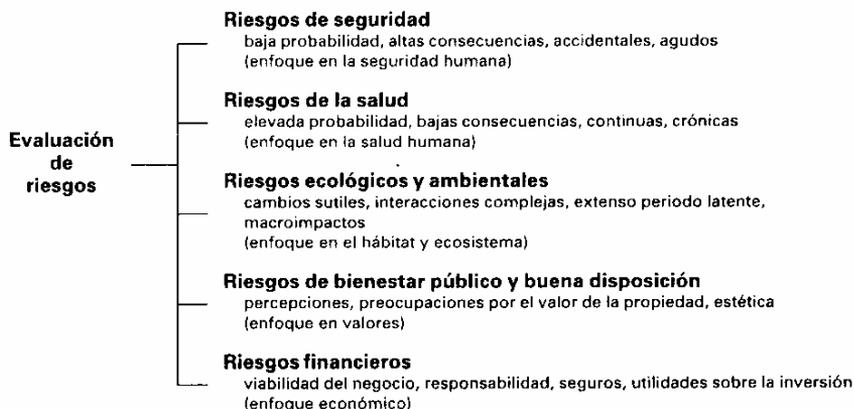


FIGURA 1.1 Principales tipos de evaluación de riesgos y su enfoque.

Los principales tipos de evaluación de riesgos y su enfoque se presentan en la figura 1.1 y se analizan brevemente a continuación:

1. *Riesgos de la seguridad*: Por lo general, accidentes de baja probabilidad de alto grado de exposición y de graves consecuencias; efectos agudos e inmediatos. El tiempo de respuesta es crítico; relaciones de causa-efecto evidentes. El enfoque está en la seguridad humana y la prevención de pérdidas, básicamente dentro de los límites del centro de trabajo.
2. *Riesgos de la salud*: Por lo general, alta probabilidad de exposiciones de bajo nivel, bajas consecuencias, periodo latente prolongado, efectos demorados. Las relaciones de causa-efecto no se establecen con facilidad. El enfoque está en la salud humana, básicamente fuera del centro o instalaciones del trabajo.
3. *Riesgos ecológicos y ambientales*: Efectos sutiles, múltiples interacciones entre la población, comunidades y ecosistemas (incluyendo cadenas alimentarias) en niveles micro y macro; gran incertidumbre en causa y efecto. El enfoque está en los impactos en el hábitat y en los ecosistemas que pueden presentarse a grandes distancias de las fuentes de preocupación.
4. *Riesgos de bienestar público y buena disposición*: Percepciones públicas y de la comunidad relativas al desempeño y los productos de una organización. Las preocupaciones por la estética, valores de la propiedad y las limitaciones en el empleo de recursos. El impacto negativo en las percepciones del público es inmediato; los cambios positivos son lentos. El enfoque está en percepciones y valores públicos.
5. *Riesgos financieros*: Riesgos a corto y largo plazos de pérdida de la propiedad o de los ingresos, exposición a responsabilidades, posibilidad de recuperación de seguros, utilidades en inversiones ambientales, de salud y de seguridad (EHS). El enfoque está en la operabilidad y la viabilidad financiera.

**Medidas e indicadores de riesgos.** En el siguiente recuadro se muestran diversos índices típicos de riesgos. Aun cuando los riesgos financieros se enumeran por separado, todos los tipos de riesgo tienen implicaciones financieras. Por ejemplo, las heridas sufridas por un trabajador implican compensaciones para él, y las evaluaciones por daños a los recursos naturales, ascienden a decenas de millones de dólares (Exxon ya ha gastado más de tres mil millones de dólares como respuesta al derrame petrolero del *Valdez*).

Los efectos en la salud o "puntos finales" se clasifican por lo general en riesgos de cáncer (todo tipo de cáncer) y un grupo diferente al cáncer que todos pueden contraer. El cáncer es considerado como una respuesta sin umbral; por ejemplo, existe cierto incremento de riesgo sin importar lo pequeña que sea la exposición o la dosis. Los riesgos de cáncer generalmente

impulsan el proceso reglamentario porque el cáncer es un resultado nada ambiguo que es temido por el público. Los riesgos de incremento de cáncer no mayores que de  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$ , esto es: de una oportunidad en un millón, a una en diez mil (0.000001 a 0.0001), son considerados generalmente aceptables para propósitos reglamentarios. (El riesgo de antecedentes de vida para desarrollar un cáncer en Estados Unidos es de uno a tres o cuatro o 0.3 versus 0.000001 como punto de partida reglamentario.)

El grupo diferente al cáncer incluye una variedad de efectos de umbral: neurológicos, inmunológicos, respiratorios, cardiovasculares, hepáticos (del hígado), reproductivos, etcétera. La evaluación de riesgos para estos efectos supone que existe un umbral seguro, una dosis abajo de la cual la mayoría de las personas, incluyendo grupos sensibles (por ejemplo, niños y ancianos), no sufrirá un efecto adverso. Estos umbrales, llamados *dosis de referencia* o *niveles mínimos de riesgo*, se analizan en el capítulo 4.

**Fuentes de riesgo.** La "causa" o fuente de los efectos adversos para la salud y la seguridad es el contacto o exposición a agentes peligrosos. Las exposiciones reales o potenciales se estiman al medir o modelar las concentraciones químicas en un medio ambiente; por ejemplo, miligramos de una sustancia en un metro cúbico de aire que respiramos ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), miligramos en un litro de agua que bebemos ( $\text{mg}/\text{L}$  o partes por millón "ppm"), microgramos por litro o partes por miles de millones ( $\mu\text{g}/\text{L}$ , ppm), etcétera. (Ahora podemos medir por rutina, concentraciones tan bajas. Una ppm equivale a 1 minuto en dos años, y una ppmm un segundo en 32 años o una generación.) La exposición a radiaciones se mide en picocuries ( $10^{-12}$  curie) o una milésima de radiación ionizante. El potencial de exposición a una energía alta (por ejemplo, fuegos y explosiones) se expresa generalmente en unidades de radiación termal ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ) o de presión (bar, equivalencia TNT). Estos conceptos se estudian con mayor detalle en los capítulos siguientes.

### *Ejemplos de medidas e indicadores de riesgos*

#### **Indicadores de toxicidad aguda**

$\text{LC}_{50}$ ,  $\text{LD}_{50}$

Concentración letal o dosis letal del 50% de organismos expuestos vía inhalación o ruta oral

#### **Riesgos de seguridad**

Muertes, heridas, pérdida de días laborables

Daños en propiedades

Producción y ventas perdidas

#### **Riesgos para la salud (subcrónicos/crónicos)**

Casos de cáncer en incremento (todo tipo de cáncer)

Peligros no cancerosos (por ejemplo, efectos respiratorios, neurológicos y reproductivos)

#### **Riesgos ecológicos/ambientales**

Abundancia y diversidad de especies (poblaciones)

Alteraciones al hábitat y ecosistema (función, capacidad)

Daño a los recursos naturales (NRD)

#### **Bienestar público/riesgos de buena voluntad**

Restricciones al uso de recursos (por ejemplo, aguas subterráneas)

Olores molestos, perjuicios a la visibilidad, estética

Valor de propiedades

#### **Riesgos financieros**

Seguros (costos, capacidad de recuperación)

Responsabilidad (a corto y largo plazo, incluyendo NRD)

Ingresos ("franquicia de consumo")

## Paradigma y modelos de evaluación de riesgos

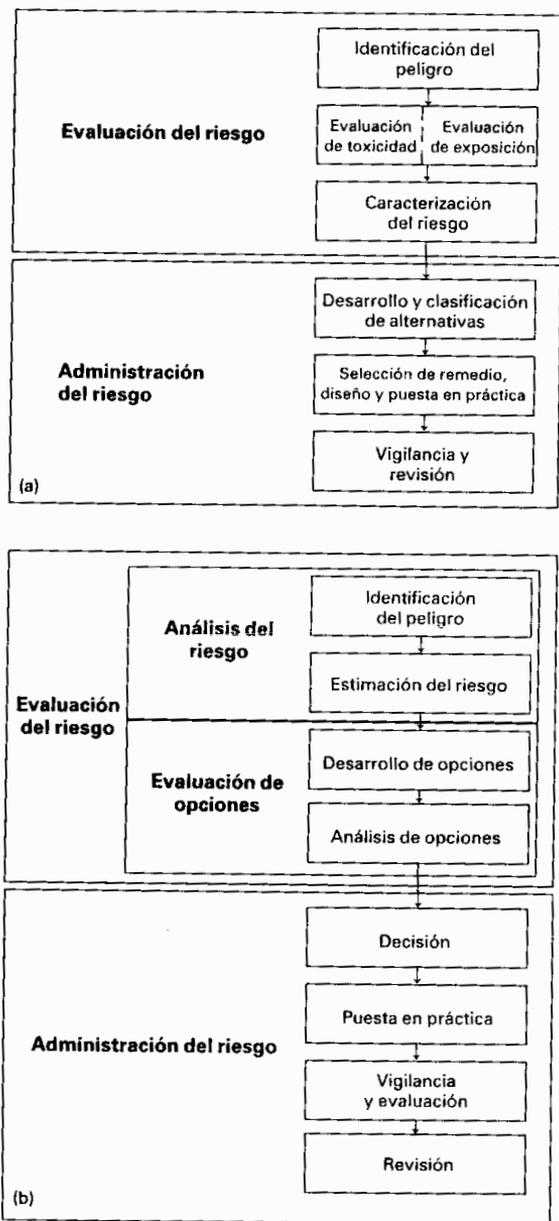
El paradigma de evaluación de riesgos que con frecuencia es adoptado y seguido en Estados Unidos y en un plano internacional se basa en el informe con posibilidades de futuros desarrollos *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process* (el "Libro Rojo") del Consejo de Investigación Nacional, una organización afiliada a la Academia Nacional de Ciencias (NRC/NAS, 1983). El proceso de cuatro pasos consiste en la identificación del peligro, evaluación de reacción a la dosis, evaluación de exposición y caracterización del riesgo (como se ilustra en la figura 1.2 de este capítulo y en la figura 4.1 del capítulo 4).

La tabla 1.2 presenta una panorámica de las evaluaciones de riesgos de seguridad, salud y ecológicos, que incluye los pasos principales del proceso, resultados de interés y aplicaciones típicas. Cada tipo de evaluación de riesgo es analizado con mayor detalle en distintos capítulos. Todas las evaluaciones empiezan por una identificación del peligro o definición del problema (véase la figura 1.2). Un *peligro* es un agente químico, biológico o físico (incluyendo la radiación electromagnética) o una serie de condiciones que son fuente de riesgo, pero no el riesgo en sí mismo. Las definiciones varían en cierto grado, dependiendo del contexto. Por ejemplo, *análisis de peligro para la seguridad* en la industria nuclear y petroquímica, generalmente se refiere a todos los pasos, desde la identificación del peligro hasta la evaluación del riesgo. Por otra parte, en la *evaluación de riesgo para la salud*, el análisis del peligro se considera el primer paso, incluyendo evaluación de datos y selección de químicos de interés. La evaluación de riesgos tiene su parte de siglas, en ocasiones confusas; por ejemplo, HEP significa *procedimientos de evaluación de peligros* en industrias de proceso, pero en la evaluación ecológica significa los *procesos de evaluación del hábitat*.

Una vez que se definen los peligros, el siguiente paso es identificar poblaciones receptoras potenciales y las ubicaciones de exposición; la exposición ocurre cuando un organismo entra en contacto con un peligro, por ejemplo, ocurrencia conjunta en tiempo y espacio de un peligro y un receptor. En otras palabras, un peligro constituye un riesgo sólo si existe un contacto. El propósito de la evaluación de la reacción a la dosis (este paso precede a la evaluación de la exposición en algunos casos) sirve para definir la relación entre el grado de exposición a un peligro y el grado y la posibilidad de reacción en las poblaciones expuestas. En la caracterización de riesgos, los resultados de la evaluación de la exposición y los datos de reacción a la dosis se integran para llegar a estimados de riesgos cuantitativos; las suposiciones clave y fuentes de incertidumbre se expresan con claridad. Este paso sirve como un puente entre la evaluación de riesgo y la administración de éste.

En el análisis del peligro de la seguridad, los puntos finales están bien definidos: muertes, heridas y pérdidas económicas. El impacto es inmediato y transparente; la relación de causa-efecto es clara en términos generales. Ejemplos bien conocidos de accidentes catastróficos son los de Bhopal y Chernobyl. Pero, por el contrario, un alto grado de incertidumbre permea los análisis de riesgos para la salud por causas multifactoriales, ocurrencia de enfermedades en poblaciones no expuestas (propagación de fondo) y largos periodos latentes y cuando mucho la relación de causa-efecto, es tenue. Por ejemplo, todos estamos expuestos a miles de sustancias químicas diariamente, la mayoría de las cuales muy probablemente no causarán una enfermedad debido a las bajas concentraciones a las que generalmente estamos expuestos. Sin embargo, descubrir un peligro verdadero puede ser difícil, ya que algunas enfermedades, en especial el cáncer, tienen un estado latente de 10 a 20 o más años. Los riesgos ecológicos pueden ser todavía más difíciles de evaluar, porque los efectos pueden no ser evidentes excepto en retrospectiva, si llega a darse esto, por las fluctuaciones, inestabilidades y resistencias naturales de los ecosistemas.

Los tres principales tipos de evaluación de riesgos que vimos antes siguen, en esencia, la misma lógica, pero difieren en su énfasis. Los análisis de riesgos de la seguridad tienden a ser mucho más probabilísticos, incorporando la posibilidad de acontecimientos de inicio, así como la posibilidad de exposiciones y la magnitud de las consecuencias. Las evaluaciones de riesgos para la salud humana y ecológicos son determinantes en términos generales y usan estimados de un solo punto en los que la información valiosa permanece oculta para los administradores de los riesgos. Con el advenimiento de programas de cómputo de simulación de bajo costo, las perspectivas han mejorado para extender también el componente probabilístico de estas evaluaciones.



**FIGURA 1.2** Modelos generalizados de evaluación y control de riesgos; (a) Modelo norteamericano. (b) Modelo canadiense. (*Health and Welfare Canada, "Health Risk Determination", 1989/90.*)

**TABLA 1.2** Panorama general y comparación de los tres tipos principales de evaluación de riesgos

Seguridad	Salud humana	Ecológico/ambientales
<b>Pasos principales</b>		
<p>1. Identificación del peligro</p> <p>Materiales, equipo, procedimientos, por ejemplo, tamaño de inventarios y ubicación, flamables, materiales reactivos o altamente tóxicos y acontecimientos de inicio, por ejemplo, mal funcionamiento de equipo, error humano, falla de contenedores.</p>	<p>1. Análisis de datos/identificación del peligro</p> <p>Cantidades y concentraciones de agentes químicos, físicos y biológicos en un medio ambiente en un sitio o área de estudio; selección de químicos de interés.</p>	<p>1. Formulación del problema (estudio del peligro)</p> <p>Flora y fauna residente y en tránsito, especialmente especies en peligro o amenazadas de extinción; encuestas acuáticas y terrestres; contaminantes y tensiones de preocupación en el límite de estudio.</p>
<p>2. Estimación de probabilidad/frecuencia de las causas</p> <p>Posibilidad de iniciación/propagación de acontecimientos y accidentes por causas internas y externas.</p>	<p>2. Evaluación de exposición</p> <p>Sendas y rutas, receptores potenciales incluyendo subgrupos sensibles, tasas de exposición; y tiempos.</p>	<p>2. Evaluación de exposición</p> <p>Sendas, hábitat, o poblaciones receptoras, especies especialmente valiosas y protegidas; concentraciones en punto de exposición.</p>
<p>3. Análisis de consecuencias</p> <p>Naturaleza, magnitud y probabilidad de efectos adversos, por ejemplo, incendios, explosiones, liberación súbita de materiales tóxicos; meteorología; receptores.</p>	<p>3. Evaluación de respuesta a dosis o toxicidad</p> <p>Relación entre exposición o dosis y efectos adversos para la salud.</p>	<p>3. Evaluación de efectos de la toxicidad</p> <p>Pruebas acuáticas, terrestres y microbianas, por ejemplo, estudios de campo LC<sub>50</sub>.</p>
<p>4. Evaluación de riesgos</p> <p>Integración de probabilidades y consecuencias para la expresión cuantitativa de los riesgos de seguridad; revisión de sistema aceptable.</p>	<p>4. Caracterización de riesgos</p> <p>Integración de toxicidad y datos de exposición para expresión cualitativa o cuantitativa de riesgos para la salud; análisis de incertidumbre.</p>	<p>4. Caracterización de riesgos</p> <p>Integración de encuesta de campo, datos de toxicidad y exposición para la caracterización de riesgos ecológicos importantes, relación causal, incertidumbre.</p>
<b>Puntos finales típicos</b>		
<p>Muertes, heridas (seguridad de obreros y público)</p> <p>Pérdidas económicas</p>	<p>Riesgos de cáncer para individuos y la población.</p> <p>peligros no cancerosos</p>	<p>Impactos en ecosistema o hábitat, por ejemplo, abundancia de la población, diversidad de especies; impactos globales</p>
<b>Aplicaciones típicas</b>		
<p>Seguridad de proceso químico y petroquímico</p> <p>Transporte de materiales peligrosos</p> <p>Administración de Procesos de Seguridad OSHA</p> <p>Programas de administración de riesgos de la EPA y estatales</p>	<p>Sitios de depósitos de desperdicios peligrosos (Superfund, RCRA)</p> <p>Autorización por aire, agua y tierra</p> <p>Alimentos, medicamentos, cosméticos</p> <p>Expansión o cierre de instalaciones</p>	<p>Declaraciones de impactos ambientales</p> <p>Evaluaciones de daños a los recursos naturales (NRDA)</p> <p>Sitios de Superfund/RCRA</p> <p>Ubicación de instalaciones, estudio de tierras húmedas</p> <p>Registro de pesticidas</p>

*Nota:* La planificación, incluyendo objetivos claramente definidos y enlaces reiterativos es un elemento clave de todas las evaluaciones de riesgos.

El estudio hasta ahora ha insinuado la super posición entre los riesgos de seguridad, de salud y ecológicos. Para reforzar el punto aún más, consideremos el accidente de la planta nuclear de Chernobyl en 1986. El accidente provocó algunas muertes inmediatas, pero miles de humanos y animales siguen sufriendo (y muriendo) por su exposición a la radiación. Un área enorme, que se extiende varios kilómetros alrededor de la planta, quedó contaminada y el consumo de leche y carne sigue restringido. Más cerca de casa, un riesgo de cadena alimentaria conocido está presente por el consumo de pescados y mariscos contaminados que han bioacumulado pesticidas, mercurio, y otros compuestos solubles en grasa. En este contexto, es necesario tener presente que los humanos son parte de un ecosistema, en equilibrio dinámico con su entorno (Fig. 1.3). Las descargas antropógenas naturales de agentes benéficos y peligrosos constantemente se acumulan y transforman en nuestra biosfera. Durante milenios, los humanos, así como las plantas y los animales, han creado mecanismos de defensa que nos sirven bien, a menos de que se sobrecarguen y abatan. Los asesores en riesgos de la salud deben tener en mente, sin embargo, que los nutrientes esenciales humanos tales como el cobre y el zinc en el medio ambiente pueden ser tóxicos para otras especies.

Aun cuando la fuerza principal de esta obra es la evaluación cuantitativa de riesgos, las evaluaciones de riesgos cualitativas con frecuencia pueden desempeñar un papel útil para propósitos de revisión. Designar carcinógeno probable para los humanos, un producto químico, por ejemplo, equivale a una caracterización de un riesgo cualitativo. En el análisis de riesgos de la seguridad, el "¿qué sucede si?" es una técnica cualitativa, pero poderosa, de intercambio de ideas, muy utilizada para explorar posibilidades como ¿qué sucede si la energía eléctrica es interrumpida por un huracán? ¿Qué sucede si un proveedor entrega un material equivocado o en concentraciones equivocadas? ¿Qué sucede si el operario abre o cierra la válvula equivocada? La técnica del "qué sucede si" con frecuencia es utilizada en conjunto con listas de verificación de procedimientos de operación estándar (SOP) y buenas prácticas de manufactura (GMP).

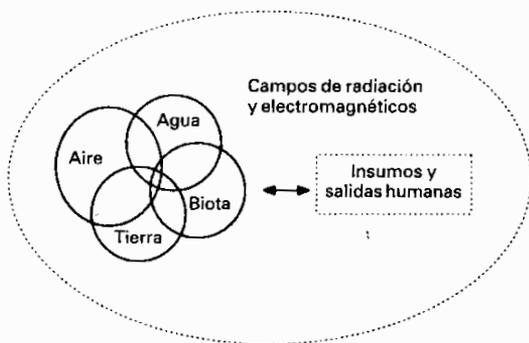


FIGURA 1.3 Interacción dinámica humana en el medio ambiente.

## Objetivos y aplicaciones

La razón fundamental de la evaluación de riesgos es decidir la necesidad y la naturaleza del control de riesgos. Como señaló el Consejo Asesor en Ciencias de la EPA, las evaluaciones de riesgos nos permiten establecer prioridades ambientales y asignar recursos nacionales. El siguiente recuadro resalta los objetivos claros y las ventajas y limitaciones de las evaluaciones de riesgos.

**Ventajas.** Los criterios de riesgos proporcionan un marco de referencia efectivo para asignar prioridades a los problemas, asignar recursos y reducir riesgos. Utilizando los resultados de

### *Evaluaciones de riesgos: objetivos, ventajas y limitaciones*

#### **Objetivos**

- Obtener una perspectiva de diferentes fuentes y naturaleza del riesgo —obtener conocimiento de los riesgos entre fuentes, espacio y tiempo.
- Identificar los “peores” riesgos así como riesgos sensibles para la inversión y sensibles para el tiempo.
- Buscar un marco sistemático para la asignación óptima de recursos para evitar o controlar riesgos.

#### **Ventajas**

- Preocupaciones públicas de “línea de fondo” sobre salubridad y seguridad pública expresadas en lenguaje común.
- Marco sistemático para asignar prioridades de problemas, asignar recursos y evitar problemas futuros.
- Bases científicas para el control de riesgos.

#### **Limitaciones**

- No existe un consenso amplio sobre el propósito, el enfoque o los resultados; datos inadecuados, presunciones especulativas y de naturaleza miope.
- Pocos profesionales calificados con el rango de habilidades necesarias; asesores de riesgos, ingenieros y economistas hablan distintos idiomas.
- Clientes múltiples, intereses diversos, expectativas fuera de la realidad, problemas de credibilidad.

análisis de peligros y riesgos, pueden enfocarse recursos para la prevención, remedio o control hacia peligros susceptibles a la acción, por ejemplo, áreas, fuentes o situaciones en las que las mayores reducciones de riesgos pueden alcanzarse desde el uso conjunto de recursos. En términos financieros, los recursos pueden apalancarse; la evidencia empírica hasta el día de hoy sugiere que los análisis bien diseñados y dirigidos pueden rendir ahorros del 5 al 20% de los costos totales del proyecto al hacer énfasis en las mayores fuentes de riesgos y reducir la incertidumbre asociada.

**Limitaciones.** Tal vez el limitante más importante para la comprensión del potencial pleno de evaluaciones de riesgos es el escaso número de profesionales que tienen amplia capacitación y la perspectiva necesaria para trascender el enfoque de “libro de cocina” y concentrarse en los problemas críticos. Tampoco existe un consenso científico en el enfoque y el propósito para el cual los análisis de riesgos podrían servir. La magnitud de la incertidumbre en ocasiones tiende a distraer de la evaluación científica de riesgos. Por ejemplo, en la ingeniería, el diseñador de una vasija de reactor puede incluir un factor de seguridad doble o triple y un puente puede tener un factor de seguridad cinco o seis veces más alto. En contraste, los estimados de riesgos normalmente exhiben dos o tres órdenes de magnitud de incertidumbre. Por éste y otros motivos, muchos creen que las expresiones de riesgos son un intento de confundir respuestas en una pregunta sencilla: “¿Es seguro o inseguro?”. Algunos patrocinadores de la evaluación de riesgos creen que es una herramienta para demostrar que existen pocos o ningún riesgo. Más aún, los profesionales en evaluación de riesgos tienen que atender a clientes múltiples con intereses diversos: el cliente que paga, la EPA u otras agencias federales, la agencia estatal, los abogados, los compañeros revisores, grupos de interés público y otros. En este panorama de hechos, el objetivo último, la salud pública, bien podría ser ignorada.

**Aplicaciones.** Las evaluaciones de riesgos pueden aplicarse en una gran variedad de situaciones, por ejemplo, para:

- Evaluar los beneficios y costos de los reglamentos existentes y propuestos.
- Evaluar beneficios (por ejemplo, efectos terapéuticos) versus los riesgos (por ejemplo, efectos secundarios) de nuevos medicamentos.
- Valorar beneficios (rendimientos más altos, menos desperdicios) versus los riesgos (contaminación del medio ambiente, residuos en alimentos) por el uso de pesticidas.
- Evaluar la ubicación de instalaciones, la seguridad de los procesos y los riesgos de transportación para ayudar en la selección de sitios y rutas y mejorar el diseño.
- Realizar análisis de línea de base de un sitio o instalación para determinar la necesidad de acciones correctivas y el grado de limpieza requerido.
- Desarrollar metas de erradicación de contaminantes cuando las autoridades federales o estatales no han publicado normas numéricas o buscar variación de las normas y guías (por ejemplo, límites de concentración alternos).
- Construir escenarios de "qué sucedería si", por ejemplo, para comparar el impacto potencial de alternativas reparadoras y establecer prioridades para acción correctiva.
- Evaluar tecnologías existentes y nuevas para una prevención efectiva, control o mitigación de peligros y riesgos.
- Crear un marco científico para cerrar o suspender actividades en instalaciones.
- Atender las preocupaciones de la comunidad en asuntos de salubridad y seguridad públicas y proporcionar una base consistente de expectativas entre diferentes situaciones.
- Proporcionar una base científica para una reducción de riesgos colectiva y un programa de administración.

**Agencias reglamentarias.** Las principales agencias federales que por rutina usan evaluaciones de riesgos se presentan en el siguiente recuadro. Las cuatro agencias principales responsables de limitar la exposición de los humanos, son la Environmental Protection Agency, la Food and Drug Administration, la Occupational Safety and Health Administration, y la Consumer Product Safety Commission. La tabla 1.3 muestra su enfoque reglamentario y los presupuestos para el año fiscal norteamericano de 1995 (octubre de 1994-septiembre de 1995). El presupuesto anual de la EPA de 7.2 miles de millones de dólares opaca fácilmente la suma de los otros tres. (Casi 3 mil millones de dólares del presupuesto de la EPA están destinados para financiamiento de infraestructura acuífera y 1.4 para programas del Superfund.) El motivo principal es que la EPA tiene la responsabilidad de proteger, tanto la salud humana

**TABLA 1.3** Enfoque reglamentario y recursos de agencias norteamericanas selectas

Agencia	Enfoque reglamentario	Presupuesto fiscal 1995 (\$ millones)	Número de empleados
Environmental Protection Agency (EPA)	Medio ambiente: aire, agua, tierra; pesticidas; exposiciones de humanos y el entorno	7 240 970	18 396
Food and Drug Administration (FDA)	Alimentos, medicamentos (humanos, veterinarios), cosméticos, dispositivos médicos	312	9 321
Occupational Safety and Health Administration (OSHA)	Trabajadores y condiciones en el centro de trabajo	43	2 317
Consumer Product Safety Commission (CPSC)	Productos para el consumo en el hogar		487

*Fuente:* Oficina de control de documentos presupuestales y comunicación personal.

como la calidad ambiental, una característica poco acostumbrada. La estructura más común, no necesariamente mejor, en otros países es la de tener dos agencias distintas responsables del medio ambiente y la salud pública.

#### *Agencias federales norteamericanas que usan la evaluación de riesgos*

- Environmental Protection Agency (EPA)
- Food and Drug Administration (FDA)
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA)
- Consumer Product Safety Commission (CPSC)
- Department of Transportation (DOT)
- Department of Agriculture (USDA)
- Department of Energy (DOE)
- Department of Defense (DOD)
- Nuclear Regulatory Commission (NRC)
- Federal Emergency Management Agency (FEMA)

### **Evaluación y administración de riesgos**

*La administración de riesgos* es el proceso de evaluar, y, de ser necesario, controlar fuentes de exposición y riesgo. Una buena administración de riesgos ambientales, ya sea colectiva o reglamentaria, significa sopesar muchos atributos distintos de una decisión y generar alternativas. La información científica proporcionada por la evaluación de riesgos es sólo una aportación inicial al proceso. Otros criterios incluyen política, economía, riesgos de competencia y equidad y otras preocupaciones sociales. Aun cuando la evaluación de riesgos está enraizada en la ciencia, lo útil que resulten sus resultados para la administración de riesgos, depende de las preguntas con las que se buscó, una respuesta, cómo se lleva a cabo y la forma cómo están estructuradas. Lamentablemente, demasiadas evaluaciones de riesgos demuestran ser de poco o ningún valor para los administradores de riesgos por una planificación inadecuada.

**Desalineación.** En su primer informe: *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process* (NRC, 1983), el National Research Council recomendó que la evaluación de riesgos se mantuviera separada de la administración de los riesgos porque estos últimos requieren la consideración de los datos de los riesgos así como cuestiones políticas, sociales, técnicas y económicas para el desarrollo de opciones alternativas para responder a peligros actuales o potenciales. Sin embargo, el Comité NRC dice: "Las funciones de evaluación de riesgos y administración de riesgos son analíticamente distintas, pero en la práctica, y así debe ser, deben interactuar. Por ejemplo, para completar la caracterización de riesgos, los asesores en riesgos deben saber qué opciones políticas han de utilizarse para calcular exposiciones alternativas proyectadas y qué nuevas opciones pueden surgir conforme se desarrolla el proceso de administración de riesgos. La separación podría también afectar la capacidad del administrador de riesgos para obtener evaluaciones que sean oportunas y útiles" (NRC, pág. 152).

Si bien el propósito de la recomendación de la NRC de mantener la evaluación de riesgos separada de los problemas de administración es para evitar un juicio anticipado de los resultados por implicaciones de costos y juicios de valor (aislar la ciencia de la política y de los políti-

cos), las fases de la evaluación y administración sufren de esta separación en la práctica. En el proceso de mejora del Superfund, por ejemplo, se espera que la evaluación de riesgos proporcione un enlace clave entre la investigación de mejora del sitio y la caracterización del contaminante y el estudio de probabilidades de realizar la acción de mejora. No obstante, la recolección de datos del sitio y del contaminante y su presentación, pocas veces son adecuadas para realizar una mejora. El problema empeora por la larga fase de estudio y el lapso entre la fase de estudio y la de acción (5 a 10 años o más), cambios en consultores y de personal de la EPA y la agencia estatal. En el modelo de evaluación de riesgos canadiense, mostrado en la figura 1.2, la elaboración de opciones de mejora empieza pronto en el proceso y las fases de evaluación y administración están mejor integradas.

### Capacidad de aceptación de riesgos

Los estimados de riesgos, incluyendo los estimados de probabilidades, no responden a la pregunta "¿seguro o inseguro?". Queda en manos de los elaboradores de políticas y administradores de riesgos el juzgar cuál es un nivel seguro o aceptable, basados en muchos criterios, incluyendo beneficios frente a riesgos.

**Ideal de riesgo-cero.** De acuerdo con el *principio de riesgo-cero*, ningún riesgo puede ser tolerado, sin importar lo pequeño que sea y cualesquiera que sean los beneficios para la sociedad. Sin embargo en la práctica no vivimos ni podemos vivir en un mundo libre de riesgos. Siempre existe el riesgo de antecedente de fuentes naturales y un riesgo "pequeño" parecería preferible si puede evitarse un riesgo mayor. Ejemplos de tales riesgos pueden ser el de la toxicidad de un aditivo en los alimentos para impedir que se eche a perder frente al riesgo de envenenamiento por alimentos contaminados, los beneficios de impedir padecimientos de la infancia mediante vacunaciones contra el riesgo de reacciones adversas o el riesgo de daño a tejidos y cáncer por rayos X para diagnóstico contra el beneficio de una pronta detección del cáncer. La "Cláusula Delaney" de la Federal Food, Drug, and Cosmetic Act que prohíbe el uso de cualquier aditivo alimenticio o medicamento de origen animal si se determina que produce el cáncer en humanos o animales, ejemplifica el ideal de riesgo-cero. (Véase Harvard Center for Risk Analysis, *A Historical Perspective on Risk Assessment in the Federal Government*, para un análisis interesante del dilema planteado por la Cláusula Delaney. 1994, pp. 20-24.)

**Riesgos de Minimis y de Manifestis.** El *principio de Minimis* significa que hay algunos niveles de riesgo que son tan triviales que no merece la pena ocuparse de ellos ("La Ley no se ocupa de insignificancias"). Si bien es un concepto atractivo, es difícil definir un nivel de Minimis para la sociedad entera. Es comprensible que las autoridades reglamentarias se muestren reuentes a ser explícitas acerca de un riesgo aceptable, pero un riesgo de vida entera en el orden de uno en un millón ( $1 \times 10^{-6}$ , o 0.000001) para el público en general, con frecuencia es considerado aceptable en gran parte del mundo industrial y es utilizado por la EPA, FDA, y CPSC. Los orígenes del riesgo aceptable de uno en un millón y el significado de tal riesgo sigue siendo oscuro; nuestras investigaciones no arrojan mucha luz excepto la que pudo concebirse por hechos como las oportunidades de ganar un millón de dólares en la Lotería de Maryland en la década de 1960 y la idea de que el riesgo es tan pequeño, que nadie lo observaría. Cualquiera que sea lo racional, los impactos en elección de productos, operaciones y costos son muy reales (ascienden, por ejemplo, a cientos de miles de millones de dólares en decisiones de limpieza de un solo sitio). Los niveles de riesgo en la parte alta del rango ( $10^{-4}$  más que  $10^{-6}$  en sitios de Superfund y RCRA) puede ser aceptable si sólo unas cuantas personas son expuestas, frente al país entero, como sería el caso de aditivos para alimentos, por ejemplo. También, niveles de riesgo más altos son considerados aceptables para los trabajadores más que para la población en general, porque los trabajadores tienden a ser un grupo más homogéneo y saludable y por la naturaleza voluntaria del empleo y los beneficios derivados. Si bien existe un valor en tener "líneas brillantes" generales de niveles de riesgo aceptables, lo que es aceptable en una situación determinada, finalmente dependerá del contexto y tendrá que decidirse sobre bases de casos específicos.

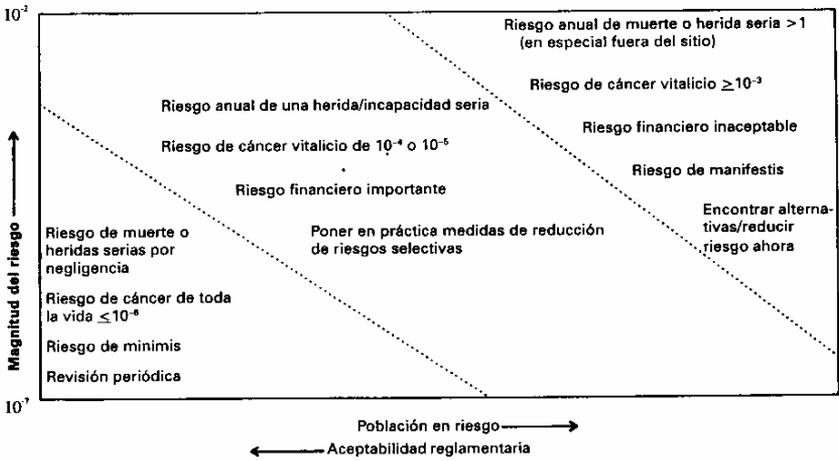


FIGURA 1.4 Riesgos de minimis y de manifestis —un ejemplo.

Otro criterio utilizado en las decisiones de administración de riesgos es el costo marginal de evitar una muerte, por lo general en el rango de los 2 a 8 millones de dólares. Tales criterios económicos se elaboran implícitamente en Estados Unidos y en forma más explícita en Europa y otras naciones industriales.

Al otro extremo del espectro está el *riesgo de Manifestis*, esto es, un riesgo tan obvio que debe ser controlado sin importar su costo. Un riesgo de más de uno en un millar ( $10^{-3}$ ) se encuentra en esta categoría y muy probablemente provocará una acción reglamentaria. Las figuras 1.4 y 1.5 ilustran formas simples de analizar y asignar prioridades a los diferentes tipos de riesgos para una acción administrativa.

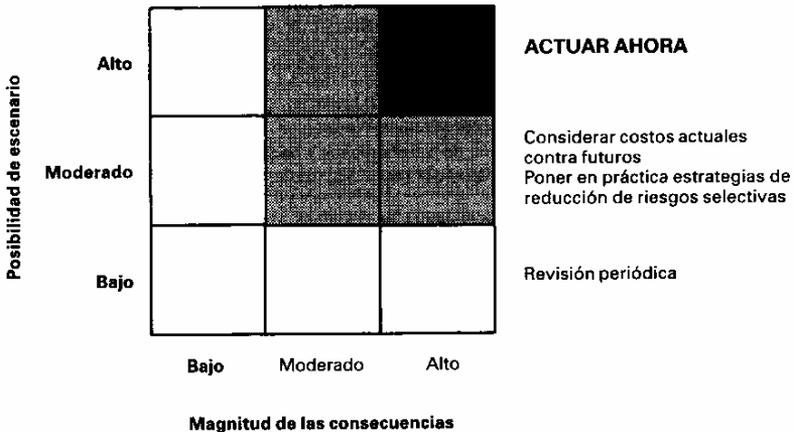


FIGURA 1.5 Prioridades de administración de riesgos —una ilustración.

## ¿Cuáles son nuestros riesgos?

Después de leer todo acerca de las virtudes de evaluación de riesgos y su papel para mitigar los riesgos, podríamos preguntarnos cuáles son nuestros riesgos con precisión y quién o qué es responsable de esos riesgos. No existe, por supuesto, una respuesta correcta única, sino varias preguntas que surgen antes de que pueda intentarse una respuesta: ¿qué tipo de riesgo: riesgo de muerte, de sufrir una herida, una enfermedad, pérdidas financieras, extinción de especies protegidas, cuándo, dónde, quién?

La tabla 1.4 presenta desastres importantes ocurridos en Estados Unidos de 1973 a 1993, clasificados por el número de muertes por causa o evento. Tan simple como parece la tabla, señala la complejidad de los problemas de riesgo. De primera intención, los viajes aéreos parecen de alto riesgo, ya que once de los veinte desastres mayores, están asociados con accidentes de aviación. Pero más aún, ¿qué hay del riesgo de muerte por kilómetro viajado? ¿Qué hay de los riesgos de sufrir heridas? ¿Se refieren los riesgos sólo a aquellos que viajan o a la población entera? El panorama ya no es tan claro.

**TABLA 1.4** Desastres importantes en Estados Unidos, 1973-1993 (clasificados por el número de muertes)

Fecha	No. de muertes	Causa/evento
Abril, 1974	307	Tornados en el Sur y el Medio Oeste
Mayo, 1979	273	Accidente aéreo cerca del Aeropuerto O'Hare, Chicago
Marzo, 1993	270	Tormenta de nieve en el Este de Estados Unidos
Mayo, 1977	164	Incendio en centro nocturno en Southgate, Kentucky
Agosto, 1987	156	Accidente aéreo en Detroit, Michigan
Julio, 1982	154	Accidente aéreo en Kenner, Louisiana
Julio, 1976	145	Inundación súbita en el Cañón del Río Big Thompson, Colorado
Sept., 1978	144	Colisión de dos aviones sobre San Diego, California
Agosto, 1985	135	Accidente aéreo en el Aeropuerto de Dallas/Fort Worth, Texas
Junio, 1975	113	Accidente aéreo en Nueva York, N.Y.
Julio, 1981	113	Colapso de puente elevado para peatones en un hotel, Kansas City, Missouri
Julio, 1989	112	Accidente aéreo en Sioux City, Iowa
Junio/julio, 1993	100	Onda de calor en el Sur Este
Dic., 1974	92	Accidente aéreo cerca de Upperville, Virginia
Julio, 1973	89	Accidente aéreo en Boston, Massachusetts
Nov., 1980	84	Incendio en hotel de Las Vegas, Nevada
Agosto, 1986	82	Colisión de dos aviones sobre Los Ángeles, California
Enero, 1978	80	Ventisca en el Medio Oeste
Enero, 1982	78	Accidente aéreo en Washington, D.C.
Oct., 1976	78	Colisión de transbordador y buque tanque en el Río Mississippi, Louisiana
<b>Accidentes en el centro de trabajo/ocupacionales</b>		
Abril, 1978	51	Colapso de andamios de torre de enfriamiento, Willow Island, West Virginia
Dic., 1977	35	Explosión de ascensor de granos en Westwego, Louisiana
Abril, 1987	28	Colapso de edificio de apartamentos en construcción en Bridgeport, Connecticut
Dic., 1984	27	Incendio en mina en Orangeville, Utah
Sept., 1991	25	Incendio en planta procesadora de alimentos en Hamlet, Carolina del Norte

Fuente: Consejo de Seguridad Nacional, *Accident Facts 1994*.

La contribución relativamente pequeña de los accidentes industriales puede ser un tanto sorprendente. El mayor accidente ocurrido en Estados Unidos, en West Virginia en 1978, provocó 51 muertes. De hecho, el escenario industrial ha estado marcado por una reducción sustancial en las muertes en el centro de trabajo y ocupacionales e índices de muertes desde principios de este siglo. En una fuerza de trabajo de casi 120 millones, 9 100 vidas de trabajadores se perdieron en 1993, cerca de la mitad de los registrados hace 80 años cuando la fuerza de trabajo era inferior en una tercera parte y el Producto Nacional Bruto (PNB) era de menos de una décima parte de lo que es hoy día. Por contraste, los índices de heridas que producen incapacidad han estado en crecimiento, tanto dentro como fuera del centro de trabajo. En la década entre 1983 y 1993, en tanto que las muertes en el centro de trabajo disminuyeron 30%, el índice de heridas creció 42% (National Safety Council, 1994). Es evidente que este problema merece un renovado interés por las enormes implicaciones en calidad de vida y financieras (véase capítulo 5).

Una perspectiva interesante sobre los riesgos, publicada por Richard Wilson, se presenta en el recuadro siguiente. Muestra varias actividades y exposiciones que se estima se incrementan en cuanto a la posibilidad de muerte de un individuo en un año por una en un millón ( $10^{-6}$  o 0.000001). El riesgo de uno en un millón se usa comúnmente como una marca fija reglamentaria o "línea brillante" que se analiza más adelante bajo la administración de riesgos.

**Actividades asociadas con el riesgo en incremento de riesgo de muerte de uno en un millón en un año**

Actividad/exposición	Tipo de riesgo
Fumar 1.4 cigarrillos	Cáncer, enfermedad del corazón
Pasar 1 hora en una mina de carbón	Enfermedad pulmonar
Vivir 2 días en Nueva York o Boston	Contaminación del aire
Viajar 450 kilómetros en auto	Accidente
Viajar 15 kilómetros en bicicleta	Accidente
Volar 1 600 kilómetros en jet	Accidente
Vivir 2 meses en Denver en vacaciones desde Nueva York	Cáncer causado por radiación cósmica
Vivir 2 meses con un fumador de cigarrillos	Cáncer, enfermedad del corazón
Una radiografía de rayos X del pecho tomada en buen hospital	Cáncer causado por radiación
Comer 40 cucharadas de mantequilla de maní	Cáncer del hígado provocado por aflatoxina
Beber 30 latas de 12 onzas de refresco dietético	Cáncer causado por sacarina
Riesgo de accidente al vivir en un radio de ocho kilómetros de un reactor nuclear durante cincuenta años	Cáncer causado por radiación

**Fuente:** Richard Wilson, citado por Joseph Rodricks, 1992; Edmund Crouch and Richard Wilson, Risk/Benefit Analysis, 1982.

### Administración de riesgos: algunas cuestiones y tendencias

El uso de la evaluación de riesgos en la administración de riesgos corporativos se vuelve cada vez más evidente como se ve en los capítulos 2 y 3. Los negocios pueden verse obligados a responder a preocupaciones reglamentarias, querrán rediseñar el perfil de riesgos de sus operaciones, administrar los esfuerzos de prevención de la contaminación o crear estrategias a largo plazo basadas en principios de administración de riesgos. Además de reglamentos emitidos por la EPA, OSHA, FDA y otras, las políticas EHS corporativas se ven influenciadas más y más por un número de fuerzas no tradicionales (en ocasiones llamadas reguladores sustitutos) que influyen en los asuntos de riesgos: instituciones financieras (por ejemplo, bancos, compañías de seguros), la Comisión de Valores y Cambios, asociaciones industriales (por ejemplo, la CMA), la International Organization for Standardization (ISO) y como también las expectativas públicas.

Responder a la presión reglamentaria ha sido el principal uso corporativo de la evaluación de riesgos en el pasado. Las empresas realizarían evaluaciones de riesgos para apoyar solicitudes de autorizaciones para descargas, determinar las necesidades de administración de riesgos para sitios de Superfund, reducir responsabilidades potenciales en transacciones con propiedades y apoyar el desarrollo de nuevos productos. Muchas empresas han desarrollado una experiencia considerable en la evaluación de riesgos, en tanto que otras acuden a consultores externos (tabla 1.5). En cualquiera de los casos, conforme las corporaciones se familiarizan más con las promesas y carencias de la evaluación de riesgos, la atención se enfoca más y más en nuevos usos de esta herramienta.

Algunas empresas empiezan a evaluar el "perfil de riesgos" de sus operaciones. En lo que algunas veces se llama una *auditoría ambiental*, las operaciones de una planta se examinan para determinar el potencial de presentar un riesgo para los trabajadores, los vecinos de la planta o el medio ambiente. La auditoría debe examinar los materiales utilizados, los procesos empleados, los productos elaborados y las prácticas de disposición de desperdicios: el ciclo de vida. Se ha determinado que en ocasiones las partes de una operación que representan el mayor riesgo, no son aquellos que atraen la atención reglamentaria. El uso de estas auditorías ambientales en combinación con la evaluación de riesgos puede ayudar a las compañías a

**TABLA 1.5** Ejemplo de empresas y organizaciones no lucrativas que utilizan la evaluación de riesgos

Análisis de seguridad de peligros y riesgos	
Empresas privadas	Organizaciones no lucrativas
Arthur D. Little	American Institute of Chemical Engineers
Decision Focus	Center for Chemical Process Safety (AIChE-CCPS)
DNV Technica	American Petroleum Institute (API)
DuPont Safety & Environmental Services	Battelle Columbus
IBF Associates	Chemical Manufacturers Association (CMA)
Pickard, Lowe, & Garrick	SRI International
Primattech	United Nations Environment Programme (UNEP)
Science Applications International Corp. (SIAC)	(Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level "APELL")
Stone & Webster	
Evaluación de riesgos para la salud y ecológicos	
Más firmas especializadas	Firmas ambientales diversificadas
Chem Risk/McLaren Hart	ABB Environmental
Clement/ICF	Brown & Root/NUS/Halliburton
Dynamac	Camp Dresser & McKee (CDM)
EA Engineering, Science and Technology (énfasis ecológico)	CH2M Hill
ENSR Consulting and Engineering	Dames & Moore
Ecology and Environment	ERM Group
Gradient Corp.	Foster Wheeler Environmental
Lawler Matuskly & Skelly (énfasis ecológico)	Geraghty & Miller Harding Lawson
Life Systems	International Technology (IT) Corp.
Terra	Law Cos Group
Versar, Inc.	Montgomery Watson
	Parsons Engineering Science
	Roy F. Weston
	Woodward-Clyde

**Nota:** Esta lista sólo proporciona ejemplos de organizaciones que ofrecen servicios de evaluación de riesgos y no es completa. La división entre firmas especializadas y diversificadas es un tanto arbitraria y su propósito es el de indicar el énfasis original y/o que una parte sustancial de los ingresos totales se deriva de servicios de evaluación de riesgos. Esta lista no debe ser interpretada como un apoyo comercial.

reducir responsabilidades, incrementar la seguridad de los trabajadores y mejorar las relaciones con la comunidad.

Se está dando un mayor énfasis a la prevención de la contaminación, más que a los controles al final de la línea, para reducir los riesgos humanos y ambientales. La prevención de la contaminación puede requerir la sustitución de materias primas, cambios en procesos o equipos para el proceso, mejoras en el mantenimiento en la planta y muchas estrategias más. Las herramientas de evaluación de riesgo son cruciales en todos estos casos para garantizar que las actividades corporativas de prevención de la contaminación en verdad reduzcan los riesgos. Ha habido muchos casos en los que las empresas han hecho sustituciones apresuradas sólo para encontrar más adelante que aun cuando un producto químico de reemplazo es menos tóxico, es necesario utilizar más o que cuando el nuevo producto químico fue puesto a prueba y se examinó su ciclo de vida, resultó ser una amenaza mayor (véase capítulo 17). Las compañías progresistas ahora empiezan a utilizar la evaluación de riesgos para evaluar estrategias alternativas de prevención de la contaminación como un punto de partida para la administración corporativa de riesgos.

Muchas empresas empiezan a ver la administración de riesgos como parte de su manera de pensar estratégica a largo plazo (véanse capítulos 2, 3 y 18). De esta forma, la evaluación de riesgos se convierte en una herramienta, tal como el análisis financiero, que permea la manera de pensar en todas las áreas de la compañía. Esto significa que la manera de pensar en cuanto a administración de riesgos desempeña un papel importante en el diseño del producto, la mercadotecnia y la contabilidad, así como en el aspecto de producción del negocio. Este tipo de cambio requiere un compromiso de vanguardia de parte de la administración a cambio de recompensas estratégicas.

La administración de riesgos reglamentaria surge de la necesidad de proteger a los miembros de la sociedad y el entorno natural. Muchos programas para toma de decisiones sociales se han establecido como métodos para la administración de riesgos ambientales. Incluyen "líneas brillantes", que atacan los riesgos más grandes primero, la eficiencia económica desde el punto de vista de análisis costo-beneficio, haciendo su mayor bien para la mayor parte de las personas y la equidad ambiental. En su mayoría dependen de estimados de riesgos del proceso de evaluación de riesgos como una información inicial importante para las decisiones.

Muchos observadores creen que la EPA y otras agencias federales en la actualidad hacen énfasis en el enfoque de "línea brillante" para la administración de riesgos. Este programa de toma de decisiones depende de estimados numéricos de riesgos aceptables. Si un estimado de riesgo está por encima de la "línea brillante", es necesario tomar una acción; si el riesgo está por abajo, es ignorado (un proceso de decisiones de prueba y error). Muchos se oponen a este método de administración de riesgos porque ignora otros factores sociales y científicos que influyen en la administración de riesgos. También retira el poder de decisiones de un gerente de riesgos responsable y lo coloca en el analista de política o legislador quien designa el valor de la "línea brillante". Además, ya que la evaluación de riesgos es un proceso tan incierto, el uso de un solo estimado de riesgo para comparar con un nivel de riesgo aceptable oculta una gran cantidad de información científica de importancia para el administrador de riesgos.

El concepto de atacar el mayor riesgo en primer término parece atractivo. Con frecuencia es la noción detrás de los llamados de "asignar prioridades" a las amenazas a la salud humana y al medio ambiente. La toma de decisiones de la "peor primero", sin embargo, con frecuencia enfrenta un problema fundamental: los riesgos mayores no son necesariamente aquellos que puedan reducirse con facilidad. Esto puede ser por varios motivos, incluyendo factores sociales: no es probable que las personas dejen de conducir autos para reducir el monóxido de carbono y las emisiones de hidrocarburos, por ejemplo, o por restricciones naturales, a ciertos niveles más bajos que el antecedente natural. Por este motivo, algunos sugieren que en lugar de asignar prioridades al mayor riesgo, simplemente asignemos prioridades a las mejores oportunidades para reducir riesgos.

El concepto de análisis costo-beneficio y la eficiencia económica adquiere fuerza como tema de administración de riesgos. Sus defensores creen que al enfocar los riesgos con el índice de costo-beneficio más bajo (o el índice beneficio-costo más alto) podemos sacar el mayor provecho al reducir el riesgo con recursos limitados. El gobierno de Clinton está

considerando propuestas para la emisión de créditos en los tratos de la contaminación del aire (presentados en la Clean Air Act de 1990), hacia otras áreas, incluyendo la contaminación del agua. La idea consiste en dar a industrias y comunidades la flexibilidad de alcanzar una reducción equivalente en la contaminación por el menor costo global. Algunos ambientalistas están preocupados, sin embargo, porque factores difíciles de cuantificar, como el valor de una selva virgen o la seguridad proporcionada a la gente por una reducción constante de la contaminación puedan ser ignorados por el análisis costo-beneficio. No obstante, es evidente que al ignorar el análisis costo-beneficio, Estados Unidos gasta cantidades de dinero muy distintas para atender fuentes de riesgos de mortalidad (Tengs y otros, 1995).

Programa salvador de vidas	Costo por año de vida salvada
Vacuna para la rubéola para niños de 2 años	≤\$0
Prohibir clorobenzilato en cosechas no cítricas	≤\$0
Prohibición de usar clorobenzilato en cosechas cítricas	\$1 182 000
Donadores de pruebas de sangre para HIV	\$13 500
Lovastatina para hombres de edades de 45 a 54 sin enfermedades cardíacas y colesterol en la sangre ≥300 mg/dl	\$33 510
Control de emisiones de benceno en ventiladores de procesos de manufactura química	\$526 323 000

La *equidad ambiental*, asegurándose de que algunos de los miembros de la sociedad no lleven una carga excesiva de los riesgos ambientales, se convierte en un factor de mayor importancia para la administración de riesgos. Surge un problema cuando existe un conflicto entre la noción de administración de riesgos por hacer el mayor bien para el mayor número de personas y la equidad ambiental. Con frecuencia se sostiene que algunos tipos de reglamentos, como los permisos intercambiables por contaminación, son formas eficientes para proporcionar el mayor bienestar para un mayor número de personas porque llevan a reducciones en las emisiones más grandes y más rápidas. En este caso, el conflicto con el enfoque a la equidad podría surgir si todas las plantas que compran permisos y no recortan emisiones estuviesen concentradas en un área o en otra ya sujeta a otros tipos de contaminación. Las evaluaciones de riesgos pueden ayudarnos a comprender si algunos grupos soportan una parte inequitativa del riesgo.

La administración de riesgos no es un proceso de "libro de cocina". El sopesar acciones alternativas e intereses en competencia significa que el juicio humano siempre debe desempeñar un papel. Lo que los administradores de riesgos necesitan es buena información sobre los mismos que les permita realizar su trabajo, tomar una decisión equilibrada. Y el tomar decisiones con los ojos abiertos significará una administración de riesgos mejor informada.

### **PERSPECTIVA REGLAMENTARIA: ESTUDIO DE CASOS ILUSTRATIVOS**

Es interesante considerar el papel de la evaluación de riesgos en decisiones reglamentarias y el juego entre mandatos legislativos, incertidumbre científica, valores sociales, factibilidad técnica y factores económicos. Los primeros dos casos que se presentan se refieren a las complicaciones de administrar riesgos de peligros naturales: radón, un gas radiactivo que se produce naturalmente en el aire y en interiores y las aflatoxinas, producidas por mohos de hongos que contaminan nuestras provisiones de alimentos. Los otros casos presentan ojeadas breves de la historia reglamentaria en una variedad de situaciones.

#### **Estudio de caso de radón: órdenes en conflicto**

Este caso resume la toma de decisiones bajo la incertidumbre científica, distintos decretos legislativos y políticas fraccionarias de medios y la presentación de los lazos de unión entre

la evaluación de riesgo y la administración de riesgos, incluyendo la viabilidad y costos en incremento de la reducción de riesgos. La mayor parte del siguiente análisis se basa en el documento de la Oficina de Evaluación Tecnológica, *Researching Health Risks* (OTA, 1993) y documento de la EPA, *Report to the United States Congress on Radon in Drinking Water, Multimedia Risk and Cost Assessment of Radon* (Marzo, 1994).

**La naturaleza y magnitud del riesgo.** El radón es un gas radioactivo incoloro e inodoro que proviene de la descomposición del radio presente en la corteza terrestre. El radón es emitido por tierras y rocas en el aire. Cuando se emite al espacio abierto en exteriores, el radón se diluye a niveles "de fondo" de 0.1 a 0.5 picocuries por litro (pCi/L). Pero cuando el radón entra en los hogares y otros entornos cerrados, en especial sótanos, la dilución es mucho más lenta. La EPA estima que el hogar promedio contiene alrededor de 1.25 pCi/L y 5.8 millones o 6% de todos los hogares (más alto en algunas regiones) en Estados Unidos exceden 4 pCi/L, el nivel al cual la EPA recomienda una acción de remedio.

Extrapolando a partir de datos ocupacionales de mineros (estudios epidemiológicos), la EPA calculó un total de muertes por cáncer ocasionadas por radón en alrededor de 14 000 (los estimados van de 7 000 a 33 000) por inhalación de aire e ingestión de agua conforme se muestra en la tabla 1.6. El radón ocupa el segundo sitio, sólo atrás del fumar tabaco como la principal causa del cáncer del pulmón en Estados Unidos. Más del 95% de las muertes por radón ocurren entre fumadores, lo cual señala efectos sinérgicos. Los riesgos de cáncer en el curso de la vida individuales son del orden de  $10^{-2}$  a 4 pCi/L de niveles de exposición de radón en interiores y de  $10^{-3}$  a niveles exteriores. El radón en agua potable desempeña un papel inferior comparado con el radón en aire en interiores, representando el 1 a 2% de los casos de cáncer por exposición al radón.

**TABLA 1.6** Riesgos estimados de cáncer por radón y beneficios y costo de la mitigación

	Agua potable	Aire en interiores
Casos de cáncer fatales por año	192*	13 600 (aire en exteriores)
Nivel de objetivo opuesto	300 pCi/L <sub>agua</sub>	4 pCi/L <sub>aire</sub>
Riesgo de cáncer vitalicio individual al nivel de objetivo	2 en 10 000	1 en 100
Número de personas por encima del nivel de objetivo	19 millones	15 millones
Casos de cáncer evitados al nivel de objetivo	84	100
Costo total anual de mitigación de radón	\$272 millones	\$1 500 millones
Costo anual promedio por caso de cáncer evitado	\$3.2 millones	\$15 millones

\* Los 192 casos de cáncer incluyen aquellos expuestos por encima y abajo del nivel de objetivo en sistemas de agua subterránea en comunidades.

Fuente: Informe de la EPA al Congreso norteamericano sobre el radón en agua potable, marzo de 1994.

**Dilema reglamentario.** La Safe Drinking Water Act (SDWA) de 1986 exige que la EPA regule los productos químicos tóxicos en el agua. Según análisis de la EPA, una cifra entre 50 y 700 muertes por cáncer han sido asociadas con radiaciones en el agua potable, básicamente con radón; otros productos químicos en conjunto contribuyen en una cifra entre 215 a 430 casos. Así, el radón sólo representa una parte considerable del riesgo proveniente de productos químicos y el estimado de límite superior excede los riesgos de los demás químicos. La meta reglamentaria para carcinógenos establecida por la SDWA es de cero. Cuando el cero no es práctico, la EPA establece el nivel de contaminantes máximo (MCL) para permitir que el riesgo de cáncer esté en el rango de  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$ . La agencia determinó que el nivel práctico del radón que puede ser medido en el agua es de 150 pCi/L y en 1991 propuso que esa fuera el MCL, debido a la transformación del radón en polonio (otro gas radioactivo), el nivel permisible se transforma en 300 pCi/L. Esta concentración en el agua contribuye en un 0.03

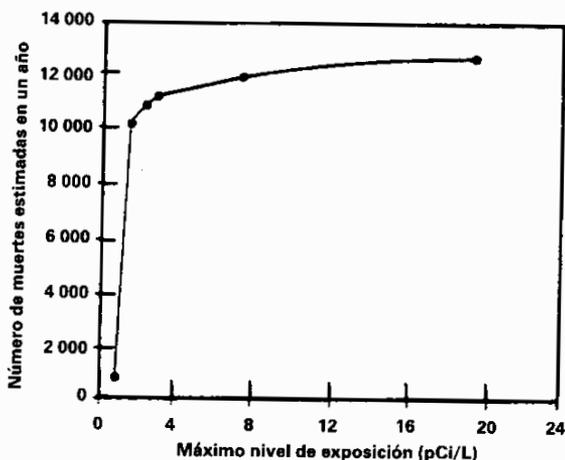
pCi/L de radón en aire en interiores debido a la volatilización del agua durante su uso doméstico como ocurre en la ducha. La contribución del agua sería de una décima parte del nivel de antecedente de radón en el aire exterior.

La meta de la Indoor Radon Abatement Act (IRAA) consiste en llevar los niveles de radón en interiores a los niveles en exteriores, comúnmente en el rango de 0.1 a 0.5 pCi/L. El nivel de acción de la EPA para el radón en interiores, basado en la viabilidad técnica, es de 4 pCi/L, que plantearía dos órdenes de magnitud de riesgo más elevado que el propuesto para el MCL, en agua. Esto plantea la necesidad de regular el radón en el agua, lo cual presenta una contribución menor al radón en interiores (menos del 1%) dejando sin atender la mayor parte de la exposición al radón.

En 1992, el Consejo Asesor Científico de la EPA expresó su preocupación con respecto a estas inconsistencias y sugirió que la agencia enfocara sus esfuerzos en fuentes de riesgo primarias, más que en las secundarias. Subsecuentemente, el Congreso norteamericano intervino y legisló que la EPA reevaluara sus estimados de riesgos y costos e impuso una moratoria en la reglamentación del radón en agua.

**Beneficios y reducción de costos de las exposiciones al radón.** Hasta 41 000 servicios de agua ahora proporcionan líquido que excedería el estándar propuesto. El costo anual por cumplir con el estándar se estima de 50 a 340 dólares por familia. Según la EPA, esto evitaría 84 casos de cáncer fatales a un costo promedio de 3.2 millones de dólares. Algunos servicios de agua estiman que los costos serían mucho más elevados: 65 a 89 millones por cada caso evitado de fallecimiento por cáncer en caso de no fumadores y de 443 a 592 millones de dólares en fumadores (la diferencia se debe a la sinergia entre el radón y el humo del tabaco).

Ya que el radón está presente tanto en aire en interiores, como en exteriores, es imposible evitarlo por completo. El acceso directo desde la tierra representa casi todo el radón en el aire en exteriores. La figura 1.6a es una gráfica de muertes por cáncer en el pulmón frente a los niveles de exposición al radón. Es interesante señalar que el 80%, más o menos, de los fallecimientos ocurren a menos del nivel de acción de 4 pCi/L. El costo inicial promedio para alcanzar el nivel de acción se estima en 1 200 dólares por hogar, con un costo de operación anual de 68 dólares. La figura 1.6b ilustra los costos en incremento por vida salvada frente al nivel de exposición. Se estima que la exposición al nivel de acción de 4 pCi/L costaría



(a)

FIGURA 1.6a Muertes por cáncer del pulmón estimadas a distintos niveles de exposición al radón. (Office of Technology Assessment, "Researching Health Risks," 1993.)

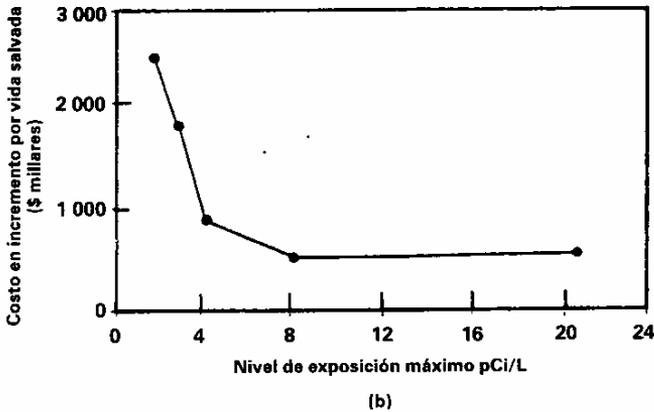


FIGURA 1.6b Costo en incremento por evitar muertes por cáncer a distintos niveles de acción de objetivo por radón en interiores. (*Office of Technology Assessment, "Researching Health Risks," 1993.*)

alrededor de un millón de dólares por vida salvada, el costo se reduce a 0.5 millones a 8 pCi/L y se nivela a una concentración de exposición más elevada. A una concentración inferior a 4 pCi/L, los costos de incremento exhiben una pronunciada curva ascendente. En cierto sentido, los niveles de 4 u 8 pCi/L podrían ser interpretados como umbrales económicos. Esta relación de pronunciado incremento (con frecuencia exponencial) en costos en incremento por caso evitado en la zona de exposiciones cada vez menores, es un fenómeno común, en especial con peligros de ocurrencia naturalmente ubicua tales como la radiación.

**Opciones de política.** Como un primer paso en la administración de riesgos, debemos tener una mejor comprensión de los riesgos por radón en el aire y en el agua. Los resultados de varios estudios epidemiológicos en mineros son mixtos, pero en términos generales señalan tasas crecientes de cáncer del pulmón con crecientes exposiciones, aun cuando los resultados pueden ser confundidos por el hecho de fumar y grandes exposiciones al polvo. El agregar los resultados de distintos estudios en un metaanálisis incrementará el poder estadístico para que los riesgos puedan ser definidos sobre bases más confiables. La EPA y el DOE están considerando que tal metaanálisis y los resultados de este análisis pueden garantizar revisiones de los riesgos por radón hacia arriba o hacia abajo. Mientras esto ocurre, una opción es aceptar los estimados de riesgo actuales y la inconsistencia en los requisitos reglamentarios y proceder con el estándar de agua propuesto que reducirá la contribución del agua al aire en interiores (una pequeña fracción) mientras permanece dejando la mayor parte de la exposición al radón en interiores sin atender.

Una opción más efectiva podría ser la de incluir el radón en una ley completa, tal vez reemplazando la Indoor Radon Abatement Act para no agregar a las 12 leyes que la EPA ahora administra. Tal ley atendería todos los planteamientos relativos a la calidad del aire en interiores: el radón y otros contaminantes en interiores como productos combustibles (por ejemplo, monóxido de carbono), materiales de construcción (fibras), muebles y artículos decorativos (formaldehído) y fuentes biológicas (bacterias y mohos). Esto implicaría un cambio fundamental del enfoque reglamentario de un medio simple a medios múltiples a medios integrados y más adelante a una nueva perspectiva que se centra en los receptores y su entorno.

## Aflatoxinas y la FDA

La penicilina, el cornezuelo del centeno y la aflatoxina tienen mucho en común: son producidos por mohos. La penicilina, por supuesto, fue el heraldo de la era de los antibióticos. Los

alcaloides producidos por un moho llamado *Claviceps purpurea*, que se da en abundancia en el centeno, el trigo y otros granos, causó grandes envenenamientos (ergotismo) en Europa durante la Edad Media (Rodricks, 1992). Un derivado de los alcaloides, el LSD, fue una droga recreativa destacada en la década de 1960.

**La naturaleza del riesgo.** A principios de la década de 1960, una epidemia mortal en aves de corral en Inglaterra llevó al descubrimiento del *Aspergillus flavus* y la toxina que el hongo produce, la aflatoxina en alimento a base de cacahuete como la culpable. Investigaciones subsiguientes revelaron aflatoxinas en productos agrícolas en todo el mundo, especialmente en el cacahuete y el maíz, y parecían ser responsables de diversos episodios de envenenamiento del hígado en animales de granja. Pero no había evidencia directa de que las aflatoxinas llegaran a los humanos a través del alimento y que causarían efectos similares, aun cuando esto habría sido difícil de detectar a menos que los síntomas fueran desacomodados y específicos. Durante las décadas de 1960 y 1970, experimentos de laboratorio demostraron sin lugar a dudas que las aflatoxinas eran carcinógenas potentes en animales y se publicaron varios estudios sobre su carcinogenicidad. Datos epidemiológicos recientes sugieren que las aflatoxinas son carcinógenas en humanos (National Institute of Environmental Health Sciences, *Seventh Annual Report on Carcinogens*, 1994).

**Enfoque regulador.** El problema de las aflatoxinas estaba presente en las mentes de científicos y legisladores en la Food and Drug Administration (FDA), la agencia responsable de la seguridad en los alimentos. Después de consultas con expertos en aflatoxinas en la comunidad científica y en la industria procesadora de alimentos, en la década de 1960, la FDA declaró un límite de 30 partes por miles de millones (ppmm) de contenido de aflatoxinas en el alimento humano, que más adelante fue reducido a 20 ppmm, gracias a límites de detección mejorados. Dado que ningún nivel de exposición a un carcinógeno es considerado como seguro para los humanos o los animales, si se demostraba que un carcinógeno estaba presente, plantearía una amenaza. Así, la decisión de administración de riesgos de la FDA fue dictada, no por riesgos anticipados, sino por los químicos analíticos.

Coincidentemente, las industrias del procesamiento de cacahuates y otros alimentos pudieron ajustarse al límite inferior sin grandes problemas. La situación se complicó en la década de 1970 y 1980, sin embargo, al establecer límites de detección comerciales para las aflatoxinas tan bajas como 1 ppmm. Pero reducir el límite de la aflatoxina muy por debajo de los 20 ppmm, aun cuando fuera técnicamente viable, se creía que requeriría costos excesivos y la interrupción del aprovisionamiento de alimentos. El límite de 20 ppmm, se prolongó hasta entrada la década de 1990. En la actualidad, los niveles de acción de la FDA fluctúan entre 20 ppmm en alimentos para humanos hasta 300 ppmm para el alimento de maíz y de semilla de algodón propuestos para ganado y aves de corral (FDA, 1992).

**Razonamiento científico.** ¿Es defendible la posición de la FDA? En su muy recomendable libro, *Calculated Risks*, Joseph Rodricks presenta dos respuestas que reflejan un espectro de opinión científica:

(1) Sí. La FDA hizo lo correcto y quizá no fue hasta donde debía. Las aflatoxinas son en verdad agentes potentes que causan cáncer en los animales. No contamos con suficiente información sobre los humanos, pero es difícil de obtener y no deberíamos de esperarla hasta que establezcamos controles. Sabemos por muchos estudios que las pruebas en animales presentan un indicativo confiable para los riesgos en los humanos. También sabemos que los químicos que ocasionan cáncer son un tipo especial de toxinas, que pueden amenazar la salud a cualquier nivel de ingestión. Por tanto, debemos eliminar la exposición de los humanos a tales agentes hasta donde sea posible, y al menos, reducir la exposición al menor nivel posible cuando no estemos seguros de cómo eliminarlos.

(2) No. La FDA se excedió. Las aflatoxinas en verdad pueden provocar toxicidad del hígado en animales y también son carcinógenas. Pero producen estos efectos adversos sólo a niveles muy por encima del límite que estableció la FDA. Deberíamos garantizar algún margen de seguridad para proteger a los humanos, pero los 20 ppmm son innecesariamente bajos y la política de que no existe

ningún nivel seguro no está apoyada por estudios científicos. En verdad, ni siquiera hay seguridad de que las aflatoxinas representen un riesgo de cáncer en los humanos porque no está comprobado que las pruebas en animales sean un indicador confiable de riesgo en los humanos. Más aún, la potencia carcinógena de las aflatoxinas varía en mayor grado aun entre las distintas especies de animales en las que se han probado. La evidencia humana de que las aflatoxinas causan cáncer no está soportada. No existe ninguna base científica comprobada para la posición de la FDA.

En suma, es todavía poco lo que sabemos acerca del límite de 20 ppm en los alimentos para humanos (y el límite de 300 ppm en alimentos para animales) que afecte nuestra salud y si el reducir el límite, digamos, a un 1 ppm (a un costo considerable) brindaría algún beneficio. No obstante, sabemos que en partes de África y de Asia en las que la contaminación por aflatoxina es mucho más común y la hepatitis B prevalece, existe una alta incidencia de cáncer en el hígado, sugestiva de efectos sinérgicos como en el caso del cáncer de pulmón por radón y el fumar. De nuevo, las incertidumbres científicas tienden a magnificarse en nuestra comprensión de los riesgos a exposición a bajos niveles y en donde la sinergia (o antagonismo) puede desempeñar un papel clave en exposiciones a agentes físicos, químicos y biológicos múltiples en nuestro entorno. La cuestión de las aflatoxinas también plantea una pregunta fundamental: ¿Debería utilizar la FDA el mismo criterio para regular carcinógenos naturales y sintéticos?

### Otros casos

Los siguientes casos están tomados de una interesante publicación emitida por el Centro Harvard para el Análisis de Riesgos, *A Historical Perspective on Risk Assessment in the Federal Government* (marzo, 1994).

**Intento de proscripción de la sacarina.** A finales de la década de 1970 la FDA intentó prohibir la sacarina sobre la base de que el endulzante artificial causaba cáncer en animales. El público dudó de tales afirmaciones y presionó al Congreso para que permitiera el consumo continuado de la sacarina que se había convertido en un sustituto popular del azúcar. Ya que se habían planteado dudas acerca de la importancia de los datos en animales en los humanos, se realizaron estudios epidemiológicos a gran escala para investigar la hipótesis del riesgo de cáncer en los humanos. Evaluaciones de riesgos basadas en la nueva información epidemiológica indicaron que el riesgo de la sacarina era bastante pequeño en comparación a lo que se proyectaba sobre la base de los experimentos en animales. Las evaluaciones de riesgo basadas en la epidemiología han llevado a una creciente confianza de que los consumidores de sacarina no se están sometiendo a grandes incrementos en los riesgos de contraer cáncer. En fechas recientes, científicos de laboratorio han logrado avances importantes para modelar los mecanismos que ocasionaron que roedores desarrollaran tumores al estar expuestos a grandes cantidades de sacarina. Esta investigación también sugiere que los niveles actuales de exposición de los humanos a la sacarina no son probables de producir incrementos notables en el riesgo de contraer cáncer de la vesícula.

**Proceso de desplazamiento de la gasolina con plomo.** En 1985, la EPA decidió empezar una fase acelerada para desplazar la gasolina con plomo. La decisión no fue el resultado de alguna presión especial de grupos ambientalistas o amplia cobertura de los medios sobre los efectos nocivos del plomo. Resultó básicamente de la evaluación de riesgos de la EPA de los efectos no cancerígenos del plomo en la salud, incluyendo efectos neurológicos y cardiovasculares. Estimados de los beneficios cuantitativos en la salud de eliminar el plomo en la gasolina a un costo moderado desempeñaron un papel clave al persuadir a los escépticos tanto dentro de la EPA como del gobierno de Reagan. En esta evaluación de extremos no cancerígenos, la EPA decidió no utilizar los métodos tradicionales de toxicología reglamentaria y en lugar de ello utilizó métodos modernos de evaluación de riesgos.

**Reglamentación de vapores al rellenar tanques en estaciones de servicio.** Durante el periodo entre 1985 y 1988, la EPA examinó la necesidad de adoptar reglamentos para reducir

la exposición de los humanos a vapores de gasolina sin plomo que ocurren durante el rellenado de tanques de vehículos. Los compuestos orgánicos volátiles emitidos durante el proceso planteaban dos riesgos específicos: agravan el problema del ozono urbano que está asociado con efectos respiratorios tanto agudos como crónicos y constituyen un peligro para el cáncer entre las personas que inhalan los vapores. En un proceso complejo de evaluación de riesgos, la agencia decidió regular los vapores de rellenado primordialmente con base en el control del ozono más que en la prevención del cáncer. En este ejemplo, la consideración de la EPA de nueva información mecánica no cambió el resultado reglamentario, pero indujo a la agencia a basar su decisión sobre un racional científico más válido (control del ozono). Subsecuentemente, el Congreso exigió que las compañías fabricantes de automóviles controlasen los vapores de rellenado en el diseño de nuevos vehículos.

**Reglamentación sobre exposiciones ocupacionales del benceno.** El intento fracasado de OSHA en 1978 de reducir el límite de exposición permisible para el benceno en el centro de trabajo, llevó a un incremento en el interés de evaluar cuantitativamente el riesgo de contraer leucemia por exposiciones al benceno. Utilizando información epidemiológica y de animales, varios asesores de riesgos estimaron que la exposición ocupacional constante al benceno durante 30 a 40 años a 10 ppm (límite existente en ese momento) se asociara con un incremento significativo en el riesgo de contraer ciertas formas de leucemia. Con base en estas evaluaciones de riesgos, el trabajo organizado convenció con éxito a la OSHA durante el gobierno de Reagan de que redujera el estándar de benceno a 1 ppm, como sugirió originalmente la doctora Eula Bingham en 1978.

**Reducción de emisiones de bioxinas provenientes de molinos de papel.** Bajo la Clean Water Act (Ley de Agua Limpia) la EPA y los estados comparten autoridad para establecer estándares basados en riesgo para proteger la salud pública de químicos tóxicos en aguas de superficie. Desde 1987, cuando se detectó por vez primera la bioxina en los efluentes de molinos de papel, estándares de riesgos basados en la calidad del agua, preocupaciones por demandas y responsabilidades de los consumidores, han desempeñado una función importante en acelerar el progreso tecnológico en la industria del papel. Los molinos están reduciendo rápidamente el uso del gas clorinado como un agente blanqueador. La cantidad de bioxina en efluentes y en los peces cercanos a los molinos de papel ha decrecido sustancialmente. En muchos ríos, las restricciones sobre la pesca han sido eliminadas conforme los riesgos a la subsistencia y para los pescadores deportivos se volvieron más aceptables.

**Registro de Alachlor.** El Alachlor es un pesticida registrado de amplio uso como un eliminador comercial de yerbas en los cultivos de maíz, soya y otras cosechas. Aun cuando está clasificado como un carcinógeno humano probable (B2) por la EPA, basada en una fuerte respuesta a tumores al administrarse en altas dosis, la EPA decidió permitir su uso continuado bajo condiciones limitadas porque evaluaciones extensas de riesgos mostraron que los riesgos a exposición humana potencial son aceptables. La EPA ha insistido en que se realicen inspecciones adicionales en aguas de superficie y subterráneas para garantizar que riesgos significativos por el uso de alachlor no se hagan presentes. En Canadá, que carece de un proceso de evaluación de riesgos interno riguroso, el alachlor fue prohibido aun cuando una recomendación de corte científica externa sugirió que el de Alachlor y Metolachlor (el principal producto de la competencia) fuesen regulados de manera equivalente.

## **CON LA VISTA AL FRENTE: RETOS E INNOVACIONES**

---

Estados Unidos se encuentra en la encrucijada de tomas de decisiones ambientales, enfrentando muchos retos y demandas en competencia sobre los recursos nacionales. Al evaluar las inversiones ambientales, es importante considerar los costos de oportunidad de sobrestimar frente a subestimar los riesgos. Delineamos aquí algunas áreas que necesitan fortalecerse y

tendencias emergentes que deben ser alentadas para el desarrollo de una infraestructura de toma de decisiones integrada.

### **Ciencia básica, métodos y modelos**

Algunos críticos de la evaluación de riesgos sostienen que hay demasiada especulación y muy poca ciencia en demasiadas evaluaciones de riesgos. Tal vez sea justo decir que muchas decisiones derivadas de riesgos se basan más en lo que no sabemos más, que en lo que sí sabemos. Para compensar las enormes brechas de datos en conocimiento, las evaluaciones de riesgos se elaboran sobre factores de incertidumbre múltiples y valores de alto límite que acumulativamente repasan los resultados y distorsionan el proceso de toma de decisiones.

Conforme la Office of Technology Assessment recomienda en su informe al Congreso norteamericano, los esfuerzos en investigación y desarrollo deben proceder en varios frentes: investigación básica, desarrollo de métodos y modelos y su validación y desarrollo de datos específicos relacionados a los químicos (OTA, 1993).

Las necesidades de investigación básica incluyen datos sobre la estructura y funcionamiento a niveles moleculares y celulares; mecanismos de toxicidad; propiedades que incluyen la absorción, distribución, metabolismo y excreción (ADME); la interacción de exposiciones múltiples (sinergia, antagonismo); y el destino ambiental y características de transporte. Mejores métodos y modelos son necesarios para extrapolar la respuesta a dosis (en especial en dosis bajas) y relaciones entre estructura y actividad, para predecir exposiciones humanas y caracterizar la incertidumbre subyacente. En la arena de los riesgos de seguridad, necesitamos extender las bases de datos sobre confiabilidad del equipo, índices de fallas y errores humanos. Más aún, la estructura de decisiones debe incorporar enlaces de realimentación.

### **Decisiones arriesgadas**

Más que en la mayoría de otras decisiones reglamentarias o de negocios, las decisiones ambientales son complejas y arriesgadas por una variedad de motivos. Las decisiones ambientales son multidisciplinarias y multifuncionales debido a complejidades técnicas, reglamentarias y financieras. El panorama ambiental de cambio rápido, el alto grado de incertidumbre asociado con los datos ambientales, tecnologías y costos, así como los estimados por omisión sobre los riesgos en la salud, la seguridad y riesgos ambientales, tienden a incrementar los riesgos de negocios. El panorama se empaña aún más por análisis tradicionales que usan estimados de un solo punto. Hasta escenarios de "peor caso", "el más probable", y el "mejor caso" pierden información valiosa al caer en lo que son distribuciones de probabilidad constantes de resultados potenciales en unos cuantos estimados de punto (Boden y Brayton, 1994). Los análisis de inversión de capital tradicionales no captan el significado de los proyectos de reducción de riesgos. Consecuentemente, los proyectos ambientales son dejados de lado o puestos en práctica a regañadientes, en ocasiones a instancias de la alta gerencia.

### **Inventario comprensivo de riesgos**

La Comisión Carnegie, en su informe sobre Riesgos y el Medio Ambiente (junio, 1993) recomienda que las agencias gubernamentales creen un inventario de riesgos de base amplia y revisen periódicamente avances en el enfoque de riesgos de alta prioridad.

Nosotros sugeriríamos dos inventarios distintos: (1) los riesgos peores o mayores basados en clasificaciones multidimensionales (humanas y ambientales) y (2) riesgos que ofrecen las mejores oportunidades de reducción (exhibir los más elevados índices de beneficio-costos o el apalancamiento más alto). Estos inventarios deben incluir fuentes sintéticas y naturales (como

se ilustra en los casos de radón y aflatoxina). Los riesgos en la parte superior de ambas listas claramente serían aquellos que deben recibir prioridad absoluta en la asignación de presupuestos de recursos.

Las corporaciones grandes con varias instalaciones y negocios pueden poner en práctica iniciativas similares. En el siguiente capítulo ofrecemos una estrategia que se espera rinda los mejores resultados en la inversión.

### **Análisis probabilístico e incertidumbre**

El diccionario *Webster's* define el *riesgo* como la oportunidad (probabilidad) de sufrir heridas o pérdidas. No obstante, las evaluaciones de riesgos, en especial las de la salud y ecológicas, generalmente incluyen análisis de determinación de un solo punto.

Para apoyar una administración efectiva de riesgos, la fase de caracterización de riesgos debe proporcionar un rango creíble de estimados, fuentes de incertidumbre y variabilidad y la viabilidad científica de los estimados. Esto no sólo es para una "revelación completa". Los estimados de riesgo de exposiciones ambientales se basan en muchas extrapolaciones, generalizaciones y suposiciones de "límite superior". En contraste, otros riesgos de la salud pública tales como accidentes, heridas, sida, y deficiencias nutricionales se basan en datos actuariales de observaciones pasadas. Aun cuando las comparaciones entre diferentes tipos de riesgo siempre permanecerán hasta cierto grado entre "naranjas y manzanas", las suposiciones clave y la incertidumbre en varios estimados de riesgos deben establecerse claramente para que el administrador de riesgos y el público estén informados acerca de impactos potenciales en diferentes elecciones científicamente posibles.

La publicación de distribuciones de exposiciones en 1994 por el Consejo Norteamericano de Salud Industrial (*AIHC Exposure Factors Sourcebook*) y la actualización reciente de la EPA de su *1990 Exposure Factors Handbook*, deben ayudar a extender el uso de la evaluación de probabilidades de exposición en las evaluaciones de riesgos.

### **Educación y capacitación en riesgos**

El análisis de riesgos es un campo de crecimiento y desarrollo que ha surgido a través de la interacción de profesionales de muchas disciplinas diferentes, como toxicología, bioquímica, salud pública, economía y estadística. Una tendencia principal para mejorar la calidad de decisiones basadas en riesgos es la pauta para profesionales con capacitación disciplinaria cruzada.

Muchas organizaciones profesionales, incluyendo la Society for Risk Analysis (con énfasis en riesgos sobre la salud humana y ambientales) y el American Institute of Chemical Engineers (con énfasis en la seguridad en el proceso) ofrecen seminarios y talleres. Existen pocos programas de análisis de riesgo en universidades e instituciones educativas superiores norteamericanas. Muchos programas ambientales para no graduados tocan el análisis de riesgos, pero la mayor parte de la instrucción en los elementos fundamentales ocurre en programas para graduados. Aun dentro de los programas de postgrado, sin embargo, el enfoque en la capacitación de análisis de riesgos tiende a ser bastante estrecha y a ver el análisis de riesgos como una herramienta, más que una disciplina amplia. Por ejemplo, los programas para graduados pueden estudiar el análisis de riesgos de ingeniería, el análisis de riesgos financieros o el análisis de riesgos en humanos como parte de un curso. Pocas veces los estudiantes abarcan toda la gama de disciplinas subyacentes en el análisis de riesgos moderno, incluyendo análisis de decisiones, estadísticas, toxicología, hidrogeología, meteorología y muchas más. Como un campo interdisciplinario, el análisis de riesgo no se ajusta bien en un departamento académico tradicional, lo cual puede conducir a una falta de cohesión y fragmentación. También, estudiantes y maestros que se introducen en el análisis de riesgo pueden no ser reconocidos y recompensados en la estructura departamental tradicional.

Además de aprender en los libros, el análisis de riesgos requiere una apreciación del contexto más amplio en el que se utiliza. El Magistrado de la Suprema Corte, Stephen Breyer,

en su obra *Breaking the Vicious Circle: Toward Effective Risk Regulation*, apoya el desarrollo de una nueva carrera profesional en el gobierno que brinde a individuos con entrenamiento técnico, un papel de coordinación en una misión para construir "un sistema mejorado y coherente de regulación de riesgos, adaptable para su uso en diversos programas relacionados con riesgos; la misión de ayudar a establecer prioridades dentro y entre programas; y la misión de comparar programas para determinar cómo asignar mejor los recursos para reducir riesgos". De igual manera, la Comisión Carnegie sobre la Ciencia, Tecnología y Gobierno, en su informe *Science, Risk, and Regulatory Decision Making*, urge que los empleados públicos involucrados en el desarrollo y uso de análisis de riesgo circulen entre agencias relacionadas con cuestiones ambientales y riesgos, el Congreso y la Oficina Ejecutiva del Presidente y tal vez hasta en la rama judicial del gobierno para coadyuvar en el desarrollo de un "grupo de individuos altamente capacitado y experimentado que provocará un panorama especialmente amplio al proceso reglamentador". Este tipo de programa, que proporcionaría una perspectiva sobre los usos del análisis de riesgo, también podría ser muy benéfico en las comunidades corporativas y académicas.

Es evidente que conforme el análisis de riesgo adquiere mayor importancia para la toma de decisiones en el gobierno, las corporaciones y empresas privadas, los analistas de riesgos deberán estar mejor educados. Puede ser, de hecho, que ante la demanda del mundo exterior, tanto estudiantes como empleados, impulsarán a las instituciones educativas para desarrollar programas integrados en análisis de riesgo, con fondos provenientes, posiblemente del gobierno, la industria y fundaciones.

### Colaboración entre agencias y la armonización global

La necesidad de la armonización internacional de los criterios de riesgos y la reglamentación ambiental ha sido resaltada en un número de reuniones recientes patrocinadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) y el United Nations Environment Programme (UNEP). El International Programme on Chemical Safety (IPCS) ha investigado las técnicas de evaluación de riesgos en países de la OECD y países selectos no pertenecientes a la OECD (véase el capítulo 7 para mayores detalles).

Dentro de Estados Unidos, existe una abrumadora necesidad de lograr una consistencia en decretos reguladores, metodologías y metas de la administración de riesgos. La falta de consistencia mina la confianza pública en el gobierno y el proceso reglamentario. Deberían establecerse mecanismos para compartir información y desarrollar inventarios de riesgos, reducción de metas y estrategias entre agencias gubernamentales. Y deberíamos establecer mejores enlaces entre las fases de evaluación y administración.

En suma, confiamos en que los capítulos de esta obra contribuyan al desarrollo de una infraestructura de toma de decisiones unificada y que ayude a avanzar en el arte y la ciencia de evaluación y administración de riesgos.

### GLOSARIO Y DEFINICIONES\*

**Absorción** El movimiento de incorporación de una sustancia dentro del torrente sanguíneo (absorción sistémica) después de ingresar al cuerpo a través de los pulmones, tracto-gastro-intestinal o piel.

**Administración de seguridad del proceso** Programa sistemático que integra tecnologías, procedimientos y prácticas de administración e incluye la identificación de peligros en el proceso, estimación de riesgos, desarrollo de sistemas de mitigación y puesta en práctica de medidas preventivas (cuyo cumplimiento va más allá de "resbalones, tropezones y caídas").

**AIChE/CCPS** American Institute of Chemical Engineers/Centro para la Seguridad en Procesos Químicos.

\* Véase también el Glosario del capítulo 8 el Glosario/Directorio de Siglas en el Apéndice A.

**Análisis de "¿qué sucede si?"** Una técnica de intercambio de ideas para explorar posibilidades y considerar los resultados de acontecimientos no deseados o inesperados (por ejemplo, ¿qué sucede si el material equivocado o una concentración de material equivocado se entrega; qué sucede si el operador abre o cierra la válvula equivocada?).

**Biodisponibilidad** El grado al cual un químico tiene acceso o se vuelve disponible para los tejidos objetivo después de su exposición o administración (para efectos positivos o negativos).

**Cáncer y carcinógeno** Una enfermedad caracterizada por un crecimiento celular fuera de control y tumores malignos; un carcinógeno es cualquier agente (químico, biológico, radiológico) que puede causar o contribuir a la inducción del cáncer en una serie de pasos.

**CERCLA/SARA/Superfund** Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act; Ley de Enmiendas y Autorización Subsecuente (de 1986).

**Dosis** Una medida de exposición generalmente expresada como una cantidad de sustancia por unidad del peso de cuerpo del sujeto por unidad tiempo, por ejemplo, mg/kg · día. La dosis tolerada máxima (MTD) es la dosis más elevada que es compatible con la supervivencia de la mayoría de los animales de prueba. (En términos de radiación, dosis es la energía invertida a una unidad de masa de tejido.)

**Dosis de referencia (RfD), concentración de referencia (RfC) e insumo diario aceptable (ADI)** Un estimado (con la incertidumbre yendo tal vez a un orden de magnitud) de una exposición diaria a la población humana, incluyendo subgrupos sensibles, que es probable carezca de un riesgo apreciable de efectos de deterioro durante una vida (virtualmente una dosis segura).

**Ecosistema y ecología** Un ecosistema es una asociación lógica (un ensamble) de comunidades que actúan constantemente entre ellas y los componentes abióticos (no vivientes) del medio ambiente en relaciones complementarias que incluyen transferencia y circulación de energía y nutrientes. Ya que cada ecosistema es único en términos de relaciones físicas, químicas y biológicas y pueden responder de manera única a estímulos externos, con frecuencia un ecosistema es considerado la unidad fundamental de la ecología. La ecología es un tema unificador que atiende las relaciones de los organismos con su entorno, por ejemplo, el medio ambiente.

**Efecto antagónico (antídoto)** El efecto de dos o más químicos cuando contrarrestan las acciones del otro; el efecto combinado es menor que la suma; por ejemplo,  $3 + 4 < 7$  (véase también *Efecto sinérgico*).

**Efecto/punto final** Respuesta biológica debida a la exposición a una sustancia. El efecto local ocurre en el sitio de primer contacto; efectos sistémicos requieren absorción y distribución del tóxico, los efectos ocurren en sitios y órganos distantes del punto inicial de entrada.

**Efecto sinérgico** La interacción cooperativa de dos o más químicos u otros fenómenos que dan como resultado un efecto mayor que la suma de los efectos individuales, por ejemplo,  $3 + 4 > 7$  (véase también *Efecto antagónico*).

**Epidemiología** El estudio de ocurrencia de enfermedades, heridas y otros efectos en la salud en poblaciones humanas y de las causas y medios de prevención. La epidemiología ambiental es el estudio de los efectos en la salud humana de factores biológicos, químicos y físicos en el entorno externo.

**Estudios de peligros y operabilidad (HAZOP)** Método ampliamente utilizado en industrias de proceso para identificar problemas potenciales de operación que podrían causar una desviación de un intento de diseño. Se utiliza una serie de palabras guía (por ejemplo, no más, otro, distinto, así como) a "nódulos de estudio" específicos (por ejemplo, sin flujo, alta presión).

**Exceso o incremento de un riesgo vitalicio** Riesgo adicional (sobre los antecedentes) por exposición durante la vida de un individuo.

**Exposición** Acceso o contacto potencial con un agente o situación peligrosa; contacto del límite extremo de un organismo con agentes químicos, biológicos o físicos.

**Exposición aguda/efecto** Una exposición única a una sustancia (por lo general en alta concentración y con duración no superior a un día) que da por resultado daños biológicos severos, por lo común, evidentes a corto plazo.

**Exposición crónica/efecto** Exposición continua o repetida (generalmente en bajas concentraciones) durante largos periodos o persistencia de los efectos a largo plazo; el (los) efecto(s) pueden no ser claros durante un plazo largo después de la exposición inicial. Exposiciones y efectos subagudos y subcrónicos son intermedios entre agudos y crónicos (por lo general, de unas cuantas semanas a varios meses).

**Factor de inclinación o factor de inclinación carcinógena (CSF)** La inclinación de la curva de respuesta a la dosis en la región de dosis baja, generalmente considerada como lineal y expresada como  $l/(mg/kg \cdot día)$ .

**LC<sub>50</sub> y LD<sub>50</sub> (concentración mediana letal y dosis mediana letal)** La concentración (mg/m<sup>3</sup>, mg/L) o dosis (mg/kg) a la cual el 50% de los organismos de prueba mueren al estar expuestos a la sustancia en un periodo específico.

**Lista de verificación** Una lista detallada de requerimientos o pasos para evaluar el estado de un sistema u operación y asegurar el cumplimiento de procedimientos de operación estándar (SOP).

**Metabolismo y metabolitos** Cambios bioquímicos por los que un químico pasa en el cuerpo produciendo metabolitos que pueden ser más o menos tóxicos que la sustancia original.

**Modelos farmacocinéticos y fisiológicamente basados en farmacocinéticos (PB-PK)** Características de absorción, distribución, metabolismo y excreción (ADME) de una sustancia (un medicamento o contaminante) en el cuerpo. Los modelos PB-PK son útiles para predecir una dosis específica de tejido bajo un rango de condiciones de exposición.

**Nivel de riesgo mínimo (MRL)** Un estimado de la exposición diaria de los humanos a una sustancia que puede no tener un riesgo apreciable de efectos adversos (no carcinógenos) durante una exposición de duración específica (Registro de la Agencia para Sustancias Tóxicas y Enfermedades).

**Peligro** Fuente de riesgo químico, biológico o físico; características de un sistema que representa el potencial para un accidente.

**Periodo de latencia** Tiempo entre la inducción inicial de un efecto en la salud y su manifestación clínica; la latencia del cáncer varía de unos cuantos años (leucemia) a décadas (asbestosis).

**Relación de respuesta a una dosis/curva** Representación gráfica de la relación entre la cantidad de dosis y el grado de efectos adversos en la salud.

**Riesgo** Medida de la posibilidad y magnitud de efectos adversos, incluyendo heridas, enfermedades o pérdidas económicas. (Peligro o toxicidad no significa un riesgo en sí mismo.)

**Rutas de exposición** Contacto o acceso por inhalación, ingestión (oral) o absorción por la piel o directamente en caso de radiación electromagnética. Las rutas de medios ambientales incluyen aire, agua y tierras.

**Toxicología** El estudio de los efectos adversos de agentes químicos, biológicos y físicos en organismos vivos.

**Umbral** La dosis o exposición abajo de la cual no se espera un efecto adverso significativo.

**Unidad de riesgo** El límite superior (posible) en exceso de un riesgo de cáncer vitalicio que se espera resulte de exposición continua a un agente a una concentración de 1 µg/L en agua o 1 µg/m<sup>3</sup> en el aire.

## **APÉNDICE: CARTA DE NEGOCIOS PARA DESARROLLO SOSTENIDO —PRINCIPIOS PARA LA ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL CÁMARA INTERNACIONAL DE COMERCIO (ICC)**

---

- 1. Prioridad corporativa.** Reconocer la administración ambiental entre las más elevadas prioridades corporativas como un determinante clave para el desarrollo sostenido; establecer políticas, programas y prácticas para realizar operaciones de una manera ambientalmente sanas.
- 2. Administración integrada.** Integrar estas políticas, programas y prácticas a plenitud en cada negocio es un elemento esencial de la administración en todas sus funciones.
- 3. Proceso de mejoría.** Continuar la mejoría de políticas, programas y desempeño ambiental corporativo, tomando en cuenta los desarrollos técnicos, la comprensión científica, las necesidades del consumidor y las expectativas de la comunidad, con reglamentos legales como punto de partida; y aplicar los mismos criterios ambientales en un plano internacional.
- 4. Educación de los empleados.** Educar, capacitar y motivar a los empleados a realizar sus actividades de una manera ambientalmente responsable.
- 5. Evaluación previa.** Evaluar los impactos ambientales antes de iniciar una nueva actividad o proyecto y antes de desactivar una instalación o abandonar un sitio.

6. **Productos y servicios.** Desarrollar y proporcionar productos y servicios que no tengan un impacto ambiental indebido y que sean seguros en su uso propuesto, que sean eficientes en su consumo de energéticos y recursos naturales y que puedan ser reciclados, vueltos a utilizar, o que se disponga de ellos con seguridad.
7. **Asesoría al cliente.** Dar asesoría y donde sea conducente, educar a clientes, distribuidores, y al público en el uso seguro, la transportación, almacenamiento y disposición de los productos proporcionados; y aplicar consideraciones similares a la prestación de servicios.
8. **Instalaciones y operaciones.** Desarrollar, diseñar y operar instalaciones y realizar actividades tomando en consideración el uso efectivo de energía y materiales, el uso sostenible de recursos renovables, la minimización de impacto ambiental adverso y la generación de desperdicios y la disposición segura y responsable de desperdicios residuales.
9. **Investigación.** Realizar o apoyar investigaciones sobre los impactos ambientales de materias primas, productos, procesos, emisiones y desperdicios asociados con la empresa y en los medios para minimizar tales impactos adversos.
10. **Enfoque de precaución.** Modificar la manufactura, mercadotecnia o uso de productos o servicios o la conducción de actividades, en consistencia con una comprensión científica y técnica, para impedir una degradación seria o irreversible en el medio ambiente.
11. **Contratistas y proveedores.** Promover la adopción de estos principios por parte de contratistas que actúan a nombre de la empresa, alentando, y, donde sea apropiado requiriendo mejoras en sus prácticas para hacerlas coherentes con las de la empresa; y alentar la mayor adopción de estos principios por parte de proveedores.
12. **Preparación para emergencias.** Desarrollar y mantener, donde existan peligros importantes, planes de preparación para emergencia en conjunto con los servicios de emergencia, autoridades correspondientes y la comunidad local, reconociendo impactos potenciales transfronterizos.
13. **Transferencia de tecnología.** Contribuir a la transferencia de tecnología ambientalmente apropiada y métodos de administración en todos los sectores industriales y públicos.
14. **Contribución al esfuerzo común.** Contribuir al desarrollo de la política pública y para los negocios, programas gubernamentales e intergubernamentales e iniciativas educativas que resalten la percepción y protección ambiental.
15. **Estar abierto a escuchar las preocupaciones.** Promover una apertura y diálogo con empleados y el público, anticipando y respondiendo a sus preocupaciones acerca de los peligros e impactos de operaciones, productos, desperdicios o servicios potenciales, incluyendo aquellos de importancia transfronteriza o global.
16. **Cumplir e informar.** Medir el desempeño ambiental; realizar auditorías ambientales regulares y evaluaciones de cumplimiento con los requerimientos de la compañía, los requerimientos legales y estos principios; y periódicamente, proporcionar la información apropiada al consejo directivo, accionistas, empleados, autoridades y el público en general.

## REFERENCIAS Y LECTURAS ADICIONALES

---

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), U.S. Department of Health and Human Services, *Toxicological Profiles* (various).

Air & Waste Management Association, *The New Title III Air Toxic Program*, by David P. Novello, 1994.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, and Biological Exposure Indices*, 1993-1994.

- American Industrial Health Council (AIHC), *Exposure Factors Sourcebook*, 1994.
- American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 2d ed., 1992, with worked examples.
- Arkes, H. R., and K. R. Hammond, eds., *Judgment and Decision Making*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1986.
- Breyer, S., *Breaking the Vicious Circle: Toward Effective Risk Regulation*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1993.
- Boden, S. M., and G. Brayton, "Financial Issues in Environmental Liabilities and Decision Making", in Rao Kolluru, ed., *Environmental Strategies Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1994.
- Carnegie Commission on Science, Technology, and Government, *Risk and the Environment: Improving Regulatory Decision Making*, New York, June 1993.
- Casarett and Doull's *Toxicology: The Basic Science of Poisons*, 4th ed., edited by Mary Amdur, John Doull, and Curtis Klaassen, Pergamon Press/McGraw-Hill, New York, 1991.
- Chemical Industry Institute of Toxicology (CIIT), *1993 Annual Report (Understanding Chemical Risk)*.
- Chemical Manufacturers Association, *Responsible Care: Process Safety Code of Management Practices (1990); Distribution Code of Management Practices (1991)*.
- Covello, V. T., and J. Mumpower, "Risk Analysis and Risk Management: An Historical Perspective", *Risk Analysis* 5:103-120, 1985.
- Encyclopedia of Occupational Health and Safety* (two volumes), 3d ed., International Labor Office, Geneva (92-2-103289-2).
- Environmental Protection Agency (EPA/USEPA)
- EPA Science Advisory Board, 1990, The Report of the Ecology and Welfare Subcommittee, Relative Risk Reduction Project, App. A, EPA SAB-EC-90-021A.
- EPA Science Advisory Board, 1990, The Report of the Human Health Subcommittee, Relative Risk Reduction Project, App. B, EPA SAB-EC-90-021B.
- EPA Science Advisory Board, 1990, The Report of the Strategic Options Subcommittee, Relative Risk Reduction Project, App. C., EPA SAB-EC-90-021C.
- EPA, 1986, "Guidelines for Carcinogen Risk Assessment"; "Guidelines for Mutagenicity Risk Assessment"; "Guidelines for the Health Risk Assessment of Chemical Mixtures"; "Guidelines for the Health Assessment of Suspect Developmental Toxicants"; "Guidelines for Estimating Exposures", *Federal Register*, September 24, 1986.
- EPA, 1987, Unfinished Business: A Comparative Assessment of Environmental Problems, Overview Report, NTIS PB88-127048.
- EPA, 1989, *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS)*, vol. 1: *Human Health Evaluation Manual* (part A), EPA 540/1-89/002.
- EPA, 1989, *Risk Assessment Guidance for Superfund*, vol. 2: *Environmental Evaluation Manual*, EPA 540/1-89/001.
- EPA, 1991, *Human Health Evaluation Manual*, Supplemental Guidance: "Standard Default Exposure Factors", OSWER directive 9285.6-03.
- EPA, 1991, *Risk Assessment Guidance for Superfund*, vol. 1: *Human Health Evaluation Manual* (part B, Development of Risk-Based Preliminary Remediation Goals), EPA 540/R-92/003.
- EPA, 1991, *Risk assessment guidance for Superfund*, vol. 1: *Human Health Evaluation Manual* (part C, Evaluation of Remedial Alternatives), EPA 540/R-92/004.
- EPA, 1992, *Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications*, EPA 600/8-91/011B.
- EPA, 1993, Health Effects Assessment Summary Tables (HEAST) (periodic updates).
- Evans, J. S., G. M. Gray, R. L. Sielken, Jr., A. E. Smith, and J. D. Graham, "Use of Probabilistic Expert Judgment in Distributional Analysis of Carcinogenic Potency", *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 20:15-36, 1994.
- Evans, J. S., J. D. Graham, G. M. Gray, and R. L. Sielken, Jr., "A Distributional Approach to Characterizing Low-Dose Cancer Risk", *Risk Analysis* 14:25-34, 1994.

- Food and Drug Administration (FDA), *Action Levels for Poisonous or Deleterious Substances in Human Food and Animal Feed*, 1992.
- Gore, A., "Environmental Technologies for a Sustainable Future", *EPA Journal*, Fall, 1994.
- Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures*, 1990, Federal Emergency Management Agency (FEMA), U.S. Department of Transportation (DOT), and U.S. Environmental Protection Agency (USEPA).
- Harvard School of Public Health, Center for Risk Analysis. *A Historical Perspective on Risk Assessment in the Federal Government*, 1994.
- Institute for Medicine, National Academy of Sciences, C. Woteki and P. Thomas, eds., *Eat for Life: The Food and Nutrition Board's Guide to Reducing Your Risk for Chronic Disease*, 1991.
- Kolluru, R. V., ed., *Environmental Strategies Handbook: A Guide to Effective Policies and Practices*, McGraw-Hill, New York, 1994.
- Kolluru, R. V., and D. G. Brooks, "Integrated risk assessment and strategic application", Society for Risk Analysis Annual Conference, Baltimore, Maryland, December 4-7, 1994.
- Kolluru, R. V., "Minimize Environmental Health and Safety Risks and Improve Bottom Line", *Chemical Engineering Progress*, June, 1995.
- Morgan, M. G., and M. Henrion, *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1990.
- National Center for Health Statistics/Centers for Disease Control and Prevention, "Monthly Vital Statistics Report", September 28, 1993.
- National Institute of Environmental Health Sciences, National Toxicology Program, *Seventh Annual Report on Carcinogens, 1994 Summary*, U.S. Department of Health and Human Services.
- National Research Council (NRC), National Academy of Sciences (NAS), *Diet and Health: Implications for Reducing Chronic Disease Risk*, National Academy Press, Washington, 1989/1990.
- National Research Council, National Academy of Sciences, *Science and Judgment in Risk Assessment*, National Academy Press, Washington, 1994.
- National Research Council, *Valuing Health Risks, Costs, and Benefits for Environmental Decision Making—Report of a Conference*, P. Hammond and R. Coppock, eds., 1990.
- National Research Council, National Academy of Sciences, *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*, National Academy Press, Washington, 1983.
- National Research Council, National Academy of Sciences, *Issues in Risk Assessment*, National Academy Press, Washington, 1993.
- National Safety Council, *Accident Facts*, Chicago, 1994.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 29 CFR, part 1910, "Air Contaminants Rule (Permissible Exposure Limits)", *Federal Register*, June 30, 1993.
- Occupational Safety and Health Administration, *Process Safety Management*, OSHA, 3132, 1992; and *Guidelines for Compliance*, OSHA 3133.
- Office of Technology Assessment (U.S. Congress), *Industry, Technology, and the Environment: Competitive Challenges and Business Opportunities*, OTA-ITE-586, January 1994.
- Office of Technology Assessment (U.S. Congress), *Researching Health Risks*, OTA-BBS-570, November 1993.
- Paustenbach, D. T., ed., *The Risk Assessment of Environmental and Human Health Hazards: A Textbook of Case Studies*, Wiley, New York, 1989.
- Rodricks, J. V., *Calculated Risks: The Toxicity and Human Health Risks of Chemicals in Our Environment*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1992.
- Tengs, T. O., M. E. Adams, J. S. Pliskin, et al., "Five Hundred Life-Saving Interventions and Their Cost Effectiveness", *Risk Analysis* (in press).
- Thompson, K., D. Burmaster, and E. Crouch, "Monte Carlo Techniques for Quantitative Uncertainty Analysis in Public Health Assessments", *Risk Analysis*, 12:(1):1992.

United Nations Environment Programme (UNEP), APELL (Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level), A Process for Responding to Technological Accidents. Industry and Environment Program. Paris, France, 1988.

World Bank, World Development Report 1993, *Investing in Health, the Global Burden of Disease in 1990*, February 1994.

# CAPÍTULO 2

---

## EVALUACIÓN DE RIESGOS INTEGRADA Y ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA

---

**Rao V. Kolluru, Dr.PH.**

*CH2M Hill*

*Parsippany, New Jersey*

**Daniel G. Brooks, Ph.D.**

*Arizona State University*

*Tempe, Arizona*

*El riesgo está inherente en el compromiso de recursos actuales hacia expectativas futuras. La meta principal... debe ser el permitir que los negocios asuman el riesgo correcto.*

PETER DRUCKER

### **En este capítulo:**

- Enfoque integrado y administración estratégica
- Definición y medición de riesgos y beneficios
- Un marco macro para la administración de riesgos: la conexión de negocios
- Un estudio de caso: asignación de prioridades de oportunidades para reducir riesgos y asignación de recursos
- ¿Qué es diferente?

---

### **ENFOQUE INTEGRADO Y ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA**

---

**La necesidad de un enfoque integrado.** Como se vio en el capítulo 1, las evaluaciones de riesgos en diversas manifestaciones se usan con mayor frecuencia en agencias gubernamentales, la industria privada y organizaciones internacionales para identificar riesgos humanos y ambientales y asignar recursos. No obstante, en su mayor parte, las evaluaciones de riesgos han sido miopes —al analizar un solo tipo de riesgo en un sitio o fuente, con estimaciones de un solo punto de manera aislada y discontinua—. Careciendo de un amplio contexto, por lo general no existe una visión clara de los beneficios relativos a reducir un riesgo en particular, las alternativas

involucradas, la sensibilidad de tiempo y los intercambios potenciales entre distintas instalaciones y tipos de riesgo.

El concepto de riesgos comparativos es inherente a la evaluación de riesgos y su administración. El Sistema de Clasificación de Riesgos del Superfund y la Lista de Prioridades Nacionales (NPL) representan los esfuerzos de la U.S. Environmental Protection Agency (EPA) por clasificar los numerosos sitios de depósito de residuos peligrosos en el país, por el grado de riesgo y la urgencia de una acción de remedio. Aun cuando existe un desacuerdo científico en cuanto a los pesos asignados a los distintos peligros y no existe un programa sistemático para cuantificar los beneficios, el inventario NPL constituye un paso importante hacia la asignación de prioridades y los riesgos para los humanos y el medio ambiente, asociados con sitios en todo el país.

De igual manera, muchas empresas grandes (como las de Fortune 500) tienen muchas ubicaciones, divisiones, negocios y líneas de productos y enfrentan riesgos múltiples: de seguridad, de salud, ambientales y financieras. La salud de una compañía, hasta su supervivencia, pueden depender de la comprensión y administración de los riesgos. La meta no es necesariamente la de minimizar los riesgos, sino de evaluarlos para que puedan tomarse decisiones informadas acerca de inversiones de capital de entre varias alternativas.

El propósito de este capítulo es el de presentar guías para la administración corporativa, al identificar los distintos tipos de riesgos y los beneficios de reducirlos de manera que rindan “el mayor impacto por cada peso invertido”. En un mundo de incertidumbre permanente, pocas decisiones tomadas por ejecutivos de negocios son más desafiantes y gratificantes que la selección correcta de entre los miles de alternativas de inversiones de capital. En especial, el enfoque propuesto puede ser valioso para (Kolluru, 1994)

- Identificar de manera sistemática los diferentes tipos de riesgos y definir riesgos agregados.
- Enlazar la administración ambiental, de la salud y de seguridad (EHS) con la planificación estratégica corporativa.
- Enfocar los recursos financieros y de otro tipo a las oportunidades de mayor reducción de beneficio-riesgo.
- Administrar y evaluar la reestructuración, desposeimiento y adquisición de activos.
- Adquirir y administrar diversos tipos de seguros que igualen la naturaleza del riesgo.
- Reportar información ambiental y financiera (al público o a legisladores).

**Planificación y administración estratégica.** En esta era de “reingeniería” persistente, el término *estratégico* es uno de los citados con mayor frecuencia, a menudo con poca comprensión de lo que significa. Por regla general se percibe que las decisiones estratégicas tienen que ver con objetivos, acciones y resultados a largo plazo —de 5 a 10 años o más—. Esto es cierto en el sentido de que los objetivos estratégicos son distintos a las metas de operación diaria o anual. Pero los efectos de las decisiones estratégicas distan mucho de ser remotas. Esto es porque las decisiones estratégicas incluyen cuestiones fundamentales (¿en qué dirección, en qué negocio?) y el compromiso de recursos aquí y ahora. El marcado cambio en la asignación de recursos y reestructuración de activos que con frecuencia acompañan las decisiones estratégicas, así como los cambios concomitantes en políticas y valores corporativos se sienten de inmediato —mucho antes de cualquier acumulación de beneficios financieros de inversiones actuales.

Este acto de proselitismo es para insistir en un punto, que los riesgos EHS deben ser contemplados a la par de otras cuestiones estratégicas. Una dificultad consiste en que los ejecutivos por intuición asignan pesos distintos a los ingresos resultantes de inversiones relativas a ahorros de costos evitados (beneficios de la reducción de riesgos). Esto no significa que lo último sea menos real. A nuestro alrededor vemos impactos financieros EHS en las organizaciones (desde muertes, heridas, daños a los recursos, el caso del *Exxon Valdez* es quizá un ejemplo extremo) demasados obvios como para insistir en el punto. En este capítulo presentamos un modelo que incluye un denominador financiero común para evaluar impactos potenciales. La estrategia aquí presentada combina evaluaciones de riesgos con técnicas de análisis de decisiones, tomando en

cuenta fuentes de riesgo múltiples, incertidumbre variable, criterios de umbral y los beneficios de reducir o evitar riesgos. A lo que nos referimos como *riesgo* se define a continuación con los beneficios económicos de la reducción de riesgos. Luego presentamos un marco general para la administración de riesgos integrada, seguida por un caso de estudio ilustrativo.

## **DEFINICIÓN Y MEDICIÓN DE RIESGOS Y BENEFICIOS**

---

### **Definición del riesgo**

Una definición común de *riesgo* —la posibilidad de que algo indeseable ocurra en un momento determinado— es simple en concepto, pero difícil de aplicar. No proporciona ninguna clave al contexto general y de cómo podrían percibirse los riesgos. La mayor parte de las personas piensa en el riesgo en términos de tres componentes. Algo malo que ocurre, las posibilidades de que ocurra y las consecuencias de si ocurre. Estos tres componentes del riesgo pueden ser utilizados como la base para estructurar los riesgos para evaluaciones; Kaplan y Garrick (1981) han propuesto una terna para registrar los riesgos que incluyen una serie de escenarios u ocurrencias similares (algo malo que ocurre), las probabilidades de que las ocurrencias tengan lugar (la posibilidad de que algo malo ocurra) y las medidas de consecuencia asociadas con las ocurrencias.

En cierta forma, esta estructura pide la definición porque todavía queda abierto a los asesores de riesgos el que definan lo que significa *malo*, cuáles son los escenarios u ocurrencias que puedan llevar a algo malo y cómo medir la severidad de los resultados. Los pasos necesarios para definir y medir riesgos incluyen

- Definir lo *malo* al identificar los objetivos de una organización y los recursos que están amenazados
- Identificar escenarios cuya ocurrencia puede amenazar los recursos de valor
- Medir la severidad o magnitud de los impactos

La severidad o magnitud de las consecuencias son medidas por una función de valor que proporciona un *común denominador*. La severidad puede ser medida en unidades comunes en todas las dimensiones de riesgo al traducir el impacto en una unidad de valor común. Puede tratarse de una unidad sin dimensiones como las funciones de utilidad empleadas en la economía y el análisis de decisiones o algún término económico común.

El punto aquí es seleccionar una medida apropiada para medir impactos y luego determinar la forma de la función de efectos. Esta forma debe ser capaz de representar el riesgo para diversos grupos de interés y de expresar los impactos en la salud, la seguridad y el entorno, así como otros valores.

### **Medición e interpretación de riesgos**

La evaluación de riesgos incorpora un gran número de juicios profesionales, tanto técnicos como de valor, muchas suposiciones plausibles y compromisos debidos a la falta de datos suficientes. Esto da como resultado evaluaciones o mediciones de riesgos que tienen una incertidumbre sustancial, pero evaluaciones que deben inspirar al mismo tiempo la confianza de elaboradores de políticas que los utilizan para tomar decisiones administrativas y el público para el que los legisladores han sido designados para servir.

Los numerosos juicios técnicos que deben realizarse al medir los riesgos pueden dar por resultado una incertidumbre considerable en la evaluación de riesgos. Los juicios deben hacerse en cuanto a la medida apropiada para utilizar en la medición, las estadísticas apropiadas para estimar los riesgos (¿la posibilidad estimada máxima, el peor caso, el percentil número 95, la mediana, un estimado de intervalo?), los ajustes para factores de seguridad, la importancia

cuenta fuentes de riesgo múltiples, incertidumbre variable, criterios de umbral y los beneficios de reducir o evitar riesgos. A lo que nos referimos como *riesgo* se define a continuación con los beneficios económicos de la reducción de riesgos. Luego presentamos un marco general para la administración de riesgos integrada, seguida por un caso de estudio ilustrativo.

## **DEFINICIÓN Y MEDICIÓN DE RIESGOS Y BENEFICIOS**

### **Definición del riesgo**

Una definición común de *riesgo* —la posibilidad de que algo indeseable ocurra en un momento determinado— es simple en concepto, pero difícil de aplicar. No proporciona ninguna clave al contexto general y de cómo podrían percibirse los riesgos. La mayor parte de las personas piensa en el riesgo en términos de tres componentes. Algo malo que ocurre, las posibilidades de que ocurra y las consecuencias de si ocurre. Estos tres componentes del riesgo pueden ser utilizados como la base para estructurar los riesgos para evaluaciones; Kaplan y Garrick (1981) han propuesto una terna para registrar los riesgos que incluyen una serie de escenarios u ocurrencias similares (algo malo que ocurre), las probabilidades de que las ocurrencias tengan lugar (la posibilidad de que algo malo ocurra) y las medidas de consecuencia asociadas con las ocurrencias.

En cierta forma, esta estructura pide la definición porque todavía queda abierto a los asesores de riesgos el que definan lo que significa *malo*, cuáles son los escenarios u ocurrencias que puedan llevar a algo malo y cómo medir la severidad de los resultados. Los pasos necesarios para definir y medir riesgos incluyen

- Definir lo *malo* al identificar los objetivos de una organización y los recursos que están amenazados
- Identificar escenarios cuya ocurrencia puede amenazar los recursos de valor
- Medir la severidad o magnitud de los impactos

La severidad o magnitud de las consecuencias son medidas por una función de valor que proporciona un *común denominador*. La severidad puede ser medida en unidades comunes en todas las dimensiones de riesgo al traducir el impacto en una unidad de valor común. Pueden tratarse de una unidad sin dimensiones como las funciones de utilidad empleadas en la economía y el análisis de decisiones o algún término económico común.

El punto aquí es seleccionar una medida apropiada para medir impactos y luego determinar la forma de la función de efectos. Esta forma debe ser capaz de representar el riesgo para diversos grupos de interés y de expresar los impactos en la salud, la seguridad y el entorno, así como otros valores.

### **Medición e interpretación de riesgos**

La evaluación de riesgos incorpora un gran número de juicios profesionales, tanto técnicos como de valor, muchas suposiciones plausibles y compromisos debidos a la falta de datos suficientes. Esto da como resultado evaluaciones o mediciones de riesgos que tienen una incertidumbre sustancial, pero evaluaciones que deben inspirar al mismo tiempo la confianza de los elaboradores de políticas que los utilizan para tomar decisiones administrativas y el público para el que los legisladores han sido designados para servir.

Los numerosos juicios técnicos que deben realizarse al medir los riesgos pueden dar por resultado una incertidumbre considerable en la evaluación de riesgos. Los juicios deben hacerse en cuanto a la medida apropiada para utilizar en la medición, las estadísticas apropiadas para estimar los riesgos (¿la posibilidad estimada máxima, el peor caso, el percentil número 95, mediana, un estimado de intervalo?), los ajustes para factores de seguridad, la importancia

relativa de datos relacionados o estudios relacionados y más. Estos juicios requieren puntos técnicos específicos en cuanto a cómo recolectar la información, qué modelo hay que utilizar y cómo interpretar las guías reglamentarias. La evaluación de riesgos técnicos no es evidentemente un valor neutral.

La inclusión explícita de incertidumbre con frecuencia es vista como una mejoría en la medición de riesgos. Esto es válido en el sentido de que hace más claro el papel de la incertidumbre. No es cierto en el sentido de que haga la evaluación de riesgos más fácil de interpretar. Donde antes había un estimado de un solo punto, ahora existe una distribución de valores. ¿Qué característica de esta distribución debe ser utilizada para determinar si se cumplen los requerimientos? ¿Cómo debe calcularse el índice de riesgo a beneficio cuando tanto el riesgo como el beneficio explícitamente influyen en la incertidumbre? ¿Una distribución de índices?

Al preguntarnos acerca de cómo se contemplan los riesgos y la evaluación de riesgos, las respuestas de gerentes iban de "pueden obtenerse los resultados que uno quiera", a una aceptación total de un número único como la inclusión completa del riesgo medido (Morgan, 1991). Por lo general, los tomadores de decisiones buscan evidencia en las evaluaciones que les brinden confianza en los resultados; una característica que da confianza en las evaluaciones es la consistencia interna.

Hay evidencia creciente en el sentido de que los gerentes de riesgos hacen dos cosas para realizar la interpretación final de evaluaciones antes de decidir cómo responder. En primer término, interpretan los resultados del riesgo cualitativamente como un alto riesgo, riesgo mediano, o riesgo bajo; y en segundo lugar, verifican para ver cómo este riesgo se compara con el riesgo en otras áreas relacionadas y reguladas. Si es más alto, toman decisiones de asignación para reducirlo. Si es más o menos lo mismo, lo tratan igual que como trataron riesgos similares y si está por abajo de áreas similares, toleran el riesgo en este momento (Morgan, 1991).

Aun cuando existen modelos formales que describen cómo realizar evaluaciones de riesgos y cómo documentar algunas de las suposiciones, ha habido pocos casos en los cuales el punto más importante de usar las evaluaciones de riesgo para formar política de administración de riesgos es formalizada (Otway y von Winterfeldt, 1991). Este proceso es en extremo informal; de hecho, es subjetivo en tanto no queda explícito y es probable que cambie cuando el individuo que toma las decisiones es sustituido.

El problema de usar evaluaciones de riesgos como la base para administrar los mismos, se ve complicado por un número de puntos importantes: las evaluaciones de riesgos son difíciles de comprender y las percepciones de riesgos con frecuencia no están de conformidad con las evaluaciones de riesgos para que los mismos con valores de evaluación muy bajos pueden ser muy altos en términos de preocupación pública. También existen múltiples puntos de vista, tanto al evaluar, como al percibir el riesgo, al grado de que no existe consenso sobre cuál es el riesgo mayor. Todo esto se complica más por la introducción de la incertidumbre en la evaluación, tanto de amenazas (o dosis), como sus impactos (o respuestas).

**Percepción del riesgo.** Un motivo para el amplio rango de formas mediante las cuales se utilizan las evaluaciones de riesgos en su administración, consiste en que la evaluación es sólo parte de lo que se utiliza para determinar la política de administración de riesgos; otro punto importante en la toma de decisiones es la percepción del riesgo. Para manejar el riesgo de manera apropiada, la toma de decisiones debe estar basada no sólo en la evaluación del riesgo, sino en la forma como las personas consideran ese riesgo. Hasta hace muy poco, la evaluación de riesgos ha sido contemplada como parte del dominio de la ciencia y la percepción pública de los riesgos ha sido considerada como relevante, excepto en lo que influye en la comunicación de riesgos.

Este punto de vista de la evaluación de riesgos frente a la percepción de los mismos sostiene que existe un riesgo "real" y luego está la percepción de ese riesgo y la percepción puede ser exacta o inexacta. Este punto de vista no sólo es simplista, sino que tiene fallas fundamentales. No hay algo exacto y preciso como un riesgo "real". Existen peligros reales, por supuesto, pero las evaluaciones de riesgos que estiman cómo pueden ocurrir y el peligro asociado con estas ocurrencias no son más reales que las percepciones. Todavía hoy, Slovic (1994), pionero en esta

área, ha mostrado cómo hasta el tipo de riesgo más abierto como el peligro de muerte en una mina de carbón no se somete a una evaluación simple. ¿Se vuelve la minería de carbón mucho más segura en términos del número de muertes que ocasiona? Una gráfica del número de muertes ocasionadas por la minería de carbón en los últimos 50 años muestra una línea decreciente constante. Sin embargo, la gráfica que muestra el número de muertes por millar de mineros de carbón en los últimos cincuenta años, no muestra ninguna tendencia descendiente en absoluto. ¿Está decreciendo el riesgo para los mineros de carbón? ¿Está disminuyendo el riesgo de la minería de carbón en la sociedad? No existe una respuesta simple; depende del contexto.

Hasta la medida de los riesgos de mortalidad —una de las formas más simples de medir consecuencias, ya que existen pocos argumentos genuinos acerca de si una persona en verdad está muerta o no— demuestra que la medición de riesgos es difícil. Hay muchos tipos de medidas para los índices de mortalidad: muertes por millar de trabajadores, muertes por millar de la población, muertes por millar dentro de  $x$  kilómetros del sitio de exposición, muertes por millar dentro de las instalaciones en su ubicación, muertes por tonelada de producto producido, muertes por tonelada de materiales tóxicos en el producto, etcétera. Es la política la que por norma determina la medida y es la perspectiva la que influye en cómo la política tomará su decisión de marco.

Una vez que se toma la decisión de marco y se especifica una unidad de medida para reportar el riesgo, las limitaciones del proceso de evaluación de riesgo siguen siendo tan numerosas que impiden cualquier declaración objetiva real de esa actitud. Éstos son problemas con el modelado de elecciones y presunciones, comprensión y comunicación de los puntos fuertes y débiles de estos juicios, los problemas de extrapolación de animales a humanos, de exposiciones pasadas a exposiciones futuras, y demás. Para empeorar las cosas, existen percepciones de riesgos en competencia.

El modelo tradicional de la administración de riesgos tiene a la ciencia guiando la política de administración de riesgos sobre un curso racional que es explicado de una manera que conforma la percepción del riesgo por el público. El nuevo modelo de administración de riesgos se desvía de este punto de vista tradicional: la ciencia *más* los valores públicos ahora guían la política y ambos son contemplados en parte objetivos y en parte subjetivos —y ambos son contemplados como inciertos—. La percepción pública del riesgo ha ido de irrelevante a ser un punto básico para una buena política de administración de riesgos.

Las siguientes secciones muestran cómo puede cuantificarse el riesgo, cómo las percepciones y valores públicos pueden ser cuantificados y cómo puede estimarse el riesgo basado tanto en evaluaciones de científicos, como las percepciones y valores del público y los administradores seleccionados por ellos para hacer la política.

## **UN MARCO MACRO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS: LA CONEXIÓN DE NEGOCIOS**

---

El marco general para definir metas, identificar reducción/evitar, oportunidades de riesgos y asignar recursos se presenta en esta sección. Como se ilustra en la figura 2.1, existen cinco pasos principales:

1. Definir los objetivos del negocio y las metas EHS.
2. Identificar los recursos en riesgo y evaluar los riesgos.
3. Desarrollar alternativas de reducir y evitar riesgos.
4. Asignar prioridades a las oportunidades de reducir y evitar riesgos.
5. Poner en práctica proyectos selectos y revisar su avance.

### **Definir objetivos**

Este paso proporciona la conexión estratégica de negocios y debe dirigirse por los tomadores de decisiones responsables del entorno, salud y seguridad. Las metas de reducción de riesgos

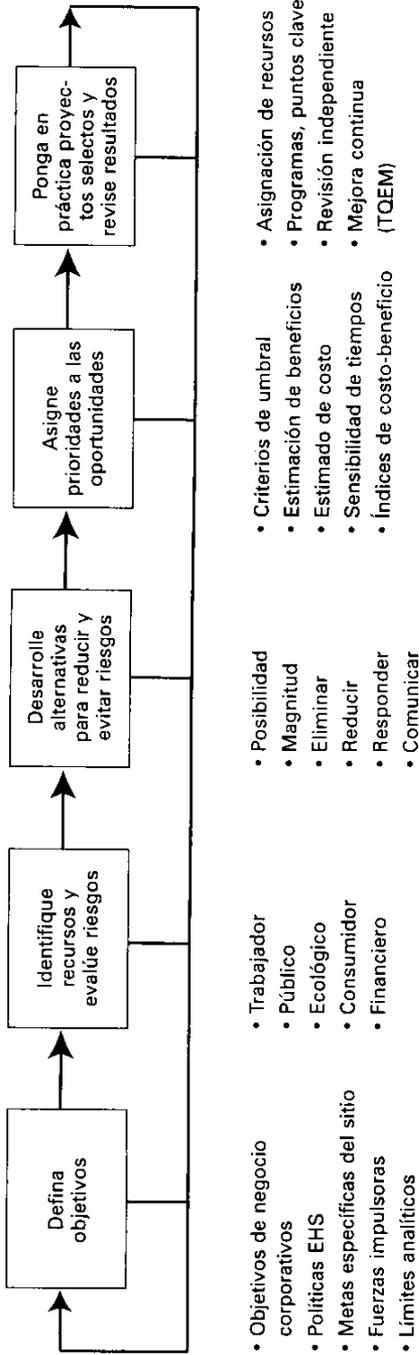


FIGURA 2.1 Marco integrado de evaluación y administración de riesgos.

pueden derivarse de objetivos de negocios corporativos generales, políticas de EHS, metas de operación y criterios de tolerancia de riesgos. La aversión de los riesgos de compañías grandes con bolsillos profundos es con frecuencia una fuerza impulsora para la identificación y mitigación de riesgos posibles. Entre las otras fuerzas impulsoras están la reestructuración de activos (por ejemplo, la venta de unas instalaciones o una unidad de negocios por cambios en el mercado o implicaciones de responsabilidad), presiones reglamentarias y demandas de grupos de interés.

El ámbito de un estudio o proyecto y los límites analíticos deben considerarse con cuidado: una ubicación de manufactura o muchas, una unidad de negocios específica, operaciones de transporte, etcétera. Aun cuando el tratar con una instalación única es más sencillo (y un buen inicio si se trata de una instalación grande), las opciones potenciales y los cambios tienden a extenderse exponencialmente si los límites del estudio van más allá de instalaciones y negocios. Por ejemplo, si una tierra húmeda es dañada o está amenazada en un sitio, puede ser posible crear una tierra húmeda compensatoria en otra ubicación de la misma compañía o en una empresa diferente.

Las compañías comprometidas en una administración comprensiva de riesgos, no deben, por supuesto, limitar el programa a las instalaciones de operaciones actuales. Un caso en cuestión, es el cierre de la planta de fósforo de Monsanto en Columbia Tennessee, después de cincuenta años de operación. En cooperación con la Agencia de Recursos de la Vida Silvestre de Tennessee, la Sociedad Ornitológica de Tennessee y otras organizaciones, el sitio de cinco mil acres fue convertido en el Área de Fortalecimiento del Hábitat de la Vida Silvestre Monsanto. Las metas establecidas por Monsanto fueron las de “fortalecer el área como un hábitat de la vida silvestre para realizar el método de administrar el sitio más eficiente en costos, para mantener un cinturón verde como una zona ‘colchón’ para uso futuro del área central de la planta y ofrecer instalaciones convenientes para observar muchas especies de aves”.

En 1990, el área fue inaugurada oficialmente como un Área Oficial de Observación de la Vida Silvestre de Tennessee. Así, lo que podría haber sido un terreno improductivo y una responsabilidad, se ha transformado a un costo relativamente bajo en un activo ambiental valioso que crea una enorme plusvalía.

## Evaluación y valoración de riesgos

Para una organización de negocios, los recursos en riesgo casi siempre incluyen salud de los obreros y seguridad (por lo general dentro de los límites de la planta), la salud pública y la seguridad (casi siempre fuera de la meta limítrofe), recursos naturales (dentro y fuera del sitio), buena disposición pública (“franquicia del consumidor”), así como activos financieros (por ejemplo, daños a equipo, pérdidas en la producción).

Casi siempre hay alguna información sobre condiciones de salubridad y seguridad en un sitio y sus alrededores en los activos de la compañía y en las agencias reglamentarias federales y estatales. Por regla general, el análisis de evaluaciones de riesgo con estimados de punto conservador son adecuados. Pueden ser necesarios de vez en cuando mejores estimados de riesgos basados en distribuciones de probabilidades o un rango de suposiciones altas, medianas o bajas, dependiendo del ámbito del proyecto y la magnitud del riesgo. Una matriz de análisis, tal como la que se muestra en la figura 2.2 con las dos dimensiones de riesgo importantes, o sea, probabilidad de ocurrencia y magnitud de las consecuencias, puede ser utilizada para decidir el nivel de esfuerzo apropiado.

Las preocupaciones públicas comprenden un riesgo difícil de cuantificar, pero no menos real para la viabilidad del negocio. (Por ejemplo, en el último mes, ¿cuántas veces se tuvo que comprar o no se compró un producto por su funcionalidad ambiental o la imagen EHS de su fabricante?) La buena disposición pública es tal vez más importante para una empresa de bienes para el consumidor como Procter & Gamble, que para un fabricante de máquinas herramienta. Hasta en el caso de una compañía de productos industriales, los planes de expansión o hasta de continuar operaciones en una comunidad, puede verse afectada por las preocupaciones públicas.

**Valuación de recursos en riesgo.** El asignar un valor a los recursos en riesgo, en especial la vida humana, es una proposición difícil y controversial. Comprensiblemente, existe una renuen-

<i>Magnitud de las consecuencias</i>				
Frecuencia (Probabilidad)	Catastrófica	Alta	Moderada	Baja
Frecuente	I	I	II	III
Periódica	I	II	III	IV
Ocasional	II	III	IV	IV
Remota	III	IV	IV	IV

<i>Clasificación de frecuencia</i>	<i>Magnitud de la consecuencia</i>
Frecuente: Una o más veces en un año	Catastrófica: Fallecimiento en el sitio, >10 millones de dólares en pérdidas, fallecimientos o heridas fuera del sitio
Periódica: Una vez en 1 a 5 años	Alta: Heridas en el sitio, accidente con pérdida de tiempo, >1 millón de dólares en pérdidas (daños a la propiedad, tiempo de paro)
Ocasional: Una vez en una década	Moderado: Heridas reportables en el sitio, <1 millón de dólares en pérdidas
Remota: Una vez en la vida de una planta o no esperada	Baja: Problemas de operación, reporte del incidente, pérdidas mínimas o no financieras

Código de riesgo: I crítico; II indeseable; III aceptable con controles; IV aceptable

FIGURA 2.2 Ejemplo de matriz de frecuencia-magnitud.

cia a asignar valores monetarios explícitos a los riesgos, y tampoco hay consenso en lo que deberían ser. No obstante, decisiones basadas en tales valuaciones son inevitables en las sociedades industriales, ya sean tomadas implícitamente (Estados Unidos) o explícitas (Europa). La tabla 2.1 muestra un ejemplo de dimensiones de riesgo que deben ser atendidas al cuantificar diversos riesgos humanos, ambientales y financieros con un denominador común.

### Desarrollo de alternativas para reducir/evitar riesgos

El proceso de reducción de riesgos se inicia con una revisión de recursos elegidos y riesgos asociados, de sesiones de intercambio de ideas para generar un portafolio de ideas "suaves" y

**TABLA 2.1** Ejemplo de dimensiones de riesgo

---

Fallecimiento evitado de trabajadores
Heridas evitadas incapacitantes en trabajadores
Fallecimientos evitados del público
Casos de cáncer en aumento evitados
Heridas evitadas en el público fuera del sitio
Daños impedidos a los recursos ambientales
Preocupaciones públicas evitadas/buena disposición adquirida
Pérdidas impedidas en la propiedad

---

“duras”. Tal inventario ha sido desarrollado a través de equipos multifuncionales de 6 a 10 miembros del cuerpo de ingenieros de la instalación, profesionales EHS, gerentes de negocios y un coordinador —un consultor interno o externo conocedor de las áreas EHS y técnicas de análisis de decisiones—. Un analista financiero y un abogado pueden ser agregados al equipo en etapas posteriores. (La viabilidad técnica y las consideraciones de costos son diferidas para no inhibir las ideas creativas en las etapas iniciales.)

Dependiendo del contexto, los riesgos EHS pueden ser reducidos al atacar uno o más enlaces en la secuencia de causa efecto por eliminación o reducción del número y tamaño de las fuentes de peligro, posibilidad de iniciar y propagar acontecimientos, recursos o receptores en riesgo (en especial receptores humanos y ecológicos sensibles) y la posibilidad de exposición y severidad de efecto (magnitud de las consecuencias). Las listas de verificación y palabras guías tales como las mostradas en el siguiente recuadro son utilizadas para ayudar en el proceso. Por lo general, el proceso resulta en varias ideas, desde limpieza y cambios de procedimientos, controles institucionales en inversiones de capital importantes, hasta reestructuraciones del negocio. Las diversas oportunidades de reducción de riesgo podrían agruparse de acuerdo a categorías designadas. En nuestra experiencia, cierto número de cambios relacionados con limpieza y mantenimiento son puestos en práctica y producen beneficios significativos casi de inmediato, antes de que se inicie un análisis formal de costo-beneficio.

***Desarrollo de alternativas para reducir/evitar riesgos: algunas claves***

Comprometer	Política, misión, cultura Recursos (personas, dinero, tiempo)
Eliminar	Vender el negocio Retirar Proceso de cambio Ubicación de cambio Reconfigurar Sustituir Revisar ciclo de vida del producto
Reducir	Comprar (en lugar de hacer) Reducir inventarios Reprogramar (entregas, embarques) Instalar sistemas de soporte redundantes Reemplazar, actualizar Minimizar desperdicios Realizar mantenimiento previsible Considerar ergonomía
Responder	Capacitación (inicial, de continuidad) Equipo de protección Planes de contingencia
Apalancamiento	Cambiar límites Intercambiar/retirar asignaciones Administrar demanda
Comunicar	Programas constantes que llegan al público Sociedades

## **Asignación de prioridades para oportunidades para reducir/evitar riesgos**

Además del inventario de ideas de reducción de riesgos generados en el paso anterior, se deben considerar los requerimientos de *umbral*. Son cuestiones de tipo de cumplimiento, por ejemplo, requerimientos reglamentarios que deben ser cumplidos; de otra forma, la compañía y la alta gerencia tendrían que enfrentar demandas civiles y penales inaceptables. Ya que generalmente hay poca discreción en estos asuntos, a los requerimientos de umbral se asigna la más alta prioridad. Aun así, casi siempre hay cierta flexibilidad en los medios para lograr el cumplimiento con implicaciones financieras y de otro tipo (por ejemplo, permitir excesos, multas, reacción pública).

Los beneficios que resultarían de la reducción de riesgos son cuantificados utilizando valores y estructuras como las mostradas en la tabla 2.1. Estimados de costos de orden-de-magnitud para las diversas alternativas son desarrollados para derivar índices de costo-beneficio. Los costos y beneficios podrían ser estimados de punto, por ejemplo, bajos, medios, altos, peor caso, mejor caso, o distribuciones de probabilidades. De cualquier forma, la asignación de prioridades debe hacer énfasis en la sensibilidad de tiempo de costos y beneficios. Esto significa no sólo ver los métodos tradicionales de flujo de efectivo de descuento (DCF), sino el prestar atención especial a los impactos ambientales potenciales de una acción demorada; por ejemplo: ¿Qué sucedería si una fuga en el sitio tiene un 10% de oportunidad de contaminar un depósito de agua potable (o dañar tierras húmedas o áreas de pesca) en 5 años? ¿Qué sucederá si los reglamentos o los legisladores cambian? ¿Cómo podría cambiar la recuperación de seguros con el tiempo? Siguiendo este tipo de análisis, los índices de costo-beneficios para diversas alternativas identificadas son clasificados y se les asigna prioridad para su puesta en práctica.

## **Arranque de proyectos y revisión de avance**

Del portafolios de ideas para reducir riesgos, aquellas que muestren los más elevados índices de costo-beneficio son las primeras en ser puestas en práctica. El principio Pareto 80-20 parece tener aplicación aquí también; por ejemplo, el 80% de los beneficios pueden derivarse de un 20% de los costos. El punto de recorte actual varía según los planes estratégicos y operativos de una compañía, otros proyectos que compiten por capital, etcétera. Como se ilustra en la siguiente sección, los proyectos de reducción de riesgos pueden someterse al mismo tipo de análisis financiero como cualquier otro proyecto de inversión. Los puntos clave del proyecto y los beneficios esperados deben definirse y rastrearse y los resultados deben revisarse por un cuerpo independiente. Dado que la administración de riesgos es un proceso continuo, los riesgos EHS deben ser revisados con periodicidad y administrados como parte del ciclo de planificación del negocio, quizá en conjunto con la Administración Ambiental de Calidad Total (TQEM). (Observe el fuerte énfasis reiterativo del proceso.)

El siguiente caso de estudio ilustra la asignación de prioridades de los riesgos y el proceso de asignación de recursos en una empresa industrial que hace énfasis en el valor de atender las inquietudes del público.

## **UN ESTUDIO DE CASO: ASIGNACIÓN DE PRIORIDADES DE OPORTUNIDADES PARA REDUCIR RIESGOS Y ASIGNACIÓN DE RECURSOS**

La División de Administración Ambiental (EM) de una importante organización norteamericana tiene una interacción continua y estrecha con el público en la mayoría de sus programas; además, debe equilibrar responsabilidades legales, cumplimiento de reglamentos y ejercer buen juicio diario al tomar decisiones sobre actividades de programa. El desempeño de la división también es crucial para cumplir las expectativas de los accionistas corporativos y el consejo directivo en relación al desarrollo futuro de la organización.

La asignación de fondos dentro de la división EM se basa en dos herramientas organizacionales:

- El *programa de cumplimiento institucional* es una estructura de división del trabajo jerárquico que organiza las actividades en programas, subprogramas y grupos de actividades dentro de los subprogramas. Esta estructura es la base para identificar tanto necesidades, como oportunidades para el esfuerzo de la división y rastrear el avance de actividades apoyadas.
- El *análisis de costo-beneficio basado en riesgos* se utiliza para asignar prioridades en la aplicación de recursos para programas en la estructura de desglose del trabajo. Esta estructura desarrolla la organización de actividades que hay que considerar en decisiones de asignación de recursos.

### El proceso de decisión de asignación de prioridades

La figura 2.3 muestra cómo la estructura de desglose del trabajo y la asignación de prioridades de recursos basada en riesgos trabajan en conjunto para proporcionar un proceso de administración de riesgos integrado. Este proceso puede ser la base para integrar la administración de riesgos en el proceso de planificación presupuestal regular; combina la experiencia técnica necesaria para evaluar riesgos con los juicios de política necesarios para administrar los riesgos.

#### Paso 1: Desarrollo de objetivos de administración de riesgos

El *riesgo* se define como la ocurrencia probable de un resultado indeseable. Para medir el grado de indeseabilidad, los valores de las organizaciones deben definirse. Esto se hace al especificar los objetivos de la organización y luego desarrollar medidas que muestren el impacto en estos objetivos al realizar (o no realizar) ciertas acciones. Los objetivos que son identificados para el proceso de administración de riesgos de la división EM definen las dimensiones de riesgo que serán utilizadas para evaluar las actividades propuestas.

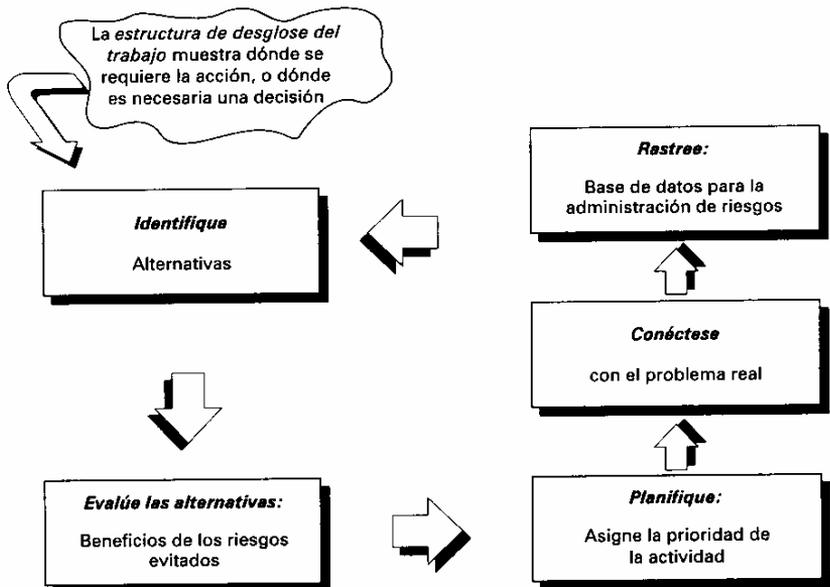


FIGURA 2.3 Componentes del proceso de evaluación de riesgos de la División EM.

Se realizó una serie de entrevistas y discusiones con dirigentes EM. La serie de pasos mostrados en la figura 2.3 representan la base actual para evaluar la efectividad de una actividad de reducción de riesgos: la base actual es *el grado al cual esa actividad resalta el logro de los objetivos de administración de riesgos con efectividad*.

El proceso de asignación de prioridades identifica las actividades que son más efectivas al evaluar la cantidad de riesgos evitados que pueden ser atribuidos a esas actividades. Esto se logra al identificar

*Riesgo de línea de base:* el nivel de riesgo actual si no se emprenden actividades adicionales o de incremento

*Riesgo modificado:* el nivel de riesgo si las actividades de incremento se ponen en práctica en su totalidad

*Riesgo evitado:* la diferencia entre el riesgo de línea de base y el riesgo modificado, atribuida a las actividades de incremento que se ponen en marcha

El riesgo para las decisiones de asignación de prioridades de la División EM se define como la posibilidad de un impacto indeseable en

- La salud y seguridad de los trabajadores
- La salud y seguridad del público
- Recursos ambientales
- Buena disposición/preocupaciones del público
- Cumplimiento de reglamentos
- Calidad profesional
- Capacidad de comprender los procesos ambientales fundamentales
- La capacidad de administrar recursos con efectividad en apoyo de su misión

Estas dimensiones de riesgo que hay que evitar al asignar recursos se ilustran en la figura 2.4.

Los objetivos de alto nivel se conocen como *categorías de objetivos principales* o estratégicas. Los objetivos de línea de base (salud y seguridad de los trabajadores, recursos ambientales, etc.) se llaman *objetivos operacionales*, y se utilizan como los *criterios de evaluación* para asignar prioridades a los gastos en la administración de riesgos.

Nótese que existen tres *categorías importantes* de administración de riesgos efectivas. La primera es la administración de riesgos para la salud, seguridad, ambientales y de buena disposición con el público. Esto significa la necesidad de identificar y mitigar con prontitud los *verdaderos impactos* en estas áreas.

La segunda se refiere a mantener la *calidad profesional*, incluyendo competencia técnica y comprensión de la verdadera naturaleza de los riesgos ambientales. Sin una división EM competente y con buen apoyo profesional, las actividades se verán reducidas a un ciego cumplimiento de los reglamentos ambientales más que a la comprensión y mitigación de verdaderos riesgos. El resultado sería un apoyo ineficiente de la verdadera reducción de riesgos en la organización y una incapacidad de comprender, incluir y cumplir los reglamentos ambientales existentes y los nuevos.

La tercera categoría es la administración del *acatamiento ambiental* de las actividades de la organización. El acatamiento efectivo es afirmado sobre la promesa de que la organización identifica y mitiga riesgos verdaderos y que el cumplimiento es un medio para documentar sistemáticamente estas actividades. A su vez, la mitigación de riesgos efectiva supone que la división EM es competente en un ámbito profesional para administrar los riesgos ambientales en términos de su capacitación, apoyo y responsabilidades asignadas.

Dentro de cada una de las categorías importantes se encuentra una serie de *objetivos operacionales* que definen cómo esa categoría importante se interpreta. Estos objetivos operacionales sirven como los *criterios de evaluación del proyecto* para asignar prioridades de gastos de fondos indirectos en la división EM.

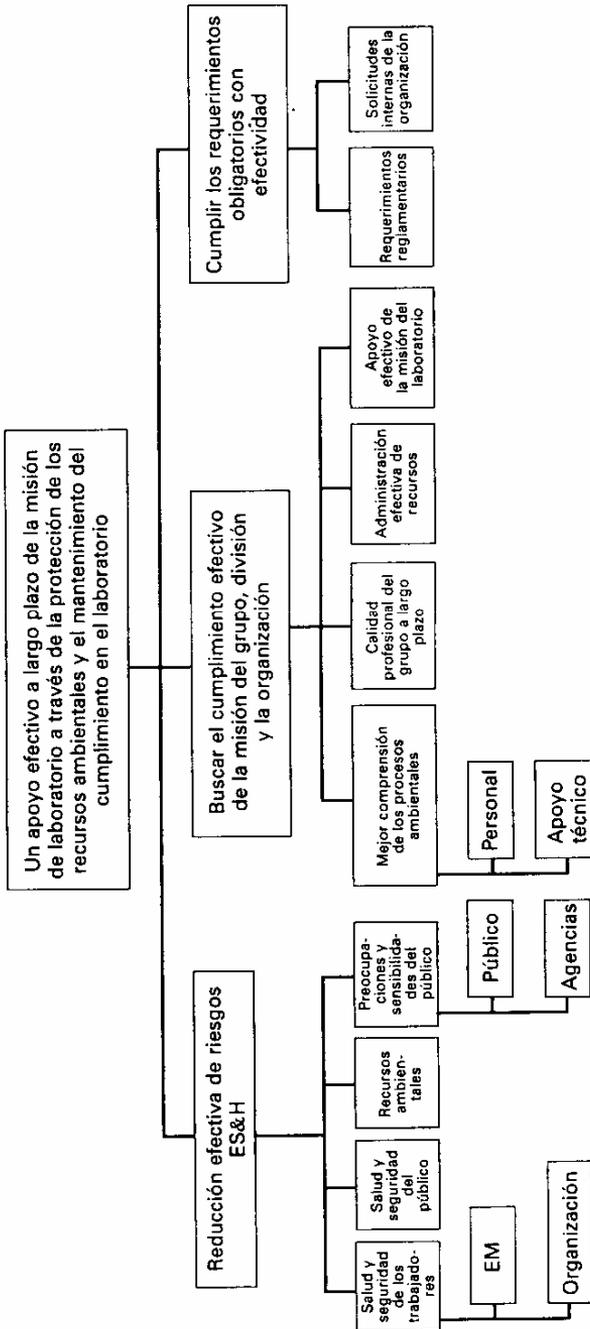


FIGURA 2.4 Jerarquía de categorías de evaluación de riesgos desarrollada por la División EM.

## Paso 2a: Desarrollo de medidas de riesgos por valores

Todavía es necesario definir qué significa *indeseable* para cada una de las medidas de evaluación. Esto requiere el desarrollo de *funciones de valor* para cada criterio, donde el valor de la función especifica qué es preferible como un resultado y qué no lo es. Esto se realiza en dos pasos:

1. Desarrolle una *medida* de impacto por cada categoría.
2. Desarrolle una *función de valor* por el rango de medidas posibles que muestren el mejor y el peor resultado.

El desarrollo de medidas y funciones de valor para las medidas requiere una definición más detallada de cada categoría por expertos en la materia. La medida de impacto y el valor del impacto son proporcionados por los expertos en cada una de las áreas de criterios.

La figura 2.5 ilustra el proceso conceptual para desarrollar una *medida* para cada una de las categorías. Un desarrollo similar se dio para cada una y los criterios de evaluación de riesgos definidos por la serie de objetivos de administración de riesgos. Se desarrolló una escala de medición para cada una de las categorías de riesgos identificadas por los objetivos de la administración de riesgos de la división EM. Estas escalas se utilizan para evaluar el impacto del proyecto propuesto.

**Evaluación del impacto general del riesgo de una actividad.** Cada criterio de evaluación tiene una *medida* de manera que sea posible medir el grado al cual una actividad alcanza el objetivo operacional asociado con ese criterio. Cada medida debe tener, entonces, una *función de valor* para que pueda medirse el *valor* de varios niveles de logro. Las funciones de valor reflejan cuán importante son los distintos niveles de logro.

Las funciones de valor asociadas con las medidas de evaluación de riesgo se basan en evaluaciones cualitativas de la alta gerencia de la organización y los expertos en la materia. Las funciones reflejan la experiencia gerencial para identificar la importancia asociada con distintas reducciones de riesgos.

Para combinar los valores de impacto de cada una de las medidas de evaluación, deben recibir pesos de "intercambio" que reflejen su importancia relativa entre ellas. Por ejemplo, cuán importante es la salud y la seguridad en relación a la reducción de riesgo ambiental. En decisiones de negocios normales, estos intercambios se hacen por rutina, por la forma en la cual los fondos son asignados. El atender los intercambios explícitamente hace conscientes a los agentes de los intercambios que están utilizando de manera implícita al tomar decisiones de asignación de fondos. Estos pesos representan la política de una organización para atender riesgos en competencia con recursos y tiempos limitados. Estos pesos relativos serán presentados en la siguiente sección en términos económicos.

Utilizando la función de valor para los impactos dentro de cada categoría y los pesos que muestran la importancia relativa entre categorías, se puede calcular un impacto de riesgo general para una actividad al tomar la combinación pesada del valor de los impactos dentro de cada una de las categorías. La regla de la combinación depende del grado de independencia de las categorías de riesgos. Estas propiedades de independencia son puestas a prueba utilizando una serie de pruebas de "independientes" de diseño especial. Al modelar la administración de los criterios de evaluación de la división EM, los criterios demostraron ser independientes aditivamente de manera aproximada, de modo que los impactos de cada uno de los criterios se combinan al agregarlos después de asignarles un peso apropiado. Si las categorías demuestran tener una superposición lo más baja posible, la independencia por añadidura es con frecuencia una suposición razonable.

**Estimación del valor económico de los riesgos evitados.** Para dar un valor económico a los riesgos generales evitados por una actividad, debe añadirse algún valor a los riesgos o impactos en cada una de las áreas de criterio. Este valor es determinado utilizando una serie de intercambios entre resultados donde los tomadores de decisiones indican su *disposición de pagar* cierto

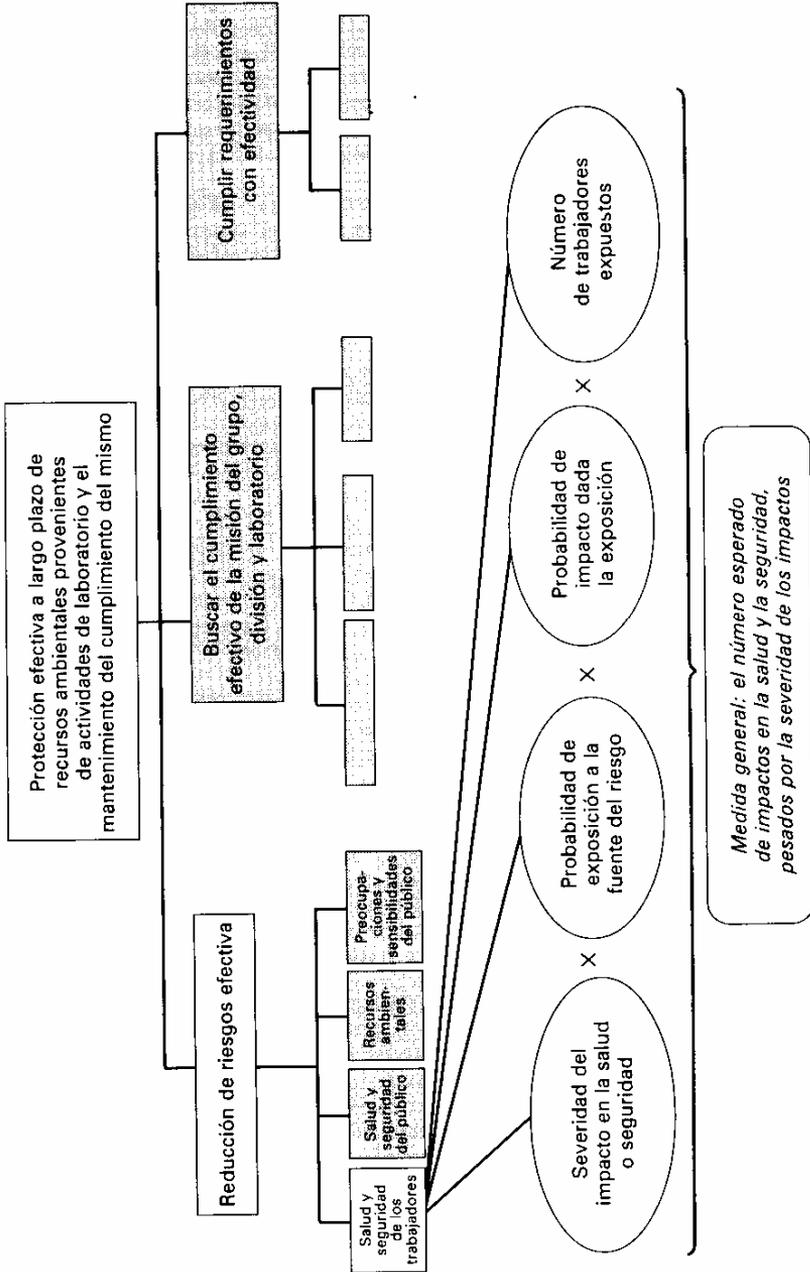


FIGURA 2.5 Desarrollo de una medida de riesgo para la salud y la seguridad.

tipo de resultados (o disponibilidad de pagar para impedir estos resultados). Este proceso es similar en concepto a la actividad de subasta que determina el valor de cualquier producto en el mercado.

La tabla 2.2 muestra el valor aproximado asignado al impacto posible más elevado en cada una de las categorías de riesgo. El coeficiente de valor combinado con la definición de mayor impacto presenta la base para determinar la contribución relativa de cada una de las categorías para el valor general del impacto del riesgo. El valor monetario del riesgo evitado se basa en los valores fundamentales de la gerencia de la división EM para evitar tipos de riesgos en competencia. Estos valores fueron determinados a través de una valuación estructurada de intercambios presentada a los gerentes.

Los coeficientes monetarios son un representante del nivel de impacto en las operaciones de la división EM representada por el impacto de mayor nivel que ocurre para esos criterios de evaluación. Cuanto más alto sea el valor de coeficiente, mayor es la disposición de pagar. El valor monetario de los riesgos evitados se determina al estimar el riesgo evitado para cada criterio de evaluación y luego evaluarlo por el coeficiente apropiado mostrado en la tabla.

**TABLA 2.2** Coeficientes de intercambio de riesgos

Categoría de riesgo	Valor de coeficiente (\$ millones)	Resultado de mayor nivel
Salud y seguridad de los trabajadores	2.5	Muertes estadísticas (valoradas por la población)
Salud y seguridad de los trabajadores del laboratorio	2.5	Muertes estadísticas (valoradas por la población)
Salud y seguridad del público	5.0	Muertes estadísticas (valoradas por la población)
Recursos ambientales	20	Eliminación de una especie amenazada y en peligro de extinción o un equivalente de tierra húmeda
Preocupaciones públicas	5	Demostraciones públicas y cobertura nacional negativa
Cumplimiento reglamentario	25	Cierre de operaciones de la organización
Calidad profesional de la división	2.5	Eliminación de la competencia profesional para juzgar problemas ambientales
Comprensión de los procesos ambientales	2.5	Eliminación de la competencia profesional de comprender los riesgos ambientales
Administración de recursos	1	Incapacidad de operar las actividades con fondos indirectos de la división
Requerimientos de la organización	3	Incapacidad de responder a la necesidad organizacional que cierre otros programas dentro de la organización con efectividad

Ya que las medidas de evaluación de riesgo son casi independientes (de tal modo que las preferencias para evitar el riesgo en una categoría son independientes de los niveles de riesgo actuales en otras categorías), es razonable combinar los riesgos evitados estimados en cada categoría al agregarlos. No existen términos de interacción en la ecuación de valor de riesgo evitado por la suposición de independencia. Nótese que la independencia no significa que eliminar riesgos en una categoría no está *correlacionada* con eliminar riesgos en otras categorías; significa que el *valor* del riesgo evitado en una categoría no depende del nivel de riesgo en otras categorías.

## Paso 2b: Desarrollo de medidas de riesgos para la incertidumbre

Para medir el riesgo como una terna ordenada, definimos el riesgo en una instalación como la serie  $R$  establecida que contiene la terna  $\{(S_i, pS_i, cS_i), i = 1, \dots, n\}$ , en la que  $S_i$  es una serie de ocurrencias similares o un escenario,  $pS_i$  es la probabilidad de que  $S_i$  ocurra,  $cS_i$  es el vector de consecuencias asociadas con la ocurrencia de  $S_i$ ;  $n$  es el número de escenarios a evaluar.

La evaluación del riesgo asociado con un sitio de la división EM, tales como un sitio Superfund, es la evaluación del conjunto de  $R$ . La tarea de un gerente de riesgos es la asignación de recursos limitados (incluyendo dinero, pero con frecuencia con recursos más restrictivos tales como tiempo, personal técnico, maquinaria, espacio, etcétera) para *cambiar el conjunto de  $R$  al cambiar o eliminar escenarios, cambiar probabilidades de escenarios y cambiar las consecuencias de escenarios.*

Una medida de resumen típica que muestra los resultados de examinar los escenarios en  $R$  es la *función de distribución acumulativa complementaria* (CCDF); esta función muestra la probabilidad de que las consecuencias  $cS$  excedan un valor especificado  $x$  para todos los valores de  $x$ ; la CCDF se define por la ecuación

$$F(x) = \sum_{j=i}^n pS_j$$

en donde  $i$  es el integrador más pequeño de manera que  $cS_j > x$ . La forma de esta definición supone que los riesgos en un sitio han sido "separados" en escenarios; cada escenario contiene un conjunto de ocurrencias similares de tal forma que todas las ocurrencias posibles que conduzcan a un resultado "malo" en el sitio puedan colocarse en uno de éstos  $n$  escenarios  $S_i$ .

Mejores evaluaciones de riesgos identifican más, o más refinados conjuntos de  $S_j$ ; mejoran los estimados  $pS_j$  o  $cS_j$ . La CCDF aparece en la figura 2.6 con las "discontinuidades" conectadas de manera que parece un perfil de riesgo complementario, basado en la función de distribución acumulativa. Una evaluación de riesgos para una serie de escenarios  $R$  puede ser aceptable si la CCDF cae dentro de los requerimientos de contención especificados por las agencias reguladoras importantes o los requisitos de contención estipulados por las tolerancias de grupos interesados.

La estructura de *valor* desarrollada en la sección precedente, otorga a la división EM un procedimiento sistemático para cuantificar los estimados de  $cS_i$ , las consecuencias asociadas con el escenario  $i$ . La estructura de incertidumbre permite que los gerentes de riesgos cuantifiquen la incertidumbre asociada con un escenario de riesgo y su consecuencia.

Dos comparaciones de riesgo pueden hacerse en este paso: (1) Usar el perfil de riesgo complementario para determinar si las consecuencias asociadas con el escenario exceden las guías o requerimientos reglamentarios. Esto se hace al comparar el perfil de riesgo complementario con las especificaciones reglamentarias estipuladas para cualquier medida de consecuencia (por ejemplo, ppm de un contaminante particular), como se ilustra en la figura 2.6. (2) Calcular la consecuencia esperada para un escenario al tomar la combinación pesada de cada nivel de consecuencia por la probabilidad de ocurrencia asociada. Esta consecuencia esperada del riesgo incorpora tanto el valor cuantificado del impacto si el escenario ocurre, como el estimado cuantificado de incertidumbre de que el escenario ocurra. Ambos aspectos de la administración de riesgos son atendidos: preocupación por los resultados, incluyendo problemas cualitativos

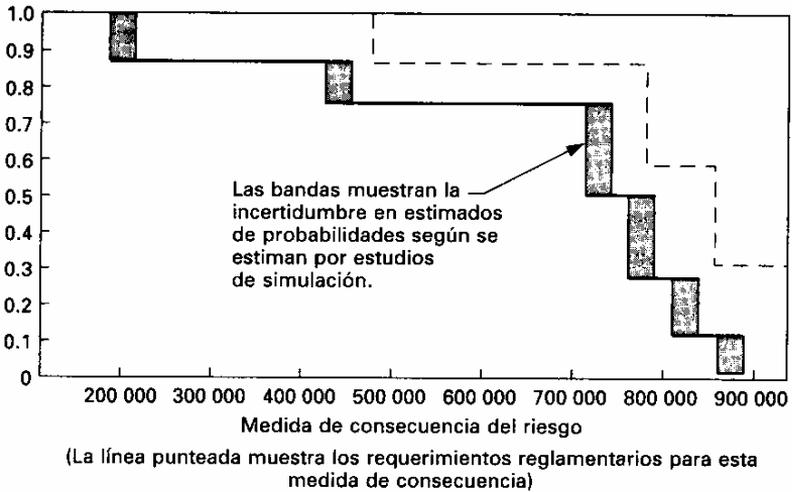


FIGURA 2.6 Función de distribución acumulativa complementaria (CCDF).

como la buena disposición del público y las generaciones futuras y las preocupaciones acerca de las oportunidades de que los resultados ocurran.

### Paso 3: Identificación de alternativas de acción y estimación del valor de un riesgo evitado

Las actividades incrementales en cuatro programas distintos fueron evaluadas por dos miembros de la división EM, conocedores de los mismos. Las cuatro actividades reciben en la actualidad fondos de la división EM.

Las actividades particulares evaluadas fueron la siguiente serie de actividades justo abajo de la línea de asignación de fondos para el año fiscal 1994, o sea, *la actividad que fue identificada como la más importante de las actividades sin fondos asignados en ese programa.*

Las cuatro actividades son

1. Programa de monitoreo de calidad del aire ambiente: una estación de normas de contaminantes adicionales cerca de la población del sitio. La calidad del aire se vigila en el poblado y no existe indicativo de problemas de contaminantes. Esta estación de monitoreo es sólo para normas de contaminantes y es como respuesta a ciertas interpretaciones reglamentarias de la Ley de Aire Limpio.
2. Programa de cumplimiento de desembocadura NPDS: análisis clínicos adicionales de desembocaduras como parte de los requisitos para un nuevo permiso.
3. Programa de cumplimiento NEPA: preparación adicional de listas de verificación ambientales para que la división se mantenga al día.
4. Programa de monitoreo de red de aire: estaciones de monitoreo del aire adicionales cerca de las comunidades cercanas. Las estaciones actuales están en el perímetro de la organización y no muestran ningún problema de contaminación del aire. La colocación de estas estaciones adicionales sería como respuesta a solicitudes de la comunidad y no como respuesta a cualquier problema de contaminación del aire conocido.

Estas alternativas fueron evaluadas utilizando las medidas de riesgo y estimados de incertidumbre. El beneficio monetario asociado con el riesgo evitado por cada una de las activida-

des de incremento se muestra en la tabla 2.3 en dólares, el *valor económico esperado* atribuible a cada una de las actividades propuestas. Las dos categorías de beneficio más grandes resultaron ser la reducción de *preocupaciones del público* y atender las cuestiones de *cumplimiento*.

Tanto las preocupaciones del público como los requisitos de cumplimiento parecen ser independientes de las cuestiones de salud y seguridad y protección de los recursos ambientales. Es interesante observar que aun cuando los riesgos de cumplimiento se mejoran, no es porque los recursos ambientales estén mejor protegidos. Las cuestiones de cumplimiento ambiental que se atienden están separadas en cierto sentido de la mitigación actual de los riesgos. En otras palabras, el atender las preocupaciones del público tiene el beneficio de reducir las preocupaciones públicas, pero no se debe a que el público esté mucho mejor protegido que lo que estaba ya sea de las cuestiones de salud y de seguridad o de los impactos ambientales.

La capacidad de identificar el beneficio asociado con cada una de las actividades es útil para determinar cómo gastar mejor los fondos y cómo es mejor negociar para obtener medios "efectivos y razonables" para enfocar la atención en nuevos requerimientos de cumplimiento para proteger la salud y la seguridad humana y el medio ambiente. Las áreas de beneficio se presentan en resumen en la figura 2.7 mostrando su contribución relativa.

#### **Paso 4: Asignación de prioridades de alternativas de acción al comparar beneficios y costos**

El resumir beneficios para cada acción en un valor de beneficio total es la base para evaluar la forma más efectiva de asignar recursos para administrar riesgos. La tabla 2.4 muestra el beneficio total de cada una de las cuatro acciones, el costo inicial durante el primer año apoyando la actividad y el costo total de cinco años, incluyendo costos continuados durante los cuatro años siguientes al primero. Los valores de beneficio reflejan el beneficio general de los riesgos evitados por los primeros cinco años del proyecto.

La columna final de la tabla muestra el índice costo-a-beneficio. Esta información puede ayudar a la asignación de recursos para que los *riesgos puedan ser mitigados de la manera más efectiva posible, dadas limitaciones de tiempo, dinero y recursos profesionales*.

La figura 2.8 muestra las cuatro alternativas de acción en términos de la contribución acumulada a los costos y beneficios de la división EM. El beneficio acumulado muestra el valor total de los riesgos evitados por poner en práctica las actividades y el costo acumulado muestra la cantidad total de apoyo necesario para poner las actividades en marcha.

Es evidente por la figura, que si bien las estaciones para monitorear la red aérea para las comunidades circundantes, contribuye mucho al beneficio para el costo (básicamente para atender la preocupación del público), el agregar el criterio de la estación de monitoreo de contaminantes casi no contribuye beneficio alguno, a pesar del hecho de que costaría más de medio millón de dólares durante los siguientes cinco años.

#### **Paso 5: Puesta en práctica y revisión**

La división EM desarrolló una estructura de desglose de trabajo que le permite organizar sus actividades bajo programas complementarios para evitar redundancias en organizar el trabajo que apoye los objetivos corporativos. Una vez que las actividades se han organizado de esta manera, las actividades dentro de cada uno de los programas pueden evaluarse para identificar aquellas que son las más efectivas para lograr los objetivos establecidos.

### ***¿QUÉ ES DIFERENTE?***

Es importante recordar que el objetivo de utilizar un proceso de asignación de prioridades basado en riesgos para ayudar a la toma de decisiones en administración de riesgos no es para mejorar el análisis general, sino para mejorar una administración de riesgos general. Esto deberá

**TABLA 2.3** Beneficios estimados de riesgos evitados provenientes de cuatro alternativas de acción

Ident. de la actividad	Nombre de la actividad	Trabajadores de EM-8			Medio ambiente	Público	Cumplimiento	Comprensión	Calidad	Administración	Beneficios
		Trabajadores de EM-8	laboratorio	Público							
WE1A-7	Monitoreo de red aérea pueblo	\$0	\$0	\$0	\$2 400 000	\$150 000	\$250 000	\$0	\$0	\$2 800 000	
WE3E-7&8	Cumplimiento de desembocadura NPDS: Análisis adicional	\$0	\$0	\$0	\$512 000	\$1 550 000	\$0	\$0	\$0	\$2 062 000	
WE6A-6	Cumplimiento NEPA: Preparación adicional de DECS	\$0	\$0	\$0	\$0	\$306 000	\$0	\$0	\$0	\$306 000	
WE1J-6	Monitoreo de calidad del aire ambiente: estación de criterio de monitoreo	(\$6)	\$0	\$4 000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$4 000	
<b>TOTAL</b>		(\$6)	\$0	\$4 000	\$2 912 000	\$2 006 000	\$250 000	\$0	\$0	\$5 172 000	

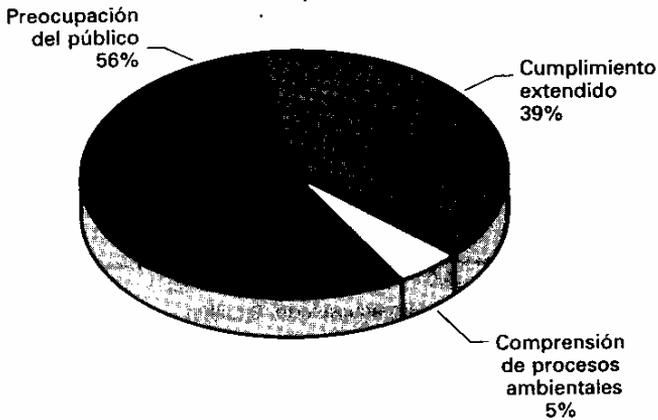


FIGURA 2.7 Beneficios de riesgo evitado proveniente de alternativas de acción.

TABLA 2.4 Resumen de beneficios y costos de cuatro alternativas EM

No. ident. de la actividad	Nombre de la actividad	Beneficio	Costo de un año	Costo de cinco años	Beneficio/costo
WE1A-7	Monitoreo de red aérea pueblo	\$2 800 000	\$51 000	\$51 000	54.90
WE3E-7&8	Cumplimiento de desemboca dura NPDS: análisis adicional	\$2 062 000	\$115 000	\$575 000	3.59
WE6A-6	Cumplimiento NEPA: preparación adicional de DEC	\$306 000	\$315 000	\$1 575 000	0.19
WE1J-6	Monitoreo de calidad del aire ambiente: estación de criterio	\$4 000	\$200 000	\$600 000	0.01

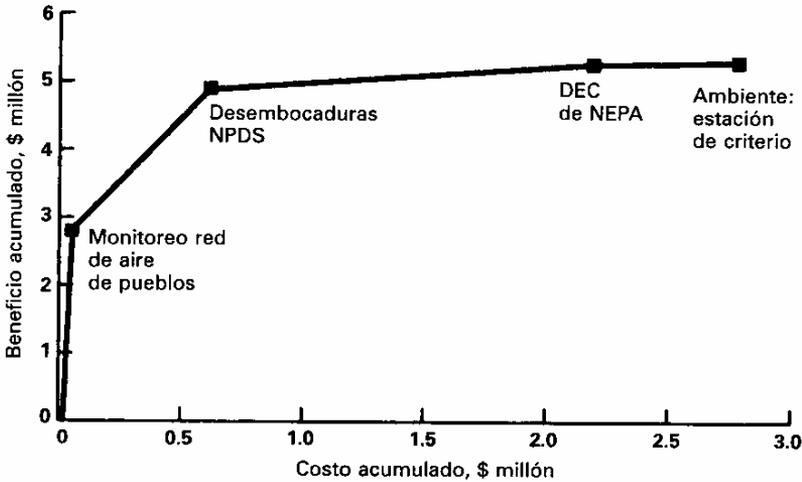


FIGURA 2.8 Costos acumulados versus beneficios de los proyectos potenciales de la División EM.

ser evidente de maneras distintas: en primer término, el tiempo calendario general desde la concepción hasta la puesta en práctica de éxito de los proyectos debe planificarse con mayor efectividad. En ocasiones los pasos de evaluación toman un poco más de tiempo al principio del proceso, pero la capacidad de evitar muchas revisiones específicas y cambios compensa con creces. En segundo lugar, la senda de auditoría que apoya la lógica detrás de la asignación de recursos para que muchos proyectos sean apoyados es más evidente y más defendible. Por último, la solicitud de la lógica es escalable; o sea, en tanto que el nivel de detalle puede variar de una aplicación a otra, la lógica detrás del proceso es la misma. Por este motivo, el proceso de asignación de prioridades puede aplicarse rápidamente cuando sea necesario y con mayor deliberación y extensión en aplicaciones mayores.

La evaluación de riesgos y el enfoque de administración integrado presentados en este capítulo traduce así los beneficios de la reducción de riesgos de un concepto evasivo a utilidades financieras fundamentales para la viabilidad corporativa. Este enfoque presenta varias ventajas comparado con los métodos tradicionales, ya que

- Presenta un marco sistemático para evaluar los distintos tipos de riesgos con consideración explícita de costos y beneficios y la incertidumbre subyacente.
- Proporciona enlaces entre la evaluación de riesgos y las fases de administración de riesgos.
- Puede aplicarse a una instalación, entre instalaciones, o entre líneas de negocios.
- Tiende a establecer un puente entre las funciones ambientales, operacionales (manufactura) y financieras.
- Facilita la integración de metas y proyectos de reducción de riesgos en el proceso de planificación del negocio.

En suma, los riesgos ambientales, de salud y de seguridad se evalúan y se manejan idealmente no como apéndices separados de una organización de negocios, sino como una parte integral de la administración estratégica. El enfoque presentado aquí requiere cierta inversión inicial —tal vez modesta al compararla con los beneficios de decisiones ambientales más efectivas—. A no dudar, existen riesgos en “saber” acerca de la multitud de riesgos de invertir en su reducción. Por otra parte, los riesgos no atendidos pueden presentar una amenaza mucho mayor para las organizaciones y la sociedad.

**REFERENCIAS**

---

- Brooks, D. G., A. C. Miller, G. L. Hamm, "An approach to prioritizing risk-reducing projects", manuscript, Applied Decision Analysis, Menlo Park, California, 1994.
- Drucker, P. F., *Management: Tasks, Responsibilities, Practices*, Harper & Row, Hagerstown, Maryland, 1973.
- Hertz, D. B., "Risk analysis in capital investment", *Harvard Business Review*, September-October 1979, pp. 169-181.
- Kaplan, S., and B. Garrick, "On the quantitative definition of risk", *Risk Analysis*, 1981.
- Kolluru, R. V., "Risk assessment and management", in *Environmental Strategies Handbook* McGraw-Hill, New York, 1994.
- Kolluru, R. V., and D. G. Brooks, "Integrated risk assessment and strategic application", Society for Risk Analysis Annual Conference, Baltimore, Maryland, December 4-7, 1994.
- Kraus, N., T. Malmfors, and P. Slovic, "Intuitive toxicology: Expert and lay judgments of chemical risks", *Risk Analysis*, 1992.
- Morgan, M. G., and M. Henrion, *Uncertainty—A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1990.
- Morgan, R. A., "Estimating environmental risks", in *Symposium on Environmental Risk Assessment, Statistical Science*, 1991.
- Otway, H., and D. von Winterfeldt, "Risk considerations in risk management decisions", *Risk Analysis*, 1991.
- Slovic, P., "Social models: Risk perception in environmental risk management—Bridging the gap between technical issues and social concerns", Waste Management Research Consortium, 1994.

---

## CAPÍTULO 3

---

# NUEVAS FRONTERAS EN ADMINISTRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, LA SALUD Y LA SEGURIDAD

---

**J. Ladd Greeno**

*Senior Vice President and Managing Director  
Arthur D. Little, Inc.  
Cambridge, Massachusetts*

**John S. Willson**

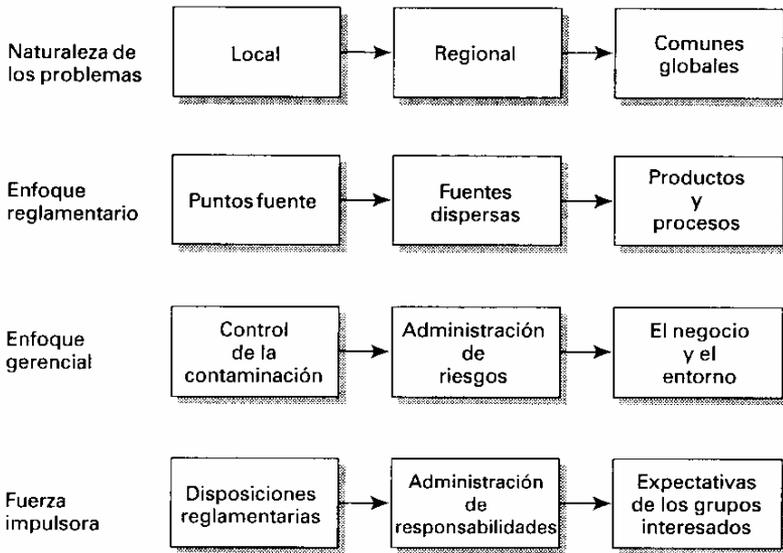
*Vice President  
Arthur D. Little, Inc.  
Cambridge, Massachusetts*

**En este capítulo:**

- Los límites del liderazgo actual
- Avance hacia la próxima generación
- Rediseño de los procesos EHS
- Hacer más en la organización de línea
- Apalancamiento de personas y tecnología
- Hacia una visión para el próximo siglo

Ed Woolard, Director Ejecutivo de DuPont predijo recientemente que “para fines de la década de 1990, el sector industrial albergará una parte significativa del movimiento ambiental”. Aun cuando la idea sigue siendo la de que la industria se ha mostrado lenta para hacer frente al reto ambiental, de la salud y de la seguridad (EHS), el imperativo ambiental se ha hecho cargo, de hecho, de una amplia gama de compañías con una fuerza que habría sido difícil anticipar hasta en fechas muy recientes. Es fácil mirar el muy real progreso que la industria ya ha hecho en un periodo relativamente corto. Si perdemos de vista este hecho, nos arriesgamos a malentender no sólo lo que ocurre ahora, sino, lo que es más importante, la dirección que los dirigentes corporativos en cuestiones ambientales, de la salud y la seguridad habrán de asumir en el futuro.

No es de sorprender que las compañías que han asumido el papel de liderazgo en ambiente, salud y seguridad (EHS) hoy, han sido por lo general aquellas en las que estos problemas han adquirido una importancia *estratégica* (por ejemplo, fabricantes de químicos, compañías de procesos industriales relacionados, ciertos productores de bienes de consumo). Su enfoque gerencial ha ido más allá del control de la contaminación hacia un enfoque impulsado por el negocio con el fin de hacer frente a las expectativas cambiantes de grupos interesados (Fig. 3.1).



**FIGURA 3.1** La administración ambiental, de la salud y de la seguridad en transición. (Arthur D. Little.)

No obstante, a pesar de un formidable avance reciente, hasta los principales sectores industriales no han aceptado las implicaciones de *negocios* al tratar con asuntos EHS como cuestiones de preocupación estratégica. Otras preocupaciones por lo general consideradas estratégicas —calidad, costo, distribución y servicio— se consideran como parte integral de la planificación y toma de decisiones generales del negocio y se administran de conformidad. Sin embargo, en su mayor parte, no observamos este mismo comportamiento en relación al medio ambiente. En lugar de ello, lo que vemos son compañías que todavía hacen énfasis en la administración ambiental, de la salud y de la seguridad, básicamente como una cuestión *funcional*. Siguen puliendo sus habilidades y procesos funcionales en esta área más que dar los pasos siguientes para integrar las cuestiones relativas al ambiente, salud y seguridad (EHS) a sus estrategias de negocios.

## **LOS LÍMITES DEL LIDERAZGO ACTUAL**

Existen signos indicativos de este fenómeno general y no es muy difícil identificarlos aun entre algunos de los más destacados ciudadanos en cuestiones ambientales, de la salud y de la seguridad.

**La "visión" invisible.** La política corporativa EHS o declaración de visión, aun cuando sea firmada por el director ejecutivo, es casi exclusiva un producto de su personal con poca conexión directa con los puntos de vista o los compromisos de los principales ejecutivos y la gerencia operativa. Hasta las ideas expresadas en la política dan filo y parecen enfocarse a todas las necesidades de los grupos interesados, todavía pueden representar al personal administrativo que habla para sí mismo, en lugar de reflejar una mayor participación de los gerentes de línea.

**Los especialistas de alto nivel.** El individuo que tenga la principal responsabilidad sobre el EHS en realidad puede ser un funcionario corporativo que reporte directamente con el director ejecutivo. Sin embargo, esta persona sigue siendo un especialista funcional que ha alcanzado

el escalón más alto dentro de la organización disponible para él o ella, más que un gerente de línea probado asignado a este papel en camino hacia una mayor responsabilidad en la operación de la línea dentro de la compañía.

**Confusión de papeles.** Sin tomar en cuenta la retórica prevaleciente, los gerentes de línea actúan como si el personal de EHS, no ellos mismos, fueran los responsables del desempeño ambiental. Más aún, los programas de evaluación y recompensas existentes hacen poco por cambiar este comportamiento. El personal administrativo consciente tiende a compensar en exceso esto al tratar de administrar desde el centro corporativo y terminan involucrándose, con demasiada frecuencia y profundidad, en asuntos de operación de la línea en los que carecen, tanto de autoridad, como de la perspectiva de negocios necesaria para ser efectivos.

**Plan funcional.** Existe un plan de varios años bien meditado para avanzar la calidad de la función administrativa del EHS, incluyendo metas, planes de acción y programas de medición de avance para las actividades de las organizaciones de administración del EHS a nivel corporativo y de división. No obstante, no existe ninguna intersección entre este plan funcional y el proceso en el sitio para generar los planes operativos de negocios y estratégicos de la compañía —o los ignoran o hablan entre ellos del pasado.

**Miopía del proceso.** Los procesos de la administración EHS generalmente están bien articulados y reciben una estrecha atención para una mejoría constante. No obstante, por lo general no atienden procesos críticos *del negocio* que atraviesan las jerarquías funcionales, etapas del ciclo de vida del producto y la cadena de aprovisionamiento (por ejemplo, creación del producto, manufactura, mercadotecnia, ventas y servicio al cliente, administración de recursos humanos; y la administración de materiales, equipo y aprovisionamientos). El resultado para la gerencia EHS es que puede convertirse en un aislarse funcional —y posiblemente hasta la irrelevancia.

**Datos aislados.** Existen sistemas formales y bien desarrollados para almacenar, obtener y analizar información EHS, pero estos sistemas están autocontenidos y separados de las bases de datos operativas corporativas y de división. Como resultado de ello, sólo existe una capacidad limitada para relacionar datos entre las líneas funcionales y de negocios para resaltar oportunidades posibles para un proceso de mejoría del negocio (por ejemplo, relacionar niveles de emisión o índices de generación de desperdicios a los parámetros de operación de procesos de manufactura en busca de iniciativas que ahorren costos y prevengan la contaminación).

**Logros ocultos.** En general, el reporte de desempeño ambiental está limitado a cumplir requerimientos de información impulsados por reglamentos. Pocas veces se reconoce como un medio potencialmente efectivo para comunicar resultados EHS positivos a los grupos interesados (empleados, clientes, inversionistas, aseguradoras, vecinos y el público en general). Esto se traduce en oportunidades perdidas para influir de manera favorable en grupos que se encuentran en posición de ser útiles para la compañía, en especial cuando puedan surgir problemas EHS en el futuro.

El proceso de comunicación toma muchas formas, tanto internas como externas. En lo interno, significa definir postura, compromiso y metas. También significa capacitación y otorgamiento del poder a todos los empleados, buscando sus sugerencias para mejorar, informarlos de los avances frente a las metas e identificar, tanto problemas, como avances. La comunicación externa incluye escuchar a los grupos interesados y comprender sus necesidades, reportando como respuesta a necesidades reglamentarias, compartiendo los resultados medidos de la compañía contra metas establecidas públicamente, reportando avances e intercambiando información con grupos comunitarios y los medios a nivel local.

Hemos visto una evolución rápida en lo que las compañías comunican a sus grupos interesados (Fig. 3.2). Al principio las compañías sólo reportan lo que se les exige, básicamente por los legisladores. Conforme las compañías avanzan, empiezan a escoger información para compartir con otros grupos interesados como empleados y la comunidad local. En general, estas compañías dicen a sus grupos interesados lo que consideran que ellos quieren saber;

## Etapa de evolución

	Bajo <span style="font-size: 2em;">→</span> Alto			
<b>Enfoque</b>	Decirles lo que hay que decirles	Decirles lo que usted quiere	Decirles lo que usted cree que quieren saber	Decirles lo que ellos le han dicho quieren saber
<b>Manifestación</b>	Divulgaciones requeridas	Descripciones de buenas acciones	Programar el progreso de la puesta en práctica	Mejoría del desempeño

FIGURA 3.2 Evolución en la comunicación del desempeño ambiental. (Arthur D. Little.)

pocos hacen el esfuerzo de comprender lo que esos grupos interesados en verdad necesitan o quieren saber. Pero sólo este último enfoque generará la realimentación que la compañía necesita para tomar decisiones que sean buenas tanto para el negocio como para el entorno.

**Relaciones adversarias.** Sin importar la calidad del desempeño EHS de la compañía y los informes presentados al público en fecha posterior, la relación básica con las agencias reglamentarias importantes y los grupos ambientalistas privados todavía se considera en mayor grado como de naturaleza adversaria. Se presta atención insuficiente a las iniciativas voluntarias y a acuerdos "en sociedad" potenciales donde deben existir como posibles intereses mutuos y las oportunidades "yo gano-tú ganas".

Cuando McDonald's formó una alianza con su antagonista ostensible, el Environmental Defense Fund, para desarrollar una estrategia para prevenir la contaminación y subsecuentemente decidió apartarse de los empaques de poliestireno, envió un mensaje claro a sus clientes: el reciclar es un punto crítico que McDonald's toma muy en serio. Los clientes aparentemente recibieron el mensaje de que McDonald's tiene la suficiente fuerza y conocimientos para proporcionar un liderazgo a toda una industria de servicio al administrar posibilidades de empaque y reciclaje. Y cuando Dow Chemical abrió sus puertas al más alto nivel a un nuevo comité asesor que comprende expertos en cuestiones ambientales y seguridad del gobierno, grupos de interés público, y la academia, incrementó la confianza, tanto de sus comunidades locales, como del público, asegurándoles en esencia que la compañía atraía experiencia externa para ayudarla a mejorar su desempeño ambiental y de seguridad.

Hasta que más compañías hagan este tipo de cambio de una perspectiva en su mayor parte funcional a una auténtica de negocios, en la administración del EHS y empiecen a atender los problemas que hemos analizado, no estarán en posición de comprender todos los beneficios del liderazgo ambiental corporativo.

## AVANCE HACIA LA PRÓXIMA GENERACIÓN

Claramente, no todas las compañías son o debieran ser candidatos para el liderazgo en la próxima generación EHS. La pregunta clave que cada compañía debe hacerse es ésta: ¿son ahora los problemas EHS, o podrían convertirse en el futuro, en *estratégicamente* importantes para la organización, sus grupos de interés clave y su éxito continuado en el mercado? De no ser así, una posición razonable podría ser simplemente el buscar cumplimiento con las leyes y reglamentos EHS aplicables, tal vez yendo de manera selectiva "más allá del cumplimiento" donde puedan exigirlo, consideraciones de riesgo específicas u oportunidades de negocio atractivas.

## Hacia una estrategia agresiva

Una estrategia más agresiva podría tener sentido si se espera que los problemas EHS tomen una importancia estratégica fundamental para el negocio ahora o en el futuro. La importancia de tales problemas puede estar enlazada con riesgos inaceptables físicos de la salud de sus operaciones y podrían resultar en responsabilidades legales y financieras o con oportunidades competitivas significativas en potencia para realizar ahorros en costos o distinguir los productos o servicios de la compañía en el mercado.

Las compañías de éxito saben cómo administrar lo que es importante para sus negocios. Cuando la calidad del producto, bajo costo o servicio superior son fundamentales para el éxito del negocio, reciben importante atención de la gerencia. Cuando las preocupaciones EHS se convierten en un impulsor del negocio, deben administrarse con la misma atención.

Contemplados bajo esta luz, hasta los dirigentes actuales en la administración corporativa EHS necesitarán hacer cambios importantes en sus sistemas administrativos existentes. En el futuro, la administración EHS de la mejor calidad tendrá los atributos siguientes:

- *Se incorporará a los procesos de negocios.* Las necesidades de los grupos de interés ambientalistas serán atendidas y satisfechas a través de procesos críticos del negocio (por ejemplo, desarrollo del producto, manufactura, entrega y servicio) que incorporen preocupaciones EHS a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. Estos procesos de los negocios se mejorarán continuamente para alcanzar un desempeño superior en todas las áreas, incluyendo los asuntos EHS (Fig. 3.3).
- *Estará integrada a la estrategia corporativa.* Las necesidades de los grupos ambientalistas se reflejarán de manera apropiada en los procesos estratégicos y de planificación de operaciones existentes a nivel corporativo y de la unidad de negocios como un componente integral —no como algo al azar—. La “visión” ambiental será parte de la más amplia “visión” del negocio.
- *Estará dirigida por el negocio.* El principal funcionario administrativo corporativo responsable de la administración del EHS con seguridad será un ejecutivo experimentado con amplia experiencia y responsabilidad previas en las operaciones de línea de la organización. El ocupar ese puesto, que cambiará cada 3 o 4 años, será considerado como una recompensa, más que un castigo, para candidatos ambiciosos que tienen el potencial de ocupar más altos niveles de responsabilidad en la administración de la línea.
- *Será impulsada por el personal de línea, no por el personal staff.* La organización no tendrá “costuras” con respecto a la administración EHS. Los gerentes de línea tendrán pleno conocimiento de sus obligaciones EHS y tendrán responsabilidad, autoridad y control total del desempeño ambiental de sus operaciones. A su vez, buscarán personal de unidades EHS corporativos y de la unidad de negocio sólo de experiencia y servicio especializado que no pueda ser proporcionado con eficiencia de costos sobre una base descentralizada. Los objetivos de desempeño, las revisiones anuales y los sistemas de incentivos/recompensas de la gerencia de línea reflejarán consideraciones EHS explícitas. En Dow Chemical, por ejemplo, los salarios de los gerentes a nivel planta están ligados a su capacidad de cumplir metas ambientales, entre otras.
- *Estará apalancada para una ventaja estratégica.* El fuerte desempeño EHS, así como la participación selectiva en esfuerzos voluntarios innovadores —patrocinados en conjunto con agencias o grupos externos y diseñados para alcanzar un mayor progreso— estarán apalancados para incrementar la capacidad de la compañía para influenciar acontecimientos y controlar su propio destino.
- *Se medirá y comunicará ampliamente.* Medidas confiables al final del proceso y durante el proceso capturarán y compararán el desempeño EHS contra los objetivos.

Desarrollo de nuevos productos y servicios	Demanda de productos y servicios	Fabricación de productos y entrega de servicios	Distribución de productos	Administración del personal	Administración de finanzas	Administración de la estrategia y la organización
Desarrollar conceptos de productos Identificar nuevas tecnologías Desarrollar estrategia de productos/servicios	Definir posición competitiva Identificar necesidades y tendencias del cliente	Desarrollar estrategias de aprovisionamiento Determinar estrategias de manufactura Desarrollar tasas de producción	Desarrollar estrategia de distribución	Establecer estrategia de desarrollo de personal administrativo Establecer estrategia de adquisición de personal administrativo	Desarrollar planes financieros a largo plazo	Definir la misión de la compañía Establecer estrategias de negocios
Desarrollar planes de productos	Desarrollar planes de mercadotecnia Desarrollar planes de ventas	Establecer estándares Identificar mejoras operacionales Desarrollar programa de producción Planificar logística de entrada Planificar requerimientos de materiales	Planificar niveles de inventarios Desarrollar programas de distribución Planificar requerimientos de distribución	Desarrollar programa de reclutamiento Establecer políticas de recursos humanos Predecir necesidades de personal Desarrollar programa de desarrollo en la carrera Establecer metas de entrenamiento	Desarrollar presupuestos de capital Desarrollar presupuestos operativos Volver a pronosticar operaciones Desarrollar planes de efectivo Pronosticar	Desarrollar planes de negocio y financieros Definir estructura organizacional Establecer políticas
Vigilar el desempeño del producto Establecer estándares de desarrollo del proceso/procedimientos	Vigilar ventas Vigilar satisfacción del cliente Vigilar la competencia Hacer seguimiento de la ejecución de los planes de mercadotecnia	Vigilar calidad del proceso del producto Rastrear embarques de entrada Rastrear costos de desperdicios Vigilar inventarios y WIP	Vigilar desempeño de entregas	Medir desempeño/productividad del personal administrativo Medir satisfacción del personal Evaluar efectividad de capacitación	Medir resultados de operaciones Controlar costos de capital Controlar costos de operación Rastrear cuentas por pagar	Vigilar a competidores Medir la calidad Vigilar cumplimiento de la estrategia
Realizar actividades de investigación y desarrollo Construir y probar prototipos	Anunciar/promover productos Vender productos/servicios Proporcionar servicio al cliente	Almacenar materiales/WIP Fabricar productos Disponer de desperdicios Adquirir materias primas Adquirir servicios	Embarcar productos Productos en almacén	Reclutar personal administrativo Contratar personal Realizar capacitación Evaluar al personal Promover/recompensar al personal Despedir personal	Mantener cuentas actualizadas Emitir facturas Procesar cuentas por pagar Inventarios de valor	Poner en práctica políticas y procedimientos Coordinar y comunicar internamente

Estratégica

Planificación y análisis

Control y vigilancia

Operacional

FIGURA 3.3 La dimensión ambiental de los procesos de negocios: un perfil de una compañía. (Arthur D. Little)

La medición de resultados apoyará mejoras constantes del proceso, las evaluaciones del personal y una actividad de comunicación agresiva interna y externamente. La información sobre los avances del EHS se digerirá por rutina a grupos de interés clave. Los sistemas de medición efectivos pueden ayudar a dar vida a las metas corporativas ambiciosas. Un elemento clave para lograr tales sistemas consiste en asegurarse de que las medidas ambientales proporcionen a los gerentes de línea lo que necesitan para desempeñar sus responsabilidades. Con mucha frecuencia las medidas se diseñan por grupos administrativos para hacer que su función de observación sea más fácil de cumplir. Tales medidas pocas veces satisfacen las necesidades de los gerentes de línea, quienes llevan la carga principal de impulsar los resultados. Si las medidas no son útiles para los gerentes de línea, la mejora es prácticamente imposible. Por fortuna en muchos casos las mismas medidas pueden satisfacer las necesidades de personal corporativo como el de la organización de línea. Por ejemplo, al diseñar un sistema para medir el avance corporativo general en la prevención de la contaminación, Polaroid tuvo cuidado de garantizar que las medidas llegaran a los gerentes de planta con rapidez y en un formato que pudieran utilizar. Como resultado de ello, Polaroid ha reducido el desperdicio y la contaminación generada por sus instalaciones de manera importante.

Otro factor clave para lograr sistemas de medición EHS efectivos es establecer medidas importantes dentro del proceso. En la actualidad, la mayoría de las medidas de desempeño se evalúan al final del proceso que rastrea los resultados. Ejemplos incluyen estadísticas de accidentes y heridas, cantidades de desperdicio generado y emitido, cumplimiento de resultados de auditorías y uso de energéticos. Tales medidas con frecuencia satisfacen —al menos parcialmente— las exigencias de grupos interesados para obtener información sobre el desempeño.

El problema con las medidas al final del proceso es que la información que contienen llega demasiado tarde. Es imposible influir en los resultados de desempeño después del hecho. Para mejorar el desempeño, los gerentes de línea necesitan formas para medir la efectividad de lo que están haciendo mientras lo están haciendo, no en un momento posterior. Las medidas en el momento del proceso proporcionan esta herramienta. Por ejemplo, una medida de la efectividad de la capacitación puede ayudar a corregir deficiencias antes de que conduzcan a errores costosos. Tales medidas en el proceso tienden a ser cualitativas más que cuantitativas y requieren juicio. Los programas de medidas efectivas pueden utilizar mediciones tanto al final del proceso como durante el mismo.

Para desempeñar su responsabilidad en el desarrollo EHS, los gerentes de línea necesitan 10 medidas —7 al final del proceso y 3 en su desempeño (tabla 3.1).

**TABLA 3.1** Diez medidas clave para gerentes de línea

Medidas al final del proceso	Medidas en proceso
Satisfacción de grupos interesados	Puesta en práctica del programa
Cumplimiento	Indicadores específicos
Incidentes/accidentes	Tasa de mejora
Contaminación	
Impacto	
Uso de energéticos	
Costo	

*Fuente:* Arthur D. Little, Inc.

Si los dirigentes de hoy quieren alcanzar un progreso adicional hacia la excelencia en EHS, tendrán que cambiar su enfoque gerencial EHS de un enfoque básicamente funcional, a esta perspectiva más orientada hacia el negocio. Al hacer este cambio, mejorarán de manera significativa la forma como sus organizaciones se ven y operan.

### Haciendo más con menos<sup>1</sup>

En años recientes, muchas empresas han visto que sus costos EHS crecen de manera importante —en algunos casos hasta el 4% de sus ventas y aún más en algunas compañías—. Como resultado de ello, los presupuestos EHS se han unido a otras funciones antes sagradas —tales como las finanzas, legal, y sistemas de información— como candidatos para un riguroso corte de costos. Hoy día, las compañías buscan activamente la forma de mejorar la productividad de los recursos que asignan a administrar sus actividades EHS.

Su motivación no es financiera por entero. Hasta en aquellas industrias no dedicadas a reducir su tamaño, las mejores compañías reconocen que existe un gran "potencial ascendente" por obtener al administrar los problemas EHS con efectividad y eficiencia. Bien hecha, la reingeniería coadyuvará a mantener su atención en el desempeño, proteger a la compañía contra brechas en el cumplimiento y garantizar la mejoría a largo plazo.

Conforme el deseo de las compañías por mejorar sus utilidades se intensifica —aunado a mayores demandas de un mejor desempeño EHS— los costos y procesos relacionados con el EHS estarán más y más bajo un cuidadoso escrutinio. ¿Cumplen expectativas de desempeño, cumplen en términos de productividad del negocio y satisfacen las necesidades de los grupos interesados? A lo largo de nuestro trabajo hemos encontrado que un número de problemas específicos indican que los procesos EHS dentro de una compañía pueden no ser tan efectivos o eficientes como deberían (tabla 3.2). Al identificar las causas de estos problemas de productividad dentro de su organización y dirigir la atención a corregirlos, es probable que la

<sup>1</sup>Este análisis fue publicado por vez primera en *Prism*, publicación para la gerencia de Arthur D. Little (tercer trimestre, 1994).

**TABLA 3.2** Diez indicadores de problemas de productividad EHS

Miopía en el proceso*	Los enlaces entre el EHS y los procesos del negocio están malentendidos (por ejemplo, entre funciones y ciclos de vida del producto).
Brecha entre metas	No existe articulación entre metas y objetivos EHS a largo plazo.
Confusión de papeles*	No existe una distinción clara entre los papeles corporativos, divisionales y de instalaciones EHS (por ejemplo, demasiadas personas revisan el <i>Federal Register</i> ).
Danza de líneas	No existe un sentido de "propiedad" del EHS de parte de los gerentes de línea.
Pérdidas de apalancamiento	No hay delegación de responsabilidades EHS a otros especialistas funcionales (por ejemplo, administración de químicos, auditorías de desperdicios a proveedores, revisiones de adquisiciones).
Montañas de papel	Fuerte énfasis en documentación, administración de papeleo —con poca comprensión del porqué.
Falta de medidas	No hay capacidad de cuantificar los resultados EHS, logros del programa.
Costos departamentalizados	Costos EHS registrados por departamento, sin proceso, no relacionados con medidas de resultados.
Juego de "quién es el culpable"	Difícil de retener gerentes de línea, el personal EHS responsable de un desempeño menos que estelar.
Cambios en la calidad	Poca capacidad para demostrar una mejoría de incremento en el desempeño EHS a lo largo del tiempo.

\* Éstos, en particular, son un reflejo de problemas de integración.

Fuente: Arthur D. Little, Inc.

productividad EHS general mejorará, al igual que el desempeño EHS de su organización. Algunos de estos síntomas imitan los que forman el corazón de problemas de "integración", otros son únicos a los problemas relacionados con la productividad.

Ya han hecho un muy buen trabajo algunas compañías para fortalecer la productividad EHS. Para ejemplos de empresas que son líderes en esta área, vayamos a las prácticas de un grupo de empresas que participaron en el Coloquio en Administración de la Productividad Ambiental, de la Salud y la Seguridad de los "Mejores entre los Mejores" de Arthur D. Little. Los enfoques de éxito para administrar en busca de una más alta productividad dependen de tres estrategias básicas:

- Rediseñar procesos de administración EHS para reducir las actividades de trabajo y eliminar pasos de escaso valor agregado
- Impulsar la responsabilidad hacia abajo y la responsabilidad de algunas labores EHS a la organización de línea
- Apalancar la efectividad del personal EHS restante al extender su alcance y mejorar su uso de la tecnología

### **REDISEÑO DE LOS PROCESOS EHS** **(ambiente, salud, seguridad)**

---

Aplicar a la función EHS el rediseño o la "reingeniería", con frecuencia se confunde con una reducción de costos convencional. Pero las dos son en verdad muy distintas. En el enfoque de reducción de costos, la gerencia empieza por especificar la magnitud de la reducción de costos general necesaria y simplemente asigna los cortes a los diversos presupuestos funcionales. Ya que un personal más reducido permanece para realizar la misma tarea, una consecuencia común de la reducción de costos, es un desempeño más malo. A lo largo del tiempo, conforme la compañía busca restaurar los niveles de desempeño, los costos tienden a volver a subir.

El enfoque de rediseño plantea una pregunta diferente. En lugar de hacer énfasis en "¿Cómo podemos ahorrar dinero?", pregunta, "¿Qué tratamos de lograr y cuál es la mejor forma de hacerlo?". La gerencia define primero qué resultados y niveles de desempeño son necesarios y luego dispone un proceso mejorado para alcanzar esas metas al hacer el trabajo con mayor efectividad. Si bien el proceso de rediseño puede en verdad requerir menos miembros del personal, su primer objetivo es mejorar el desempeño, y sólo en un segundo plano irá acompañado por una reducción de costos perdurable.

Las compañías que emprenden proyectos de rediseño EHS mantienen esta distinción importante en mente. Una encuesta de Arthur D. Little de 1994 entre 33 compañías manufactureras norteamericanas y canadienses encontró que más de la mitad había aplicado recientemente enfoques de reingeniería a todas o parte de sus actividades corporativas EHS. Al interrogarlos sobre el principal impulsor del rediseño EHS, sólo 5 de estas compañías citaron el reducir personal o costos. Justo la mitad mencionó uno o más aspectos al desempeñar mejor la función EHS —mejorar el cumplimiento, reducir riesgos, o alcanzar ventajas competitivas.

Entre los participantes a nuestro coloquio de "Los Mejores de los Mejores" surgió un panorama bastante similar. Si bien reconocen realidades de reducción de costos dentro de sus empresas individuales, también insistieron en la importancia de mejorar los procesos de trabajo EHS. Procter & Gamble, por ejemplo, ha reducido su grupo EHS en las oficinas principales como parte de un mayor cambio hacia las actividades corporativas en regiones y sectores de negocios. Según George Carpenter, director de Salud, Seguridad y el Medio Ambiente para Norteamérica de Procter & Gamble, la compañía ha adoptado una serie de medidas innovadoras para ayudar a garantizar que esta transición resulte en una mejor administración EHS, efectiva en costos. P&G ha prestado una atención especial al desarrollo de papeles y responsabilidades EHS claramente definidas y una responsabilidad compartida entre la gerencia corporativa, los sectores de negocios, regiones globales y plantas individuales. La compañía ha alineado sus metas y objetivos EHS para que todos sus negocios giren en la misma dirección. La compañía también ha simplificado y globalizado sus estándares internos EHS haciendo énfasis en "lo que

usted quiere que ocurra, no cómo llegar allí". Y ha reducido procesos EHS específicos, por ejemplo, considerando sistemas de capacitación de entregas históricamente distintas para el ambiente, procesos de seguridad y la salud y seguridad ocupacional.

Tales estrategias de rediseño EHS, debidamente aplicadas, pueden producir mejoras significativas en la productividad. Westinghouse Electric, como parte de un proceso de adelgazamiento, también realizó una reingeniería de sus procesos de trabajo de asuntos ambientales corporativos y realineó su personal central más pequeño para servir mejor a sus clientes por unidad de negocios. Una nueva directiva de la gerencia corporativa estableció firmemente que la responsabilidad básica del cumplimiento EHS yace en la gerencia de línea de la unidad de negocio y no en los especialistas administrativos centrales. Muchas actividades de cumplimiento y reglamentarias EHS que antes tenían sedes distintas, ahora están combinadas en un solo grupo. De igual manera, todas las actividades de ingeniería y de remedio EHS residen en un segundo grupo paralelo. Cuando las unidades de negocio necesitan ayuda específica, se integran equipos que incluyen miembros de todos estos grupos así como abogados departamentales. Samuel Pitts, Vicepresidente de Asuntos Legales, Asuntos Ambientales y de Seguros en Westinghouse Electric, ha encontrado que a pesar de una reducción del 32% en los elementos EHS a nivel corporativo, el enfoque rediseñado ha funcionado de maravilla y la compañía ha sido capaz de mantener todos los programas que tenía en el pasado.

Para lograr mejoras en la productividad de esta magnitud, es crítico emprender la reducción y la reingeniería del proceso de manera simultánea. Una empresa que primero recorta personal y sólo entonces empieza a buscar mejoras en el proceso, corre un riesgo grande de fracasar. Como George Carpenter de P&G comentó a los participantes en el coloquio, los recortes en el personal técnico con frecuencia pueden lograrse mediante una "pérdida de maestría" fuera de proporción a las reducciones mismas. Un grupo de ingeniería central, por ejemplo, puede proporcionar soporte a nivel maestría para tecnologías clave utilizadas por las instalaciones de manufactura de una compañía en todo el mundo. Tal grupo central bien establecido muy probablemente tiene personal clave que ha sido parte de la compañía durante mucho tiempo y muy bien pueden aprovechar paquetes de jubilación anticipada, si les son ofrecidos. Usted no querrá perder la mayoría de la maestría representada por tal grupo antes de tener la oportunidad de transferir o institucionalizar sus conocimientos en toda la organización. Es casi imposible conformar un mejor proceso cuando la base de conocimientos ya no está disponible.

## ***HACER MÁS EN LA ORGANIZACIÓN DE LÍNEA***

---

Para obtener mayor productividad de un personal EHS reducido, la compañía debe pedir a la gerencia de línea que asuma una mayor responsabilidad EHS. De hecho, este cambio en la responsabilidad puede disparar mejoras directas en el EHS aun cuando los recursos administrativos no estén bajo presión de costos. Los gerentes de línea de éxito tienden a hacer énfasis en lo que sea importante para sus negocios. Cuando las preocupaciones EHS se vuelven lo bastante importantes como para impulsar al negocio, los gerentes los atenderán con el mismo grado de atención que generalmente dedican a la calidad, costos o servicio.

Las compañías representadas en nuestro coloquio toman una amplia gama de enfoques para impulsar una mayor responsabilidad EHS en la organización de línea. Por ejemplo, Northern Telecom, como Westinghouse, ha otorgado a sus unidades de negocios a nivel mundial una propiedad básica de las funciones de administración EHS (*primeship*). Los negocios establecen sus propios planes EHS y ahora son responsables del "debido cumplimiento" para vigilar su desempeño EHS y para reportar los resultados a la gerencia corporativa cada seis meses. El personal central y regional de EHS que reporta a las oficinas corporativas, proporciona guía técnica y apoyo para la puesta en práctica, respectivamente, pero los negocios son finalmente los responsables de cumplir con sus obligaciones EHS. "La siguiente etapa es trabajar más en definir papeles y responsabilidades claramente específicos, para hacer el modelo cada vez más efectivo y eficiente en costos", dice Margaret Kerr, Vicepresidente Senior de Northern Telecom para Ética y el Medio Ambiente.

En Compaq Computer, la gerencia divisional ha tenido la propiedad de la función EHS casi desde el principio. El personal EHS corporativo representa menos de 10 personas. La mayor

parte de los recursos EHS de la compañía residen en la organización de manufactura mundial y en ubicaciones operativas individuales. "En nuestra reunión semanal de personal con el director ejecutivo, el VP senior de manufactura presenta por rutina una actualización de una página en cuestiones ambientales, de salud, y de seguridad," según dice Doug Young, director EHS corporativo de Compaq. El mismo Young se reúne al menos una vez al año con la gerencia de cada división para elaborar lo que es en esencia un "contrato" especificando lo que la división espera cumplir en el área de EHS y cómo los apoyarán los recursos corporativos.

Otra compañía destacada con una cultura establecida de sentido de propiedad a nivel división e instalaciones de las responsabilidades EHS es Rohm and Haas. "Nuestra alta gerencia no quiere grandes grupos de personal corporativo. Quiere que todo lo que sea posible vaya a la organización de línea", dice Lynn Johnson, Director Corporativo Ambiental de Rohm and Haas. Este compromiso compartido por instalaciones operativas muy independientes, se refleja directamente en la distribución de los recursos de personal EHS dentro de la organización. Las instalaciones químicas de manufactura de la compañía representan el 85% de los profesionales del personal EHS de la compañía y el restante está distribuido entre personal corporativo y regional. A lo largo del tiempo, el personal EHS corporativo ha sido muy agresivo para delegar ciertas funciones, anteriormente centralizadas, como la minimización de desperdicios a negocios, revisión de contratistas para la disposición de desperdicios a compras y una respuesta de emergencia a los transportes.

Como una estrategia para mejorar la productividad EHS, el delegar la responsabilidad a la línea necesariamente también incluye un compromiso hacia un desempeño excelente de ciertas tareas de administración como el establecimiento de estándares de operación claros, otorgamiento del poder al personal de línea, medir el desempeño de las unidades y hacer a los gerentes de línea responsables de ese desempeño. Las compañías que participaron en el coloquio "Lo Mejor de los Mejores" de ADL, proporcionan numerosos ejemplos de cómo tratar con éxito estos requerimientos relacionados (tabla 3.3).

En el área de los estándares, compañías como Procter & Gamble han determinado que es importante establecer una serie de expectativas de desempeño EHS a nivel mundial. Estos estándares han sido diseñados para establecer un elevado umbral mínimo, pero que permite variabilidad y flexibilidad razonable en su aplicación local. Al trabajar dentro del marco de los *16 Principios de la Cámara Internacional de Comercio*, Anheuser-Busch desarrolló recientemente una serie de 23 "requerimientos" corporativos de EHS que se basan en el desempeño, o sea, que identifican el "qué" sin especificar el "cómo". William Sugar, Director Senior de Asuntos Ambientales de Anheuser-Busch, explica "Hemos estado creciendo a nivel mundial con expansión en los últimos años en México y China y por lo tanto estos serán requerimientos mundiales".

Baxter Healthcare había desarrollado su propia serie de estándares EHS de alto nivel que no sólo guían el comportamiento en las instalaciones, sino que también proporcionan la base

**TABLA 3.3** Ejemplos de tareas administrativas importantes para delegar la responsabilidad a la línea

Establecimiento de estándares de operación claros

- Establecimiento de un conjunto de expectativas de desempeño EHS a nivel mundial
- Uso de los mejores estándares para que guíen el comportamiento de las instalaciones y proporcionen la base para una evaluación normal

Otorgamiento del poder al personal de línea

- Uso de habilidades EHS efectivas y capacitación del conocimiento
- Uso de una combinación de cursos programados con regularidad y capacitación personalizada

Medición del desempeño de la unidad

- Medición anual del desempeño de las instalaciones contra los estándares
- Informe de los resultados a la alta gerencia corporativa y de división
- Enlace del desempeño EHS medido con las evaluaciones anuales de los gerentes de línea

**Fuente:** Coloquio sobre administración de la productividad ambiental, de la salud y de la seguridad de "Los Mejores entre los Mejores" de Arthur D. Little, Inc.

para la evaluación anual de la calidad del desempeño gerencial a nivel local. De igual manera, Compaq Computer audita a sus instalaciones operativas internacionales contra una serie común de "estándares mínimos" para los programas y sistemas administrativos EHS.

Los dirigentes en EHS reconocen que si el personal de línea ha de desempeñar un mayor papel en la administración de la función diaria, necesitan recibir el poder a través de habilidades y capacitación efectivas en percepción EHS. Baxter Healthcare, por ejemplo, pide que los gerentes ambientales en sus instalaciones de manufactura reciban anualmente de sesenta a ochenta horas de capacitación en EHS, dependiendo del tamaño y la complejidad relativa de sus instalaciones en particular. La capacitación se realiza en un plano interno en su mayor parte a nivel conferencias regionales y de división y es medida contra planes de capacitación formal dirigidos a cada gerente en particular. Según William Blackburn, Vicepresidente de Asuntos Ambientales Corporativos, el apoyo para este compromiso relativamente pesado en pro de la capacitación en EHS entre los gerentes ambientales de las instalaciones mismas, refleja un cierto grado de "presión de iguales", resultante de comparaciones frecuentes del desempeño EHS en las instalaciones. Blackburn sugirió, "Empiece a medir diciendo que esta persona hace un buen trabajo y aquí está la capacitación que está recibiendo. Pronto, lo que se tiene es una especie de 'superación a nivel unitario'."

Otras empresas que hacen fuertes inversiones en la capacitación EHS, en especial para la gerencia operativa de negocio y de instalaciones, son Westinghouse y WMX Technologies Inc. Westinghouse ofrece cursos programados con regularidad y capacitación personalizada para cumplir necesidades específicas de la unidad de negocio. WMX también ofrece un extenso menú de capacitación en EHS para su personal de sus instalaciones de relleno de tierra y tratamiento de habilidades personales, en congruencia con su "Entrenamiento para la Prevención-Evaluación-Acción Correctiva" (PACT), un enfoque para administrar la calidad ambiental total. Un elemento clave de este enfoque es el Sistema de Cumplimiento Gerencial que identifica todas las tareas necesarias para el cumplimiento y quién sea el responsable de ellas.

La medición del desempeño EHS de los gerentes de línea es esencial si la compañía habrá de hacerlos responsables finalmente. Baxter mide el desempeño de cada una de sus instalaciones anualmente contra estándares ambientales máximos y presenta los resultados a la alta gerencia corporativa y de dirección y al público. WMX Technologies usa su sistema de reporte de acción de cumplimiento (CARS) para rastrear la resolución de problemas relacionados con el cumplimiento, identificados en sus principales instalaciones operativas y los resultados son revisados trimestralmente por equipos de gerencia a nivel corporativo y operacional. Algo similar a CARS es el Reporte de Situación de Cuestiones Ambientales (EISR). Captura todas las autoinspecciones y auditorías EHS sobresalientes de sus instalaciones, midiendo los resultados finales contra fechas límite internas establecidas.

Virtualmente todas las compañías que asistieron a nuestro Coloquio de Productividad EHS cuentan con algún sistema de administración instalado para ligar el desempeño EHS medido con las evaluaciones anuales de los gerentes de línea. Tal vez el mecanismo de responsabilidad más formal es el de WMX Technologies. Hasta los gerentes de WMX e incluyendo presidentes de compañías operativas y altos ejecutivos corporativos, son medidos contra metas de cada uno de los cuatro "pilares" del Sistema de Administración Expandido de la Compañía —accionistas, clientes, empleados y el entorno—. Donald Wallgren, vicepresidente y principal funcionario ambiental de WMX, dice, "Cualquier otorgamiento de bonos se prevé con el cumplimiento exitoso de sus objetivos, entre los cuales, los problemas ambientales representan una parte importante. No obstante, existen buenas probabilidades de que si salieron mal en cuestiones ambientales, mostrarían malos resultados similares en algunas de las otras dimensiones".

## **APALANCAMIENTO DE PERSONAS Y TECNOLOGÍA**

En algún momento, cuando usted haya rediseñado para eliminar las ineficacias y delegado lo que le sea posible al personal de línea, el mejorar la productividad EHS se reduce a encontrar formas creativas de extender el "alcance" de sus limitados recursos de personal y técnicos. Compartir personal, establecer sistemas de cargo para asignar los escasos especialistas del personal, desarrollar relaciones con universidades y otras organizaciones de investigación,

establecer programas interactivos de información de tecnología e inteligencia artificial y en general, buscar formas de apalancar a su personal al establecer los contactos correctos dentro y fuera de la organización.

En medio de su reestructuración y adelgazamiento actual, Digital Equipment Corporation encontró que no contaba con los recursos de personal EHS en el sitio "correcto", dados los negocios de la compañía, sus riesgos de operación particulares y su distribución geográfica. Algunos negocios tenían pocos, si los había, especialistas EHS, en tanto que otros, relativamente eran sobre atendidos. La compañía gastaba una parte desproporcionada de sus dólares para personal EHS en la administración de químicos peligrosos en un momento cuando los recortes en manufactura y asignación de recursos al exterior reducían este riesgo. Sin embargo, era necesario dedicar más recursos a cuestiones ergonómicas que crecían en importancia.

El personal de las oficinas generales trataba de cumplir las necesidades EHS de las muy dispersas oficinas y laboratorios de ingeniería de Digital en muchas partes del mundo fuera de Norteamérica y Europa. "Necesitábamos hacer muchos cambios... y asegurarnos de que nuestros recursos fueran asignados en forma debida", comentó la nueva directora corporativa en cuestiones ambientales, de salud y de seguridad, Kay Breedon. Digital ahora ataca estos problemas con un nuevo modelo para entrega de servicios EHS caracterizado por un personal de oficinas generales más reducido, organizado en líneas funcionales, complementado por recursos de personal dedicado, propiedad de y sirviendo a las operaciones de manufactura y una red de doce centros técnicos regionales que sirven a los complejos de oficina a nivel mundial sobre una base compartida.

Otros participantes en el coloquio identificaron varias estrategias adicionales para un mayor apalancamiento de sus recursos de personal EHS. Rohm and Haas con frecuencia hace uso de la asistencia de personal temporal entre instalaciones —de las oficinas corporativas a instalaciones regionales, de instalaciones regionales a oficinas corporativas y entre los sitios regionales mismos—. Para propósitos de vigilancia reglamentaria y de comunicaciones, Baxter Healthcare ha desarrollado Equipos de Trabajo Regionales Internos y Equipos Ambientales entre Instalaciones. Northern Telecom enlaza su red corporativa a través de sus "especialistas" regionales y extiende sus capacidades de investigación ambiental fuera de la organización al patrocinar proyectos a través de su Programa de Interacción Universitario.

Las compañías de éxito también encuentran formas de apalancar la tecnología para incrementar la efectividad de sus programas EHS. El personal EHS y técnico de Anheuser-Busch ha identificado en fecha reciente ahorros en costos potenciales de más de 90 millones de dólares disponibles en sus operaciones cerveceras a través de un rango de iniciativas de tecnología que se preocupan por el medio ambiente, incluyendo conservación de agua y energéticos, sistemas de tratamiento de aguas de desperdicio anaeróbicas, recaptura de gas metano para uso energético dentro de sus instalaciones, limpieza de tanques y línea computarizada, y el rediseño de operaciones unitarias básicas como tinas de lavado y fermentadores. Westinghouse tiene un Programa de logro en tecnología limpia (ACT) que trabaja con y para las unidades de negocio para ayudar a identificar oportunidades de efectividad de costos y minimización de desperdicios que ayudarán a la línea de base.

Finalmente, el apalancamiento de tecnología no se limita sólo a preocupaciones de control ambiental. Empresas inteligentes también están utilizando la tecnología de la información para extender el valor de sus recursos de personal EHS. Los gerentes EHS europeos de Procter & Gamble están desarrollando enfoques de inteligencia artificial aplicados a la seguridad de procesos técnicos, incrementando así el ámbito de la actividad posible de sus especialistas de administración de riesgos a nivel mundial. De igual manera, Anheuser-Busch complementa las capacidades de su personal EHS a nivel instalaciones al actualizar de manera constante los Manuales de Calidad Ambiental de sus instalaciones a través del uso de programas de software de grupo en línea.

## ***HACIA UNA VISIÓN PARA EL PRÓXIMO SIGLO***

Se ha dejado salir de la botella al genio ambiental. En todo el mundo, en una amplia gama de industrias, los problemas ambientales, de salud y de seguridad están cambiando el curso

de los negocios. Las empresas de electrónica y telecomunicaciones se están viendo obligadas a abandonar el uso de clorofluorocarbonos. Los fabricantes de productos de consumo están reduciendo fuertemente sus materiales de empaque y desarrollando programas de reciclaje. Los productores de automóviles y fabricantes de aparatos están diseñando productos para ser desensamblados. Y las compañías químicas y otras industrias de proceso están gastando millones de dólares para limpiar problemas pasados —los propios y los de otros—. En Estados Unidos, los problemas ambientales están cambiando la estructura de costos fundamentales de la industria de servicios eléctricos y están cerrando o reubicando alrededor del 20% de la capacidad de refinación de la industria petrolera doméstica.

Al mismo tiempo, las presiones ambientales han creado oportunidades para productos y servicios que son relativamente benignos para el medio ambiente, como una gasolina con nueva fórmula, suavizantes de telas concentrados que utilizan empaques menos voluminosos y tarimas de corrugados no de madera. También han rejuvenecido productos maduros —como el bicarbonato de sodio, que ahora es considerado como un agente de limpieza bueno para el ambiente— y en verdad industrias enteras. Por ejemplo, la recolección de basura, que antes era un negocio local y regional, ha surgido como un sector comercial multinacional de crecimiento rápido que también ha agregado el tratamiento y disposición de desperdicios peligrosos a sus ofertas. Es evidente que las fuerzas que impulsan estos cambios fundamentales y de largo alcance requieren —y obtienen— la atención de la alta gerencia. La naturaleza de esa atención varía por región. En Europa, existe una fuerza impulsora considerable para el desarrollo de estándares de administración ambiental formales, por ejemplo, el Instituto Británico de Estándares y la Organización de Estándares Internacional (ISO). El impulso por tales estándares apenas empieza a crecer en Norteamérica; es apreciablemente inferior en las regiones de Asia y el Pacífico (Fig. 3.4). Estas diferencias se reducirán con rapidez conforme los problemas ambientales sigan adquiriendo fuerza.

### **Cambios en las bases de la competencia**

Esperamos ver cambios cuánticos en el impacto del medio ambiente en la dinámica de la competencia. En la industria petrolera, por ejemplo, tres de seis fuerzas externas clave que impulsan el negocio a nivel mundial son cuestiones ambientales: combustibles sustitutos, reglamentos ambientales y cambios tecnológicos impulsados por el medio ambiente (Fig. 3.5). Por supuesto, las fortunas de la industria petrolera están inevitablemente entrelazadas con las de la industria automotriz y afectan a los demás sectores del transporte. En un documento de publicación reciente intitulado "Finding the Motor Fuel of the Future" Lodwick Cook, Presidente y Director Ejecutivo de ARCO, resume el futuro de esta manera: "Vemos una gasolina con nueva fórmula como la sucesora de la gasolina convencional para la gran mayoría de los automovilistas. Si estamos en lo correcto, la gasolina limpia tenderá un puente entre el presente y el futuro, llevándonos a los sistemas de combustibles del mañana, tal vez la electricidad en alguna forma". Sea lo que sea que el futuro traiga finalmente para estas industrias, el medio ambiente desempeñará un papel importante.

Y el medio ambiente afectará el costo de hacer negocios en muchas industrias más. Además, los costos evidentes del cumplimiento reglamentario y del tratamiento de desperdicios al final de la línea, existen costos menos obvios como la asignación de fondos para materiales sustitutos benignos con el medio ambiente y equipo de proceso menos contaminante. Los esfuerzos de las compañías por satisfacer las demandas del consumidor para el cambio manteniendo los costos del cambio dentro de límites razonables, están cumpliendo distintos grados de éxito variante. La industria del papel, por ejemplo, está desarrollando papeles reciclados, pero le es difícil en un plano competitivo cargar los precios más altos necesarios para recuperar los fuertes gastos de capital —por ejemplo inversiones en equipo para destinar—. Esta situación puede mejorar a través de los esfuerzos de una alianza recién formada, dedicada a crear una demanda del papel reciclado. Sus miembros incluyen a Johnson & Johnson, Prudential, Time Warner, McDonald's, Nationsbank y la Universidad Duke.

A no dudar, el medio ambiente afectará finalmente a la competencia de manera que todavía no empezamos a comprender. Imagine, por ejemplo, que las cadenas de comida rápida fuesen

	Europa	América del Norte	Asia/Pacífico	América Latina
Ímpetu del cambio EHS	<i>Alta</i>	<i>De moderado a alta</i>	<i>De baja a moderada</i>	<i>Moderada</i>
Estándares EHS	<i>Altos</i>	<i>Altos</i>	<i>Bajos (excepto Japón)</i>	<i>De bajos a moderados</i>
Imposición gubernamental	<i>Moderada</i>	<i>De moderada a alta</i>	<i>Baja</i>	<i>Baja</i>
Participación de la industria	<i>De moderada a alta</i>	<i>Alta</i>	<i>De baja a moderada</i>	<i>Baja</i>
Responsabilidad de la industria	<i>Moderada</i>	<i>Alta</i>	<i>Baja</i>	<i>Baja</i>
Esfuerzos de investigación y desarrollo	<i>Altos</i>	<i>Moderados</i>	<i>Bajos (excepto Japón)</i>	<i>Bajos</i>
Participación pública	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>De baja a moderada</i>	<i>De baja a moderada</i>
Participación de los trabajadores	<i>Alta</i>	<i>Moderada</i>	<i>Baja</i>	<i>De baja a moderada</i>
Demanda verde de los consumidores	<i>De moderada a alta</i>	<i>Moderada</i>	<i>Baja</i>	<i>Baja</i>
Demanda verde de los inversionistas	<i>Moderada</i>	<i>Alta</i>	<i>Baja</i>	<i>De baja a moderada</i>

FIGURA 3.4 Fuerza de impulsores ambientales, de la salud y de la seguridad por región. (Arthur D. Little.)

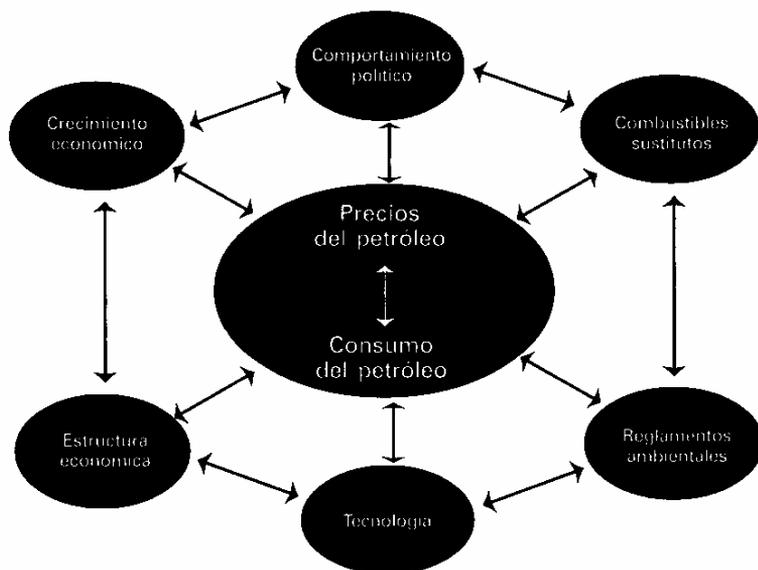


FIGURA 3.5 Fuerzas clave que impulsan la industria petrolera. (Arthur D. Little.)

encontradas ambientalmente responsables de los humos generados por los autos que esperan en sus líneas de servicio en el automóvil, que los fabricantes fueran responsables de recibir no sólo los empaques de los productos que venden, sino los productos usados mismos (como pronto podrá ser el caso en Alemania) o que ciertos plásticos, ahora de amplio uso, fuesen considerados dañinos al medio ambiente y por lo tanto, prohibidos. Es evidente que el entorno tiene el potencial de cambiar posiciones competitivas subyacentes —no de la noche a la mañana, pero ciertamente mucho más rápido que en el pasado—. Aquellas compañías que reconozcan tanto las amenazas como las oportunidades inherentes a esta nueva realidad estarán en mejor posición de éxito. Texaco, por ejemplo, atribuye gran parte de su éxito de mercadotecnia reciente y mejoras en posibilidades, al hecho de que se anticipó a las implicaciones de mejorar los procesos de refinación establecidos como requerimientos en la Ley de Aire Limpio para promover combustibles alternativos y actuó antes de que sus competidores lo hicieran.

### **La nueva responsabilidad ambiental**

Por tradición, el manejo corporativo de las cuestiones ambientales ha sido circunspecta. Aun hoy, aun cuando se habla mucho de responder más a extraños, la mayoría de las compañías todavía tienen cautela en cuanto a revelar demasiado acerca de sus operaciones. No obstante, les guste o no, los requerimientos reglamentarios ahora obligan a las compañías a entregar información sensible sobre su desempeño ambiental al dominio público. Y los requerimientos de hoy son sólo el principio. La presión gubernamental y pública obligará a la industria a proporcionar información ambiental más detallada —y el acceso al público a tal información crecerá.

Aun cuando Estados Unidos fue el primero en establecer requerimientos de divulgación a través de estatutos de reportes ambientales y financieros, otros países siguen sus pasos con rapidez. Desde 1987, bajo la Ley de Superfund de Enmiendas y Autorización (SARA), las empresas norteamericanas se han visto obligadas a presentar documentación anual sobre su liberación de más de 400 químicos listados en el Inventario de Liberación de Tóxicos (TRI). Los principales estatutos ambientales federales norteamericanos también incluyen una o más reglas de divulgación relativas al consumo, producción o emisión de sustancias peligrosas. Cambios recientes en el proceso de reporte TRI, bajo SARA han agregado nuevas preguntas sobre recibos tóxicos reciclados y tratados, tanto dentro como fuera de las instalaciones, así como iniciativas corporativas para la prevención de la contaminación. En Europa, aun cuando la legislación sobre el derecho a saber de la comunidad está menos avanzada, el Reino Unido y Francia ya cuentan con registros de contaminación y la Comunidad Europea ha emitido una Directiva sobre la Libertad de Acceso a la Información sobre el Entorno. Así, amplios esfuerzos están en camino para otorgar el poder a individuos, grupos y comités para cuestionar lo que son riesgos ambientales aceptables de las operaciones ambientales y propugnar estándares que vayan más allá de lo que ahora podría ser legalmente permisible.

Tal vez tan importante como la cuestión del acceso público a esta información, es el potencial de posibles malas interpretaciones de los datos sobre el desempeño ambiental de la industria. Sacada fuera de contexto, información de este tipo puede distorsionar las impresiones públicas del desempeño corporativo. Los observadores pueden establecer comparaciones inapropiadas entre situaciones nada relacionadas. Este problema de "traslación" subraya la importancia de proporcionar datos de desempeño ambiental exactos, comprendiendo lo que los datos significan en el más alto contexto de la postura ambiental general de la corporación y explicar esta información de manera efectiva a todos los grupos interesados de la organización.

Algunas formas de divulgación de información serán probablemente regulados con mayor rigidez. Con respecto a la divulgación financiera, por ejemplo, Norteamérica ha marcado el paso en desarrollar estándares contables y reglas de divulgación. La regla número 5 FASB del Consejo de Estándares Contables Financieros establece que la responsabilidad ambiental potencial (como cualquier otra responsabilidad), deberá acumularse por un cargo a los ingresos cuando es probable que se haya incurrido en una pérdida (y suponiendo que la cantidad

pueda ser estimada razonablemente). El Instituto Canadiense de Contadores Certificados ha desarrollado una serie de sugerencias y guías ambientales para contabilizar activos de capital. El Reino Unido, Japón y la Comunidad Europea también cuentan con legislación que atiende las prácticas contables para obligaciones contingentes.

En 1989, la comisión de valores y de bolsa norteamericana advirtió a las compañías que revelaran en mayor grado sus responsabilidades potenciales con respecto al Superfund. Como resultado de ello, más compañías han incluido este tipo de información en sus reportes anuales. Sin embargo, muchas todavía consideran esto difícil, dadas las complejidades e incertidumbres. Cuando una encuesta de 1992 preguntó a 500 compañías norteamericanas si revelaban plenamente sus responsabilidades ambientales en sus estados financieros, el 62% admitió tener riesgos que aún no registraban (*Corporate Finance*, febrero de 1993).

Conforme las prácticas contables ambientales y otros medios para evaluar responsabilidades financieras relacionadas con el medio ambiente se vuelvan más sofisticadas, las compañías no podrán ocultarse detrás de la falta de experiencia o la ausencia de estándares. El gobierno y el público se interesarán más en rastrear información de responsabilidades ambientales corporativas —y el desempeño que reflejan—. Al reconocer estos retos, las compañías están lanzando una gama de iniciativas: midiendo su propio avance contra metas de reducción de emisiones voluntariamente establecidas, la creación de bases de datos ambientales y operativos internos para obtener el mayor valor de la información existente de esfuerzos de recolección de datos y desarrollar formas para comunicarse directamente con los grupos interesados.

P • A • R • T • E • 2

# SALUD

---

## CAPÍTULO 4

---

# EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD: PRINCIPIOS Y PRÁCTICAS

---

Rao V. Kolluru, Dr.PH.  
CH2M Hill\*  
Parsippany, New Jersey

*Dosis solus deneunum facit "La dosis misma hace el veneno."*

PARACELSDS (1493-1541)

### En este capítulo:

- Conceptos y definiciones
- Objetivos y ámbito de acción: la planificación es crítica
- Evaluación de riesgos para la salud: el paradigma y el proceso
- Evaluación de riesgos, criterios de limpieza y opciones de remedio: línea de referencia, línea de separación y línea de fondo
- Puntos a considerar
- Riesgos estimados y aplicaciones: ejemplos probados
- Glosario y referencias

Apenas pasa una semana en nuestra sociedad sin que recibamos noticias de otro riesgo ambiental. Veintenas de riesgos se han agregado a la multitud de preocupaciones públicas desde que celebramos el primer Día de la Tierra en 1970. Confrontados con un creciente inventario de riesgos ambientales y una mayor sensibilidad pública —desde sitios peligrosos a agua potable, del plomo a residuos de pesticidas, de humo de cigarrillos de segunda mano al radón, de teléfonos celulares a rayos del Sol, de demasiado ozono en la atmósfera a demasiado poco en la estratosfera— los gobiernos y las agencias reglamentarias se han visto presionados para

---

\* David E. Burmaster, Ph.D., de Alceon Corporation, Cambridge, Massachusetts, revisó este capítulo e hizo sugerencias valiosas.

Este capítulo ha sido adaptado de uno escrito por el autor y publicado en *Environmental Strategies Handbook: A Guide to Effective Policies and Practices* (McGraw-Hill, Nueva York, 1994, Rao Kolluru, ed.).

El autor agradece a CH2M HILL por su apoyo.

encontrar un marco sistemático para hacer frente a estos riesgos, que importan mucho, hasta otros que importan menos. Con este propósito, pocas disciplinas han atraído tanto interés y generado tanta controversia como la evaluación de riesgos, incluyendo, en Estados Unidos, al Congreso, la Suprema Corte, la Oficina Ejecutiva del Presidente, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y otras agencias reglamentarias, corporaciones, grupos ambientalistas y otros.

El qué, el porqué y el cómo de la evaluación de riesgos es parte de un debate continuo, parte de él exaltando sus virtudes y otros señalando sus limitaciones. Sin embargo, existe un consenso virtual de que los cientos de miles de millones de dólares que hemos gastado en el medio ambiente no han sido invertidos de manera prudente, en especial para limpiar sitios peligrosos o contaminados y que es necesaria una estrategia más efectiva para invertir nuestros recursos. En una encuesta de Harvard, el 83% de los participantes aceptaron la declaración de que el gobierno debería utilizar el análisis de riesgos para identificar los problemas ambientales más serios y darles la más alta prioridad en las decisiones para gastos en el medio ambiente (Harvard Center for Risk Analysis, 1993).

La evaluación de riesgos no es, por supuesto, una bala mágica para acabar con todos los problemas ambientales, sino un enfoque de sentido común, un compuesto de disciplinas con bases científicas. La evaluación de riesgos se refiere a tomas de decisiones. Por ejemplo: ¿Debería ser remediado un sitio contaminado en un área industrial aislada, y cuándo? ¿Cuál es un nivel de plomo seguro que pudiera permanecer en tierras y agua? ¿Cuánto óxido de azufre debería ser tolerado que se emita al aire desde la chimenea de una planta de energía eléctrica? ¿Tiene sentido clorinar las fuentes de agua cuando eso reduce los riesgos biológicos, pero, incrementa el riesgo de cáncer? ¿Cuándo es mejor retirar el asbesto de un edificio y cuándo no? ¿Es más efectivo, en cuanto a costos para un riesgo equivalente, el asignar fondos a la reforestación en América Central para equilibrar las crecientes cargas de carbón en el Noreste de Estados Unidos?

A pesar de las incertidumbres metodológicas y las limitaciones de datos actuales, las evaluaciones de riesgos pueden desempeñar un papel significativo para definir, asignar prioridades y administrar los riesgos ambientales. En este tenor, hemos presentado un marco para el "cómo" (y el "cómo no") de las evaluaciones de riesgos, sus ventajas y limitaciones, aplicaciones prácticas, consideraciones de "línea de fondo" y esperamos, una "dosis" saludable de sentido común.

Este capítulo complementa el capítulo 1, así como los demás capítulos del libro. En las siguientes páginas, se establecen los conceptos clave de los riesgos. La importancia de definir objetivos específicos de un proyecto de evaluación de riesgos sobresale desde el principio, incluyendo usuarios, usos esperados y objetivos de calidad de datos. A continuación, viene un estudio detallado del proceso de evaluación de riesgos y los pasos principales que incluye. El capítulo presenta luego los criterios y algunas ideas para rehabilitar sitios contaminados; fuerzas económicas para volver a utilizar la infraestructura existente y el deseo de aliviar presiones de construir en tierras "antiguas" agregan ímpetu a esta tendencia (las llamadas iniciativas de campos color café y campos verdes). Hacia el final del capítulo, encontrará varios ejemplos probados que ilustran situaciones "de la vida real".

## CONCEPTOS Y DEFINICIONES

Si la economía es una "ciencia deprimente", entonces el riesgo podría ser llamado la "ciencia mórbida". La mayoría de nosotros tenemos una sensación intuitiva en cuanto a que los peligros y los riesgos son y que de alguna forma son indeseables, aun cuando son inherentes a la vida diaria. Ya que el riesgo tiene muchas definiciones con tonos científicos, políticos, sociales y económicos, encontramos varias definiciones en la literatura. *Peligro* y *riesgo* con frecuencia son utilizados de manera indistinta. Para los propósitos de este capítulo un *peligro* se define como un agente químico, físico o biológico o una serie de condiciones que tienen el potencial de hacer daño; es una fuente de riesgo, pero no un riesgo en sí mismo. Siguiendo esta definición, la *evaluación de riesgos* es el proceso de estimar la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento indeseable y la magnitud de sus consecuencias en un periodo específico;

por ejemplo, la posibilidad y las consecuencias de una rotura en un tanque de almacenamiento de combustibles en un sitio industrial, la probabilidad de falla de una presa y la pérdida de vidas y propiedades, el riesgo de desarrollar cáncer al vivir cerca de un sitio de desperdicios peligrosos, etcétera.

El riesgo es una función de la naturaleza del peligro, facilidad de acceso o avenidas de contacto (potencial de exposición), características de la población expuesta (receptores), y la posibilidad de ocurrencia de exposiciones y consecuencias. Las evaluaciones de riesgos pocas veces atienden todos los factores relevantes debido a limitaciones metodológicas y de recursos. Los cortacaminos tienden a hacer énfasis en unas cuantas situaciones extremas, ignorando probabilidades de ocurrencia que son fundamentales para el concepto del riesgo. Por otra parte, las probabilidades se utilizan por rutina en análisis de riesgo de seguridad; así mismo, con la creciente disponibilidad de programas no costosos de simulación los prospectos han aumentado para extender los componentes probabilísticos a las evaluaciones de riesgo de salud.

Las consecuencias de diferentes tipos de riesgos se expresan por lo general en términos de seguridad (por ejemplo, muertes, heridos), salud (por ejemplo, efectos cancerosos y no cancerosos), bienestar público (por ejemplo, estética, condiciones de malestar), ecológicos (diversidad de especies, pérdida del hábitat), problemas financieros (como pérdida de propiedades, responsabilidades), o una combinación de todos como se describió en el capítulo 1 y se resalta en el recuadro siguiente.

<i>Diferentes tipos/Expresiones del riesgo</i>	
• Seguridad	• Agudo
• Salud humana	• Subcrónico
• Bienestar público	• Crónico
• Ambiental/ecológico	
• Financiero	
• Ocupacional/trabajador	• Casos de cáncer
• Ambiental/público	• Efectos no cancerígenos/sistémicos
• Consumidor/residencial	

En la evaluación de riesgos para la salud humana, las consecuencias o puntos finales se agrupan en riesgos cancerígenos y una categoría genérica de no cancerígenos. El riesgo de cáncer generalmente impulsa decisiones reglamentarias porque el cáncer es un punto final no ambiguo y muy temido por el público. La metodología de evaluación de riesgos de cáncer también está bien establecida.

El grupo no cancerígeno incluye una serie diversa de efectos o puntos finales, incluyendo cambios enzimáticos reversibles temporales, supresión inmunológica, anormalidades reproductivas y de desarrollo y reacciones respiratorias y alérgicas, por nombrar unas cuantas. Los agentes peligrosos pueden provocar un espectro de efectos, tanto cancerígenos como no cancerígenos. El plomo, por ejemplo, es un carcinógeno débil, pero sus efectos no carcinogénicos son mucho más importantes. Se sabe que el plomo afecta el desarrollo neurológico del comportamiento (aprendizaje) en los niños en índices tan bajos como, o inferiores a, 10 a 15  $\mu\text{g}/\text{dL}$  de niveles de plomo en la sangre y causar perturbaciones gastrointestinales y cardiovasculares en índices más altos de 30  $\mu\text{g}/\text{dL}$ .

En la vida diaria, estamos expuestos a miles de fuentes de peligros químicos, físicos y biológicos de manera directa o indirecta: descargas industriales, emisiones vehiculares, des-

cargas de sitios de desperdicios peligrosos, químicos agrícolas, virus de la gripe e influenza, huracanes y otros procesos naturales, etc. En tanto que los riesgos a la seguridad parten de peligros agudos, los riesgos a la salud se derivan de exposiciones crónicas (a largo plazo) a bajas concentraciones típicas de exposiciones ambientales. Por ejemplo, las concentraciones de químicos en los medios del entorno (suelo, aire, agua) son medidos en miligramos por kilogramo (partes por millón, ppm), miligramos o microgramos por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), miligramos o microgramos por litro ( $\text{mg}/\text{L}$ ,  $\mu\text{g}/\text{L}$ ).

La exposición ocupacional de los trabajadores en el aire generalmente ocurre en el rango de miligramo por metro cúbico o partes por millón, y hemos acumulado abundante conocimiento de los efectos de décadas de experiencia en la minería y en la industria. En el caso de exposiciones intencionales, los medicamentos que por norma ingerimos en un rango de dosis de unos cuantos miligramos y tenemos conocimiento sustancial de sus efectos principales y colaterales; antes de que un medicamento sea probado por la Administración de Alimentos y Medicamentos, Food and Drug Administration (FDA), tiene que pasar por una serie de pruebas de seguridad y eficiencia, incluyendo pruebas clínicas. (Aun entonces, las pruebas tienden a limitarse a un solo ingrediente activo en unos cuantos cientos de personas.) En contraste, las concentraciones de químicos preocupantes en nuestro entorno, excepto "puntos calientes", tienden a estar en el rango de microgramos por metro cúbico, o partes por miles de millones (ppmm) —órdenes de magnitud inferior a exposiciones ocupacionales y médicas—. (Una parte por miles de millones es análoga a 1 segundo en 32 años.) Nuestra comprensión de los efectos en la salud de exposiciones de bajo nivel a múltiples agentes y sus interacciones y efectos acumulados aún está en su infancia, aunque algún avance se ha logrado en la última década. (¡Aparentemente, los investigadores reciben aplausos por probar efectos en la salud por exposiciones cada vez menores, en tanto que los consultores de negocios son recompensados por lo opuesto!) Más aún, existe un lapso entre exposiciones y la manifestación de síntomas de enfermedad; para el cáncer, el periodo latente puede ser de unos cuantos años (leucemia) a 20 o 30 años (cáncer del pulmón). El tiempo de exposición también puede ser crítico como puede ser en el primer trimestre del embarazo. También, las enfermedades tienden a ser multigénicas, con factores genéticos, de comportamiento y ambientales, todo esto interviniendo —es difícil señalar una causa exclusiva o hasta dominante—. Podemos inferir, entonces, que la evaluación de riesgos dista mucho de ser una ciencia exacta en cuanto a que las exposiciones y efectos proyectados no pueden ser enlazados con un alto grado de confiabilidad. Como veremos más adelante, pueden hacerse muchas presunciones de simplificación al realizar evaluaciones de riesgos, teniendo más que ver con la política reguladora, que con un racional científico.

En un sentido amplio, los seres humanos están en un equilibrio dinámico con sus entornos. Descargas antropogénicas y naturales de agentes benéficos y peligrosos constantemente se acumulan y se transforman en la biosfera. Durante miles de años, los humanos, como los animales y plantas, han creado elaborados mecanismos protectores en evolución, incluyendo la desintoxicación y mecanismos homeostáticos (autorreguladores) que nos sirven bien. Sin embargo, cuando los mecanismos protectores son interrumpidos o "sobrecargados", tenemos que hacer frente a las consecuencias.

A pesar de estas advertencias, ahora tenemos a la mano modelos y herramientas para aproximar los riesgos para la salud e identificar opciones de administración. Los modelos y métodos presentados en este capítulo, en términos generales siguen las vías de la EPA y por lo tanto reflejan los prejuicios de política de la EPA. La guía de evaluación de riesgos de la EPA representa un enfoque simplificado, estructurado y determinístico. Como se verá más adelante, la base científica de las evaluaciones de riesgos para la salud pueden fortalecerse de manera importante, por ejemplo, por la extensión del uso de distribuciones de probabilidades.

## **OBJETIVOS Y ÁMBITO DE ACCIÓN: LA PLANIFICACIÓN ES CRÍTICA**

Como en cualquier empresa, la planificación y establecimiento de ámbito de acción son críticos para la evaluación de riesgos. Esto incluye la articulación de metas generales y objetivos específicos en el sitio:

### *Ventajas y limitaciones de las evaluaciones de riesgos*

#### **Ventajas**

- Las preocupaciones de salud pública y seguridad son atendidas con un lenguaje común.
- Un marco sistemático para asignar prioridades a los problemas, asignar recursos y evitar problema futuros.
- Uso de factores de situación específica más que estándares genéricos.
- Bases científicas para la administración de riesgos.
- Mejor control de costos y tiempos de puesta en práctica.
- Recursos efectivos, por ejemplo, costos, con frecuencia se logran al dirigir esfuerzos hacia peligros y exposiciones sensibles a la acción.

#### **Limitaciones**

- No hay consenso amplio sobre el propósito, el enfoque o los resultados.
- El riesgo es probabilístico, pero los métodos estándar son determinísticos.
- Órdenes de variabilidad de magnitud en evaluaciones de la salud y ecológicas, subjetivas.
- Datos inadecuados, naturaleza especulativa de las presunciones.
- Las evaluaciones específicas de riesgo del sitio tienden a ser miopes, ignorando el incremento y macroimpactos.
- Pocos profesionales calificados con el rango de habilidades necesarias; asesores de riesgo, ingenieros y economistas que hablan distintos idiomas.
- Credibilidad y percepción (de "colocar la venda sobre los ojos de los demás").
- Clientes múltiples, intereses diversos, expectativas fuera de la realidad.

1. ¿Qué tipo de decisiones se consideran? ¿Qué está en juego? ¿Qué impulsa la decisión? (¿Riesgos para la salud humana y/o para la ecología? ¿Qué agencias?)
2. ¿Cuáles son los usos y quiénes son los usuarios de los datos de la evaluación de riesgos? ¿Cuál es la esfera de acción de la evaluación? ¿Cuáles son sus tiempos?

Entre las fuerzas impulsoras se encuentran

- Cumplimiento de reglamentos
- Acción voluntaria por motivos comerciales
- Preocupaciones por la salud pública
- Preocupaciones públicas distintas a la salud, por ejemplo, valor de la propiedad
- Responsabilidad financiera, daños tóxicos
- Preocupaciones por evaluación de daños a los recursos naturales (NRDA)
- Buena disposición pública, "franquicia" del consumidor

Ejemplos de usuarios y aplicaciones incluyen

- Compañía patrocinadora, operaciones relacionadas y consultores
- USEPA, FDA, ATSDR
- Agencias estatales (departamentos del medio ambiente y la salud)
- Grupos ambientalistas
- Residentes de la comunidad
- Abogados
- Profesionales de la salud pública, investigadores

- Depositarios de los recursos naturales
- Medios

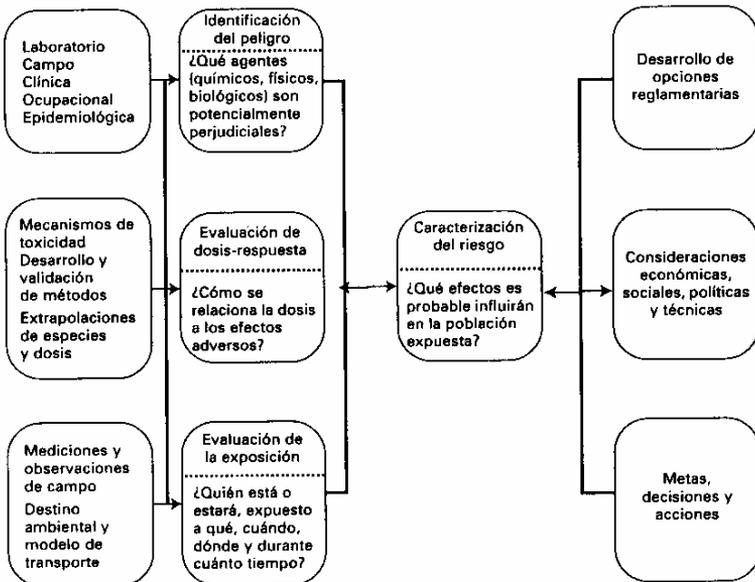
Los objetivos de la evaluación de riesgos, los resultados esperados, su uso y el enfoque analítico (propuesto) deben definirse, discutirse y ser acordados por el cliente, agencias reguladoras y otros grupos de interés involucrados. Esto se realiza de preferencia antes, o al menos en conjunto con, el desarrollo del presupuesto del proyecto y la programación de tiempos. Esta inversión inicial en tiempo, rinde buenos dividendos provenientes de objetivos claramente definidos (incluyendo objetivos de calidad de datos) y estrategia, porque la evaluación de riesgos admite tanto una imagen de “caja negra” como una promesa implícita de “todo para todas las personas”.

**EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD:  
EL PARADIGMA Y EL PROCESO**

El paradigma de la evaluación de riesgos ilustrado en la figura 4.1 se basa en el informe originario *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process* (El Libro Rojo) del Consejo de Investigación Nacional, organismo afiliado de la Academia Nacional de Ciencias (NRC/NAS, 1983.) El proceso de cuatro pasos consiste en la identificación del peligro, evaluación de respuesta a la dosis, evaluación de exposición y caracterización del riesgo, como se vera más adelante.

El método de evaluación de riesgos aquí descrito está orientado hacia la cuantificación de riesgos asociados con químicos peligrosos de operaciones industriales y sitios contaminados

**Investigación      Evaluación de riesgo      Administración del riesgo**



**FIGURA 4.1** Modelo de evaluación de riesgos y su administración.

como sitios de Superfund y RCRA. Los mismos principios podrían, por supuesto, aplicarse para evaluar riesgos para la salud en situaciones similares, incluyendo instalaciones de almacenamiento de residuos peligrosos, instalaciones de recuperación de recursos, nuevos incineradores y permisos de operación.

Las evaluaciones de riesgos en sitios de Superfund se realizan por contratistas EPA o por las partes potencialmente responsables (PRP) siguiendo el protocolo descrito en la *Risk Assessment Guidance for Superfund* (EPA, 1989a,b) de la EPA. Aun cuando un contratista de la EPA realice una evaluación de riesgos en un sitio, algunos PRP prefieren hacer sus propias evaluaciones de "sombra" para retener el control de un proyecto. (Si un litigio es inminente, tal vez necesite considerar las siguientes guías del Superfund NCP con cuidado.)

La evaluación de riesgos se inicia con una fase inicial de investigación y recolección de datos. En el contexto de evaluar riesgos de un sitio contaminado, la información de peligros proviene de registros históricos y la toma de muestras del medio ambiente (tierra, agua subterránea, agua de superficie, sedimentos, aire) en y fuera del sitio. Los datos de toxicidad pueden provenir de una variedad de fuentes: experimentos en animales, exposiciones ocupacionales de los trabajadores, estudios epidemiológicos, registros médicos o clínicos y relaciones entre actividades y estructura.

La fase de administración de riesgos subsecuente incluye el establecimiento de metas de remedio, análisis de alternativas y la puesta en práctica de un curso de acción selecto en el contexto de consideraciones políticas, sociales y económicas.

Los cuatro pasos principales en una evaluación de riesgos en línea de base o de referencia (BRA) se muestran a continuación. Los riesgos de línea de base o de referencia son aquellos que se relacionan con las condiciones existentes en un sitio bajo un escenario de no acción o acción mínima, tales como restricciones de acceso. Los principios y conceptos de una evaluación de riesgos se delinearán en primer término. Muchos ejemplos probados y los minicases hacia el final del capítulo, ilustran los conceptos.

1. Evaluación de datos e identificación de peligros (selección de químicos concernientes o "indicadores químicos")
2. Evaluación de toxicidad o de dosis-respuesta
3. Evaluación de exposición
4. Caracterización de riesgos
- 4a. Análisis de incertidumbre y sensibilidad

## 1. Evaluación de datos e identificación de peligros

¿Qué debe preocupar?

**Objetivos de calidad de datos (DQO).** Los DQO son declaraciones que especifican la calidad y cantidad de los datos requeridos para apoyar decisiones reglamentarias y no reglamentarias. Los evaluadores de riesgos ocasionalmente tienen más la oportunidad de especificar sus avances en sus necesidades de datos, que tratar de "retroajustar" los datos existentes. La vieja máxima de computadora GIGO (basura de entrada, basura/buena nueva fuera) es válida también para la evaluación de riesgos y sin embargo, los evaluadores de riesgos casi invariablemente toman los datos por buenos. Los DQO deben reflejar todos los usos identificados, incluyendo evaluaciones de riesgos (humanos, ecológicos), estudios de tratabilidad, requerimientos aplicables o relevantes y apropiados (ARAR) y acciones de remedio. Las preguntas clave son:

- ¿Cuáles son los usos esperados de los datos y quién los usará? ¿Deberá el programa de muestra coordinarse con otra agencia gubernamental además de la EPA y el estado? (Por ejemplo, ¿hay radionúclidos presentes que serían atendidos bajo el programa de acción de remedio en sitios antes utilizados por el Departamento de Energía norteamericano, o la FUSRAP?)

- ¿Debe recolectarse, analizarse y validarse la información, de acuerdo al Programa de Contrato de Laboratorio de la EPA (CLP) u otros protocolos aplicables? ¿Es legalmente defendible?
- ¿Qué tipo de programa de muestreo es apropiado para el sitio —de propósito, sesgado (cerca de “puntos calientes”) aleatorio, sistemático o una combinación de todos?
- ¿La lista de puntos que hay que analizar es apropiada para el sitio? ¿Sólo es necesario analizar una subserie basados en el sitio del producción e historia de uso? ¿Cuál es el nivel de confianza requerido? ¿Cuántas muestras son necesarias?
- ¿Se recolectan muestras suficientes y están cerca a los puntos potenciales de exposición? ¿Está el sitio estratificado lateral y verticalmente (por ejemplo, seis pulgadas superiores, o dos pies de tierra de superficie, sobrecargas de baja profundidad/aguas subterráneas de lecho de rocas profundo)?
- ¿Los límites de cuantificación o detección de los métodos analíticos son suficientemente bajos, por ejemplo, antes de concentraciones de referencia basados en la salud y RAR potenciales tales como niveles máximos de concentración de agua potable (MCL) y los criterios de calidad de agua de superficie?
- ¿Hay que recolectar muestras de antecedentes (gradiente superior, corriente arriba, viento arriba, referencia) y fuera del sitio (gradiente abajo, corriente abajo, viento abajo) y dónde?

**Químicos de preocupación (COC) y química específica de un sitio.** La evaluación de datos y el proceso de identificación de COC debe incluir un examen de la historia del sitio (cronología del uso de la tierra) y actividades. También debe incluirse un mapa del sitio que muestre las principales áreas de preocupación, límites del sitio y sus alrededores. Una evaluación del sitio (de la “burbuja de aire” y la “burbuja invertida bajo la superficie”) por lo general presenta una enorme cantidad de datos —miles de series de datos sobre cientos de químicos, incluyendo volátiles, semivolátiles, metales, pesticidas y otros peligros—. (Si una materia de análisis no se detecta en una muestra, la mitad del límite de detección puede ser utilizado para calcular su concentración si la misma materia de análisis se encuentra en otra parte del sitio.) Estamos rodeados de numerosos peligros químicos, físicos y biológicos, tanto naturales (por ejemplo, bacterias, radón) y sintéticos (solventes clorinados). Como se señaló antes, un peligro es una fuente de riesgo, pero no un riesgo en sí mismo, o sea, su presencia es una condición necesaria pero no suficiente para convertirse en un riesgo para la salud y la seguridad. Es necesario hacer esta distinción porque en la percepción pública: peligro = exposición = riesgo = daños personales. (Observe lo que hay bajo el fregadero de la cocina y en el botiquín en casa. ¿Cuántas sustancias peligrosas puede identificar usted?)

Orgánicos volátiles, hidrocarburos de petróleo, solventes clorinados, pesticidas, productos de transformación secundaria y metales están entre los contaminantes más comunes encontrados en sitios de Superfund y de depósito de desperdicios. De veintenas de tales compuestos, una subserie de químicos que representan los mayores riesgos, se selecciona para análisis cuantitativo. Estos químicos de preocupación potencial, en ocasiones mencionados como *químicos indicadores*, pueden ser estudiados y resaltados con base en

- Toxicidad, por ejemplo, factores de la pendiente de cáncer (véase glosario del capítulo 1), dosis de referencia no cancerosa (explicado más adelante)
- Concentración en medios comparados con los niveles de antecedentes (cantidad, abundancia)
- Concentración en medios frente a estándares y criterios federales y estatales
- Frecuencia de detección (qué tan extendidos están)
- Características de destino y transporte, por ejemplo, potencial de migración fuera del sitio (solubilidad), transformación, persistencia (vida media) y bioacumulación (factor de bioconcentración del coeficiente de  $K_{ow}$  división del octanol en agua)
- Rutas: aire, tierra, agua subterránea, agua de superficie, sedimentos (¿están todas las rutas de exposición completas?)

El número de químicos detectados puede reducirse a un tamaño manejable para análisis adicional por un estudio cuantitativo inicial y un estudio más profundo de concentración cuantitativa de toxicidad. En la etapa inicial, algunos químicos pueden, en ocasiones, ser excluidos de una mayor consideración con base en

- Concentración química en el rango de antecedentes de niveles locales (por ejemplo, metales y otros inorgánicos)
- Baja frecuencia de detección (por ejemplo, menos del 5% de las muestras)
- Contaminante común de laboratorio (por ejemplo, concentración en la muestra del sitio en menos de 5 o 10 veces al máximo detectado en el blanco)
- Toxicidad intrínseca baja (factores de la pendiente bajos, dosis de referencia altas)
- Nutriente esencial, por abajo de la tolerancia diaria recomendada (RDA)
- Concentración muy por abajo de estándares federales y estatales (por ejemplo, MCL para el agua)
- Rutas de exposición incompletas (por ejemplo agua subterránea poco profunda que no es una fuente potencial de los aprovisionamientos de agua potable)

**Examen de concentración/toxicidad.** El propósito de este procedimiento de inspección es el de identificar los químicos (carcinógenos y no carcinógenos) por cada medio o ruta (por ejemplo, agua, tierra, aire) que con mayor probabilidad contribuyen a los riesgos para la salud por su toxicidad y abundancia. El factor de riesgo  $R$  para cada medio puede ser calculado mediante una fórmula simple:

$$R = \Sigma(C_i)(T_i)$$

en donde  $R$  = factor de riesgo para el medio (agua, tierra, aire)

$C$  = concentración máxima del químico específico en el medio, o 95% del límite de valor de confianza superior, cualquiera que sea menor

$T$  = valor de toxicidad para el químico específico en el medio, factor de la pendiente para carcinógenos, o  $1/RfD$  para no carcinógenos [factores de la pendiente y dosis de referencia (RfD) se explican en la siguiente sección]

La relación de factores de riesgo químico individuales con el factor de riesgo total de cada medio se aproxima al riesgo relativo del químico. Diversos factores de riesgo deben ser calculados para riesgos carcinogénicos y para cada medio. Un químico que contribuya menos de una fracción especificada del factor de riesgo total (digamos, menos del 1%) no sería considerado más en la evaluación de riesgo. La reducción en el número de químicos hace la evaluación de riesgo cuantitativa más manejable y al mismo tiempo enfoca la atención en químicos que probablemente contribuyan el mayor riesgo. Los químicos considerados en el análisis cuantitativo deben representar al menos 95% del riesgo total asociado con el sitio.

Ejemplo de resultados obtenidos de este paso:

- Entre los contaminantes detectados en aguas subterráneas, benceno, cloruro de vinilo y arsénico contribuyen aproximadamente con el 97% del riesgo relativo de cáncer.
- Cromo III, berilio y tricloroetileno en la tierra comprenden el 95% de los riesgos no cancerosos o del índice de peligro.

## 2. Evaluación de toxicidad/evaluación de respuesta a dosis

¿Cómo se relaciona la dosis con efectos adversos?

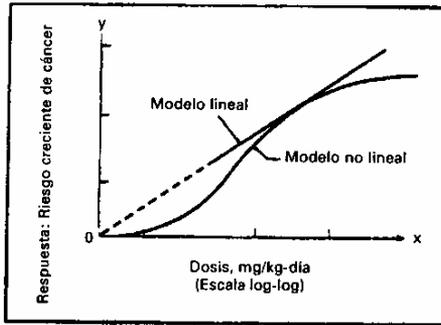
El propósito de la evaluación de toxicidad es el de estimar el potencial de químicos selectos de causar efectos adversos en las poblaciones expuestas y proporcionar un estimado en la relación entre el grado de exposición y la creciente posibilidad de que se presenten efectos

adversos, o sea, la relación dosis-respuesta. (Véase también el glosario al final de este capítulo.)

Obviamente, no todos los contaminantes o químicos son creados iguales en su capacidad de causar efectos adversos. Los datos de toxicidad se derivan en su mayor parte de experimentos en animales en los que éstos, en su mayoría ratones y ratas, son expuestos a concentraciones de dosis cada vez más altas y los efectos correspondientes son observados. La relación dosis-respuesta para un químico indica así el grado de toxicidad para las especies expuestas (Fig. 4.2a y b). La dosis es normalizada como miligramos de la sustancia ingerida, inhalada o absorbida a través de la piel por kilogramo de peso del cuerpo por día (mg/kg-día). Las respuestas o efectos pueden tener una gran variación: desde efectos no observables a temporales y reversibles (tales como la depresión de enzimas causadas por algunos pesticidas) hasta efectos permanentes en los órganos (efectos de solventes clorinados y metales pesados en hígado y riñones) o incapacidades funcionales crónicas (bronquitis, enfisema por tabaquismo) y finalmente, la muerte. Además de los experimentos en animales, los datos de toxicidad se derivan de estudios ocupacionales, clínicos y epidemiológicos (véase el recuadro intitulado "Extrapolación de ratones a hombres".)

Para propósitos de evaluación de riesgos para la salud, los efectos en la salud pública son clasificados en efectos cancerosos y una categoría genérica de no cancerosos. Los dos índices principales de toxicidad, o sea, expresiones cuantitativas de información de respuesta a dosis, son conocidos como *potencia del factor de la pendiente de cáncer* (CSF) y *dosis de referencia* (RfD). Las respuestas tóxicas se clasifican generalmente como efectos no de umbral y efectos de umbral (umbral-cero). Para los efectos de cáncer de los carcinógenos, la EPA supone un umbral cero: por ejemplo, existe algún riesgo, sin importar lo pequeña que sea la dosis. El

Riesgo de cáncer:  
umbral-cero



Dosis de referencia (RD):

$$\frac{\text{NOAEL}}{\text{Factores de incertidumbre}}$$

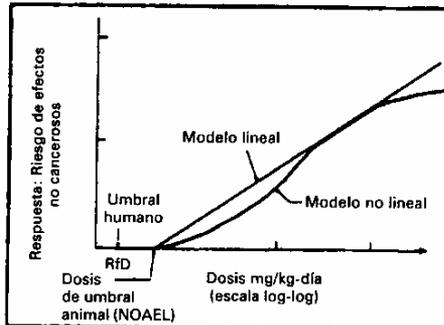


FIGURA 4.2 Curvas de dosis respuesta de umbral-canceroso cero (superior). Curvas de dosis respuesta de umbral no canceroso (inferior).

cáncer es un proceso de etapas múltiples con largos periodos latentes. No se hace distinción alguna entre diferentes tipos de cáncer. El *factor de la pendiente de cáncer* también llamado el *factor de potencia*, es definido por la EPA como "un estimado de límite superior posible de la probabilidad de una respuesta por ingestión por unidad de un químico a lo largo de una vida". Es un estimado conservador de la probabilidad de incremento de que un individuo desarrolle cáncer como resultado de una exposición a lo largo de su vida. Un segundo factor de importancia para los carcinógenos es el peso de evidencia en la que los carcinógenos son clasificados en grupos dependiendo de la calidad y cantidad de los datos que subyacen su designación como carcinógenos humanos potenciales. (Aun cuando sólo una fracción de casi 100 000 químicos de uso comercial han sido probados hasta ahora, la evidencia disponible a la fecha indica que quizá 100, tales como el arsénico, el asbesto, el benceno, y el cloruro de vinilo son carcinógenos humanos demostrados.) En general, las sustancias con factores de pendiente relativamente altos y bajas dosis de referencia tienden a ser asociados con toxicidades más elevadas.

Los efectos de umbral de respuesta, representados por la dosis de referencia (RfD), permiten la existencia de umbrales seguros; o sea, cierta cantidad de una sustancia o dosis es necesaria, abajo de la cual no existen efectos tóxicos observables por virtud de la capacidad natural del cuerpo de reparar y desintoxicar. Un RfD para una sustancia es la ingestión o dosis de la sustancia por la unidad del peso del cuerpo por día que es probable que no represente un riesgo apreciable para las poblaciones humanas, incluyendo grupos sensibles (por ejemplo, niños y ancianos). La EPA define el RfD como "un estimado (con incertidumbre que cubre tal vez un orden de magnitud o mayor) del nivel de exposición diaria de la población humana, incluyendo subpoblaciones sensibles, esto es, que es probable que no tengan un riesgo apreciable de efectos dañinos durante una vida". Las dosis de referencia y las concentraciones de referencia (virtualmente concentraciones seguras de una sustancia en el aire) han sido desarrolladas para varios cientos de químicos, tanto no carcinógenos como carcinógenos (efectos no carcinogénicos de los carcinógenos), pero no para todos. El concepto de umbral fue planteado por vez primera en la Edad Media por Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim-Paracelsus. Su entonces revolucionario punto de vista de que "la dosis por sí sola hace el veneno" sigue siendo axiomático y una parte integral de la toxicología de hoy día.

**Jerarquía de fuentes de datos de toxicidad.** Las principales fuentes de factores de la pendiente de cáncer, unidades de riesgo, dosis de referencia y concentraciones de referencia son

*¿Es segura o insegura la aspirina? Espectro de efectos*

¿Umbral?	Niños menores de 12 años, factor posible en el síndrome de Reye
165 a 325 mg/día (1/2 tableta a 1 tableta)	Mantenimiento preventivo —contra la coagulación sanguínea, ataques cardíacos, y choque (anticoagulante)
650 mg (2 tabletas) dos a cuatro veces/día	Terapéutico —dosis usual para adulto contra el dolor de cabeza y el dolor (analgésico), fiebre (antipirético) y la inflamación (antinflamatorio)
10 000 a 20 000 mg (10 a 20 g)	Tóxico —úlceras pépticas, sangrado, zumbido de oídos (tinitus), daños al hígado y los riñones
20 000 a 40 000 mg (un frasco de alrededor de 100 tabletas)	Dosis fatal (si es ingerida en un periodo corto)

las bases de datos de la EPA. Dados los cambios frecuentes y las actualizaciones en información de toxicidad, la EPA recomienda la siguiente jerarquía de fuentes preferidas:

1. Sistema integrado de información de riesgos (IRIS) de la EPA, base de datos en línea (actualizado mensualmente)
2. Tablas de resumen de evaluación de efectos para la salud (HEAST) de la EPA, copia impresa con datos verificados e interinos (actualizado periódicamente)
3. Oficina de evaluación y criterios ambientales (ECAO) de la EPA, Cincinnati, Ohio (teléfono 513-569-7300)

Otras fuentes de información sobre toxicidad son

- Agencia para el Registro de sustancias tóxicas y enfermedades (ATSDR), perfiles toxicológicos
- Bancos de datos HSDB, RTECS a los que se tiene acceso a través de la Biblioteca Nacional de Medicina (NLM)/TOXNET

La EPA recomienda con firmeza que las evaluaciones de riesgos utilicen valores de toxicidad de las bases de datos precedentes. Sin embargo, hay demasiado en juego y existen debates acalorados en cuanto a la derivación de los factores de toxicidad. (Véase el recuadro intitulado "Extrapolación de ratones a hombres".) La clasificación de cáncer, los factores de la pendiente y las dosis de referencia incorporan una serie de presunciones conservadoras (típicamente dos órdenes de factores de seguridad de magnitud en dosis de referencia) basados en mayor grado en la política, más que en imperativos científicos. En consecuencia, los estimados de riesgos tienden a ser mucho más sensibles a los valores de toxicidad que a otras variables de entrada por su incertidumbre y variabilidad. Se realizan medidas, tanto dentro, como fuera del gobierno para utilizar distribución de factores de exposición para desarrollar un rango de estimados de exposición para los tomadores de decisiones. De igual manera, existe también una necesidad imperiosa de desarrollar distribuciones de factores de toxicidad para algunos de los químicos comunes.

Ejemplo de factores de la pendiente de cáncer/unidades de riesgos y dosis de referencia no cancerosas/concentraciones (de IRIS/HEAST, 1994, de la EPA):

- Los factores de la pendiente (SF) de benceno (carcinógeno) por inhalación y las rutas orales son los mismos,  $2.9E-2$  [ $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ ]; el benceno no tiene ahora una dosis de referencia (RfD) para efectos no cancerosos.
- El factor de la pendiente oral de arsénico (carcinógeno) y unidad de riesgo son  $1.75$  [ $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})^{-1}$ ] y  $5E-5$  ( $\mu\text{g}/\text{L})^{-1}$ ; RfD oral es  $3E-4$   $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})$ .
- El factor de la pendiente de cromo VI (carcinógeno) por inhalación es  $4.2E+1$  [ $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})^{-1}$ ] y RfD por ingestión  $5E-3$   $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})$ . El RfD del cromo III oral es  $1E+0$   $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})$  (el RfD tiene dos a tres órdenes de magnitud más alto que el CrVI).
- Los RfD crónicos y subcrónicos de mercurio elemental y metilmercurio (no carcinógenos) por la ruta oral son los mismos,  $3E-4$   $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})$ , aun cuando el metilmercurio es una forma más tóxica. El RfC de mercurio y metilmercurio por la ruta de inhalación es  $3E-4$   $\text{mg}/\text{m}^3$  aire.

Nota: Unidades de riesgo SF altos y bajos RfD/RfC, indican que las sustancias son relativamente más tóxicas.

## Extrapolación de ratones a hombres Derivación de dosis de referencia y factores de la pendiente

Los datos de toxicidad química se derivan en mayor grado de experimentos en animales en los que los animales, en su mayoría ratones y ratas, son expuestos a concentraciones o dosis cada vez más altas y son observados sus efectos correspondientes. Las respuestas pueden variar grandemente —de efecto no observable, a daños temporales y reversibles a permanentes en los órganos, a incapacidad funcional crónica, a tumores malignos y finalmente, la muerte—. Dosis altas son administradas para compensar el pequeño número de animales, alrededor de 50 por grupo de prueba y la baja sensibilidad estadística de los bioensayos. Las pruebas, aun con ratones y ratas, cuestan cientos de miles a millones de dólares.

Por lo general, los experimentos en animales se realizan en especies sensibles (ratones B6C3F1 y ratas Fischer 344), con químicos sencillos a altas dosis y durante periodos cortos en lugar de exposición de mezclas crónicas de nivel bajo y complejas. Aun cuando no existe un consenso científico, la evidencia biológica y empírica disponible sugiere que las toxicidades observadas en animales de experimentación por lo general tienen aplicación en los humanos con algunas excepciones. Para carcinógenos, la EPA utiliza un modelo linealizado, de etapas múltiples, sin umbral en el que las respuestas a dosis altas son extrapoladas a dosis bajas por una línea recta al origen, o sea, umbral cero a derivar un factor de pendiente de potencia carcinógena.

La dosis de referencia (RfD) y las concentraciones de referencia (RfC) para efectos no carcinógenos o no carcinogénicos de carcinógenos en los humanos se derivan al dividir el nivel de efecto adverso no observado (NOAEL) entre un factor de incertidumbre (UF) y/o un factor de modificación (MF):

$$RfD \text{ o } RfC = \frac{NOAEL}{UF \times MF}$$

Al extrapolar los resultados de experimentos en animales para predecir efectos en humanos, los factores de incertidumbre o de seguridad de 10 a 1000 son usados generalmente para permitir diferencias intraespecies e interespecies en sensibilidades y registrar diferencias en periodos de exposición y rutas de exposición. Si los NOAEL no pueden ser identificados para una sustancia, entonces los RfD se derivan de los niveles de efectos adversos más bajos observados (LOAEL) para que los RfD sean protectores de los efectos que ocurrirían a dosis más altas.

**Clasificaciones de carcinógenos.** Con base en las pruebas realizadas por el Programa de Toxicología Nacional (NTP) del National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) y otros estudios, la EPA clasifica los químicos en los siguientes grupos, de acuerdo con el peso de la evidencia de experimentos en animales, experiencia clínica y estudios epidemiológicos. La International Agency for Research on Cancer (IARC) tiene una clasificación similar (pero no idéntica) utilizada por muchos países.

EPA	IARC	Caracterización
A	1	Carcinógeno humano (evidencia suficiente de capacidad carcinogénica en humanos)
B	2A	Carcinógeno humano probable (B1—evidencia limitada de capacidad carcinogénica en humanos; B2—evidencia suficiente de capacidad carcinogénica en animales con evidencia inadecuada o carente en humanos)
C	2B	Carcinógeno humano posible (evidencia limitada de capacidad carcinogénica en animales y datos inadecuados o carentes en humanos)
D	3	No clasificable en cuanto a su capacidad carcinogénica en humanos (evidencia inadecuada o faltante)
E	4	Evidencia de falta de capacidad carcinogénica para los humanos (sin evidencia de capacidad carcinogénica en estudios adecuados)

El *Draft Revisions to the Guidelines for Carcinogen Risk Assessment* emitido por la EPA en agosto de 1994 propone en lugar de ello tres categorías conocidas, o probables como carcinógenos para los humanos, carcinógenos poco probables para los humanos y los desconocidos en cuanto a su potencial de capacidad carcinogénica desconocida.

**Implicaciones.** La clasificación de un químico como carcinógeno, el factor de pendiente estimado y su agrupación por peso de la evidencia tienen implicaciones enormes tanto para la salud como económicas (como lo ejemplifica la Cláusula Delaney). El concepto de umbral cero, el estimado de riesgo superior y el uso de dosis máxima tolerada (MTD) han sido el tema de muchas controversias.

El umbral cero para efectos carcinógenos significa que umbrales para dosis bajas, por pequeñas que sean, no existen (hasta para los promotores), lo cual parece contradecir la experiencia real en humanos. También, muchos científicos sostienen que las estimaciones de riesgo superiores de la EPA son engañosas en cuanto a que no predicen en realidad el riesgo, sino que sólo son estimados estadísticos de límites superiores de riesgo. Según la EPA, "El verdadero valor del riesgo es desconocido y puede ser tan bajo como cero".

Otro punto de controversia ha sido el uso de MTD, una dosis artificialmente alta que mantiene a los animales apenas vivos; el tamaño de la dosis se considera muy fuera de proporción e irrelevante para la exposición humana. Según Bruce Ames de la Universidad de California en Berkeley, la dosis alta en sí misma, más que el químico, puede dañar tejidos y conducir a divisiones de células crónicas, un factor de riesgo de importancia para el cáncer. Muchos toxicólogos creen que quizá dos terceras partes de carcinógenos clasificados en NTP no serían clasificados como tales si el MTD no fuera usado.

El NTP es reportado como que se aparta del MTD hacia una dosis biológicamente efectiva, también tomando en consideración factores nutricionales (según el Dr. Kenneth Olden, Director de NTP).

**Investigaciones de la OECD sobre la seguridad de químicos  
de altos volúmenes de producción**

Casi 100 000 químicos están en uso comercial a nivel mundial, pero tenemos suficientes datos de toxicidad sobre sólo una pequeña fracción de estos químicos. Aun cuando una decisión del Consejo de la OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), los 24 países miembros, incluyendo Estados Unidos, han emprendido la investigación conjunta de aproximadamente 600 químicos de alta producción y volumen (HPV). Estos químicos son producidos en un país miembro de la OECD en cantidades por encima de las 10 000 toneladas métricas (22 millones de libras) por año, o por encima de las 1 000 toneladas métricas en dos o más países de la OECD. Estos países han aceptado

- Seleccionar los químicos que hay que investigar.
- Recolectar información de fuentes gubernamentales e industriales.
- Completar la información de análisis acordada y establecida (SIDS) para las pruebas.
- Hacer una evaluación inicial de los peligros y riesgos potenciales de cada químico.
- Identificar efectos de prioridades futuras posibles para estos químicos.

Las etapas involucradas en el proceso SIDS son las siguientes:

1. Establecimiento de prioridades basadas en (carencia de) datos fácilmente disponibles —la lista de “trabajo”
2. Asignación de químicos de la lista de trabajo a países patrocinadores potenciales
3. Recolección de datos
4. Revisión de la calidad de los datos, preparación de expedientes SIDS y de planes de pruebas SIDS
5. Circulación de SIDS y planes de pruebas SIDS a todos los países patrocinadores
6. Acuerdo de cooperación sobre planes de pruebas SIDS en la reunión de revisión de SIDS
7. Pruebas SIDS
8. Preparación de recomendaciones para evaluaciones de peligros iniciales basados en SIDS completados por el país patrocinador
9. Cooperación inicial en la evaluación de peligros

Tamizaje de archivos de datos que incluyan

- Identidad del químico y datos físico químicos.
- Fuentes y niveles de exposición, incluyendo volúmenes de producción y tipos de uso.
- Destino y sendas ambientales.
- Datos ecotoxicológicos, incluyendo efectos agudos y crónicos en especies acuáticas y terrestres.
- Datos toxicológicos, incluyendo toxicidades agudas crónicas, genéticas y reproductivas.

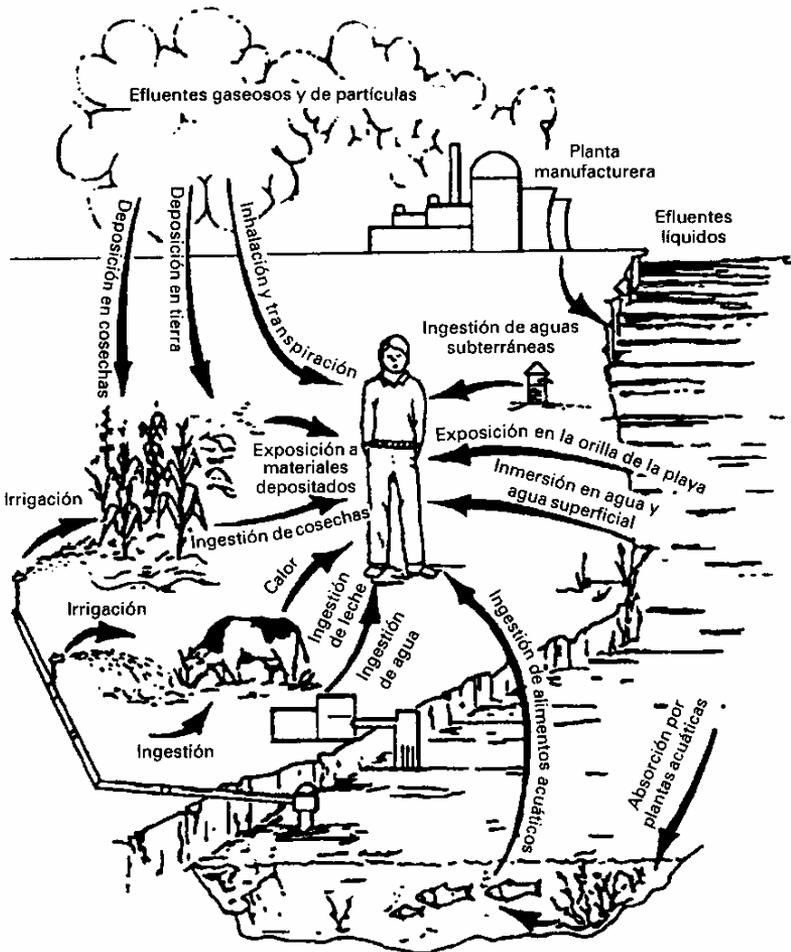
Las industrias químicas y relacionadas norteamericanas a través de la CMA y la EPA, voluntariamente participan en el programa por sus muchos beneficios: (1) los impactos potenciales de químicos comunes en la salud humana y el medio ambiente serán mejor comprendidos y controlados, (2) los costos financieros son compartidos entre las empresas y países y se reduce la duplicación y (3) el uso de animales en pruebas se reduce. Se espera que los SIDS sobre los 600 químicos prioritarios estén disponibles antes del final de la década. Los resultados se harán disponibles a nivel mundial a través del Programa Internacional de Seguridad Química de las Naciones Unidas (IPCS) y el registro internacional de químicos potencialmente tóxicos (IRPTC).

*Fuente:* EPA, CMA.

### 3. Evaluación de exposición

¿Quién está o puede estar en contacto?

La *exposición* es el proceso mediante el cual un organismo entra en contacto con un peligro; la *exposición* o acceso es lo que cubre la brecha entre el peligro y un riesgo. La exposición a contaminantes de fuentes primarias o secundarias (medio ambiental) puede ocurrir mediante la inhalación del aire, ingestión de agua o alimentos, o la absorción a través de la piel vía contacto dérmico o directamente en el caso de radiación. La mayor parte de nosotros estamos expuestos a diversos grados, mediante múltiples vías y rutas (Fig. 4.3). Las fuentes de contaminación, los mecanismos de liberación y características de transporte y transformación, así como la naturaleza, ubicación y patrones de actividad de la población



**FIGURA 4.3** Sendas de exposición múltiple. (National Research Council, "Fronteras en la Evaluación de Exposición Humana", 1991.)

expuesta ("receptores") son aspectos importantes de la evaluación de la exposición. Dada la dificultad para identificar a los receptores, la exposición señala concentraciones, tiempos de exposición, etcétera, la evaluación de exposición con frecuencia es llamada el "talón de Aquiles" de la evaluación de riesgos. Las observaciones en el sitio pueden ilustrar parte de la situación, al igual que conversaciones con los residentes de la localidad, sin causar alarma indebida. (Un caso al punto son las entrevistas de grupo de enfoque realizadas en relación con la exposición al relleno sanitario de Pelham Bay en la ciudad de Nueva York, estudio dirigido por un comité asesor científico a principios de la década de 1990.)

La evaluación de la exposición debe considerar el uso de la tierra actual y futura, incluyendo el posible uso residencial. Como es de esperar, el nivel de limpieza dependerá en parte de si la tierra estará restringida a uso industrial, o sea desarrollada en una propiedad comercial o residencial. Los pasos clave en la evaluación de exposición son la identificación de la población potencialmente receptora, la evaluación de vías y rutas de exposición y la cuantificación de exposiciones.

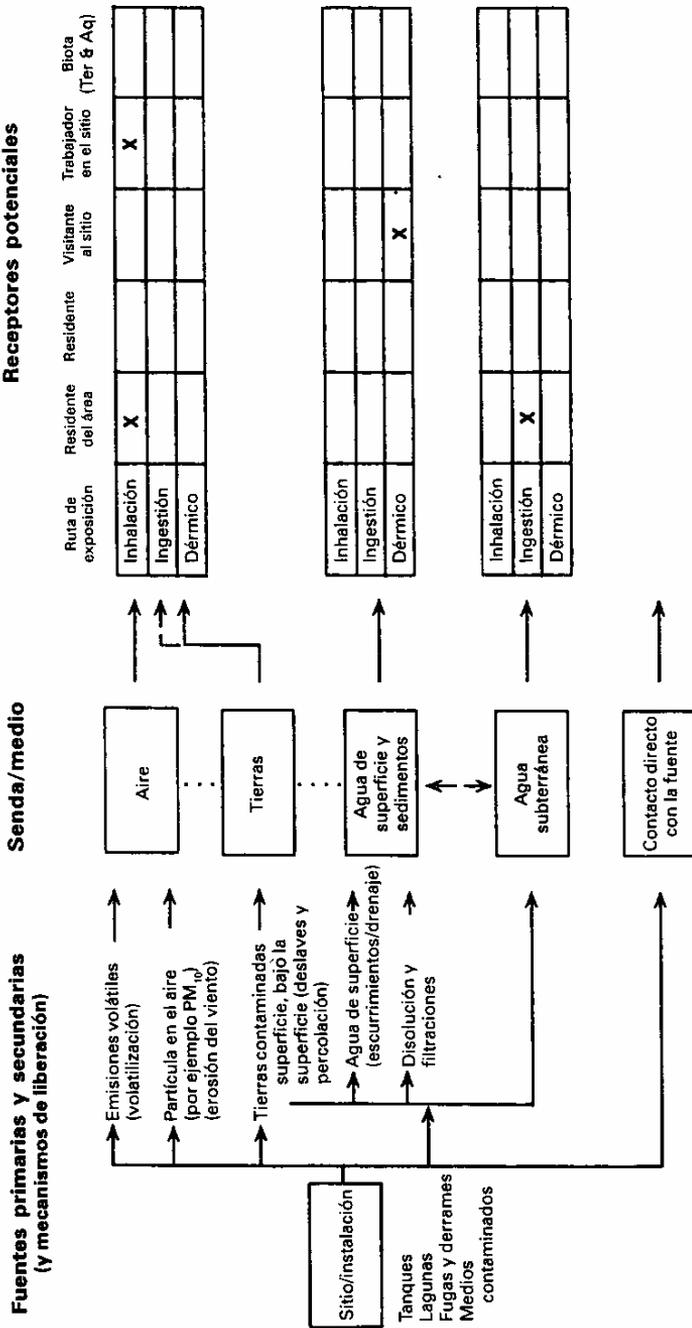
**Establecimiento de la exposición y receptores potenciales.** En este paso, se caracterizan los atributos físicos de un sitio (historia operativa, ubicación, hidrogeología) y la población en, o cerca del sitio. Como en los bienes raíces, la ubicación es la clave. Un mapa del sitio y sus alrededores y las posiciones de receptores potenciales deben incluirse. Las poblaciones que pueden estar en contacto por su ubicación o patrones de actividad incluyen

- Trabajadores en el sitio a largo plazo
- Trabajadores de mantenimiento o construcción temporales en el sitio (exposiciones subcrónicas)
- Visitantes
- Invasores
- Residentes del área
- Visitantes recreativos (incluyendo pescadores en arroyos y ríos cercanos)
- Subpoblaciones o ubicaciones sensibles (por ejemplo, escuelas, hospitales, parques)
- Receptores ecológicos (peces, tierras húmedas, hábitats críticos, especies protegidas)

Podemos utilizar un modelo de exposición conceptual de un sitio como el que aparece en la figura 4.4 como una lista de verificación de la evaluación de receptores y sendas de exposición potenciales y para delinear sendas completas.

**Sendas y rutas de exposición.** Una *senda de exposición* es el curso que un agente peligroso toma desde una fuente hasta un receptor, vía transportadores o medios ambientales, generalmente el aire (compuestos volátiles, partículas en el aire) o agua (compuestos solubles). La *ruta de exposición* es cómo ocurre la transferencia, por ejemplo, por inhalación, ingestión o absorción dérmica en un punto de contacto. El contacto dérmico puede dar como resultado un efecto local en el punto de entrada y/o efectos sistémicos por absorción percutánea, como es el caso de la dermatitis por contacto de cromo y níquel (Fig. 4.5).

Aun cuando es fácil postular una variedad de escenarios de exposición hipotéticos, para que una senda de exposición sea completa, debe consistir de cuatro elementos: (1) una fuente y un mecanismo de liberación (como volatilización, solubilidad en líquidos, deslave de superficie), (2) un medio de transporte para constituyentes liberados (como aire, agua potable), (3) receptores humanos o ambientales y un punto de contacto con medios contaminados y (4) rutas de admisión o captación en el punto de contacto por un receptor (por ejemplo, inhalación, ingestión, absorción dérmica). Sin todos estos enlaces, una senda de exposición sería considerada incompleta y por tanto, que no contribuye al riesgo por esa senda. Las sendas de exposición son identificadas con base en las fuentes de contaminación, liberación y medios de transporte en el contexto de la localidad y las actividades de receptores potenciales.



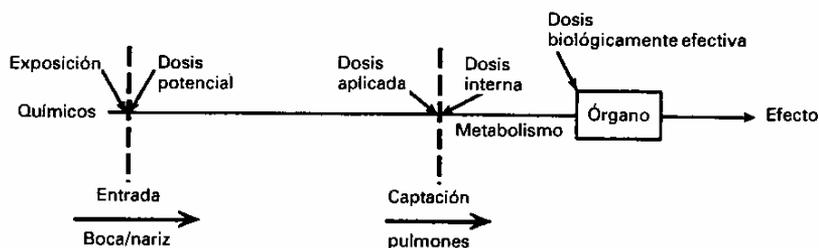
**Notas:**

X Indica senda de exposición potencialmente significativa sólo para propósitos ilustrativos; las otras sendas/rutas son consideradas incompletas o menores para este sitio hipotético. Biota (terrestre y acuática, por ejemplo captación, peces/crustáceos) en ocasiones puede ser una senda de exposición de cadena de alimentos indirecta pero significativa.

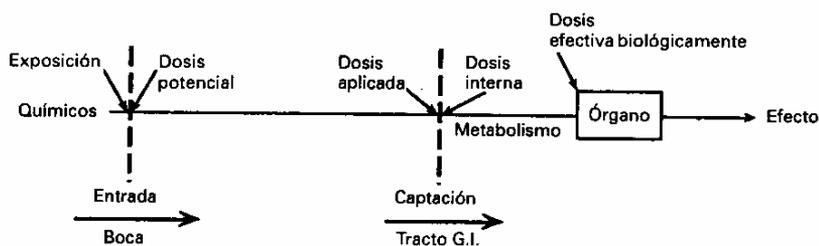
¿Hay una fuente y liberación y medio de transporte a un punto de contacto por un receptor? De no ser así, la senda de exposición es considerada incompleta y no existe riesgo de esta senda.

**FIGURA 4.4** Modelo de exposición conceptual de sitio: fuentes contaminantes, sendas y receptores potenciales.

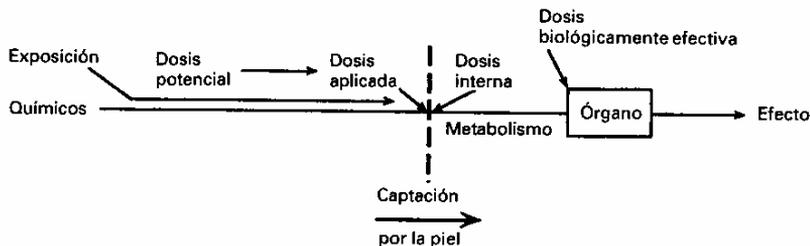
### Ruta respiratoria



### Ruta oral



### Ruta dérmica



Exposición: Contacto de medio con frontera exterior de una persona u organismo, por ejemplo, nariz, boca, piel

Unidades de ejemplo: (Concentración) × (Tiempo) o sea,  $\mu\text{m}^3 \times \text{días de contacto}$

Dosis potencial: Cantidad de químicos contenidos en el aire respirado, material ingerido o aplicado a la piel

Unidades de dosis son masa de químicos (la concentración representa nivel, la dosis representa cantidad)

Dosis aplicada: Cantidad de químicos en contacto con fronteras de absorción primarias —pulmones, tracto gastrointestinal, piel— y cantidad disponible para absorción

Dosis de absorción interna: Cantidad de químicos que penetran a través de la frontera de intercambio o barrera de absorción vía procesos físicos o biológicos

Dosis liberada (Dosis biológicamente efectiva): Cantidad de químicos **disponibles** para interacción con el órgano, tejido o célula en particular

FIGURA 4.5 Esquema de exposición y dosis. (Adaptado por "EPA Guidelines for Exposure Assessment", Federal Register, 29 de mayo de 1992.)

**Destino y transporte contaminante: un problema ignorado.** Con mayor frecuencia que la deseada, las concentraciones de medios evaluados en el sitio son utilizadas directamente como las concentraciones de exposición para receptores potenciales dentro y fuera del sitio ahora y en el futuro. Ésta es una presunción conservadora simplificada (sesgada hacia una sobrestimación del riesgo) y debe ser adecuada para propósitos de tamizaje de riesgos. Sin embargo, ignora la pregunta: ¿En qué medios, en qué forma, en qué concentraciones y en qué ubicaciones es probable que se presenten los contaminantes relacionados con el sitio en este momento y en el futuro con relación a receptores humanos y ecológicos potenciales? Dependiendo del ámbito de la evaluación de riesgos, las concentraciones proyectadas podrían hacer una diferencia importante en la magnitud de los riesgos estimados porque el modelar resultados es menos conservador que las fuentes directas de las concentraciones.

Una vez que los químicos son liberados en el medio ambiente, pueden ser transportados dentro y entre diferentes medios, transformarse en formas más o menos tóxicas y atenuarse o concentrarse por biodegradación o bioacumulación. El transporte y destino de los químicos en el medio ambiente dependen de sus características químicas y físicas y las del medio ambiente. Los siguientes recuadros muestran los procesos clave y parámetros. Los datos de destino y transportación de contaminantes son útiles no sólo para el análisis de exposición, sino para decidir también la necesidad y la naturaleza de los remedios. Ejemplos de modelos y programas de software usados comúnmente para dispersión atmosférica y agua subterránea (zona saturada y poco profunda) y de superficie se presentan en las páginas siguientes (tablas 4.1 y 4.2). Muchos de estos modelos están disponibles, sin cargo, en la EPA. Versiones similares más "amistosas para el usuario" pueden ser adquiridas u obtenidas por licencia de fuentes comerciales. (Un modelo de amplio uso en Canadá es AERIS, o Aid for Evaluating the Redevelopment of Industrial Sites.) Otro software utilizado para análisis de riesgos de la salud, incluyendo estimados probabilísticos con simulaciones Monte Carlo, se verá más adelante en el capítulo.

**Modelado del aire.** Los modelos de dispersión de calidad del aire tales como los mostrados en la tabla 4.1 son útiles en la evaluación de riesgos para estimar el impacto de fuentes peligrosas. Los registros de entrada en el modelo son de tres tipos: emisiones, por meteorología, y por información del receptor. Los datos de emisión consisten tanto de los aspectos físicos de la fuente, como las tasas de emisión masiva. Los datos meteorológicos incluyen dirección del viento, velocidad del mismo, estabilidad atmosférica, temperatura y altura de

### *Procesos de destino y transporte*

**Atmósfera.** Volatilización, dispersión, polvo en el aire, transferencia a otros medios ambientales por viento y precipitación

**Agua de superficie y sedimentos.** Intercambio con agua subterránea, absorción de sedimentos, transferencia a biota

**Tierra y agua subterránea.** Filtración a través de tierras no saturadas, transferencia a agua de superficie por pendiente, transferencia a humanos o biota

**Transporte.** Convección, advección, difusión (en fluidos)

**Físicos.** Volatilización (fase de transferencia), precipitación, dispersión, advección, absorción, por complejidad o por quelato, descomposición radioactiva

**Químicos.** Hidrólisis, reducción-oxidación (redox), fotólisis

**Biológicos.** Biodegradación, biocaptación, bioacumulación

### *Parámetros físico-químicos importantes*

***K<sub>oc</sub>*** Una medida de partición entre carbón orgánico y agua en equilibrio. Cuanto más alto el contenido de carbón en tierras o sedimentos, más probable será que los químicos se ligan a ellos de preferencia en lugar de disolverse en el agua (como metales, PCB).

***K<sub>ow</sub>*** Coeficiente de partición octanol-agua, una medida de partición entre el octanol y el agua en equilibrio. Cuanto más alto el coeficiente, mayor será la tendencia de que un químico se transfiera a octanol (sustituto de lípidos) que permanezca en el agua. *K<sub>ow</sub>* puede utilizarse para predecir bioconcentración en peces y otros organismos (como PCB y algunos pesticidas).

***Solubilidad.*** Límite superior de la solubilidad de un químico en agua a temperatura específica. Los compuestos solubles más altos son transportados con facilidad con agua subterránea o de superficie. Otros, como los solventes orgánicos clorinados e hidrocarburos del petróleo, comprenden líquidos de fase no acuosa o NAPL (los DNAPL son más pesados y se hunden, los LNAPL flotan).

***Presión de vapor.*** La presión ejercida por el vapor de un químico en equilibrio con su forma líquida o sólida a temperatura específica. Cuanto más alta sea la presión del vapor, mayor es la tendencia de que se volatilice y exista en estado gaseoso.

***Constante de la Ley de Henry.*** Una medida de partición entre el aire y el agua en equilibrio. Cuanto más alta la constante, mayor es la probabilidad de que se volatilice a que permanezca en el agua (por ejemplo, BTEX, PCE, TCE).

***Media vida.*** Tiempo para transformar la mitad de la cantidad inicial; puede ir de minutos a años dependiendo de las condiciones ambientales (excepto núclidos). Una medida de la persistencia (por ejemplo, DDT) o potencial de atenuación (muchos hidrocarburos del petróleo ligero).

la mezcla. La información de receptores consiste en la ubicación y utiliza un programa de coordenadas que puede incluir nivel de tierra, así como elevaciones.

Los modelos a largo plazo tales como TOXLT son utilizados para predecir concentraciones a largo plazo en localidades receptoras selectas (con el modelo Industrial Source Complex Long Term o ISCLT) y luego se estimarán riesgos crónicos. Los modelos a corto plazo, tales como TOXST (con tres programas incluyendo ISCST), son utilizados para riesgos de seguridad agudos y para evaluaciones posteriores a un accidente en donde las probabilidades de accidentes, condiciones meteorológicas y ubicaciones receptoras internas o externas son consideradas en conjunto.

Pueden necesitarse modelos especializados, dependiendo de la naturaleza del contaminante y la liberación. Gases, partículas, o condiciones resultantes en los que la liberación sea significativamente más pesada que el aire (liberación de gases densos) influirán en la selección de un modelo apropiado. Ya sea que la liberación sea por una torre de escape o ventilador (fuentes de punto), la evaporación de un tanque de enfriamiento (fuente de área) o emisiones fugitivas que escapan a través de puertas y ventanas (fuente de volumen) también afectarán la selección del modelo.

Muchos modelos de aire usados con frecuencia están disponibles en la EPA (INPUFF está disponible en Trinity Consultants). La oficina de planificación de la calidad del aire y estándares de la EPA en Research Triangle Park, tiene siete tableros de avisos en su Red de Transferencias de Tecnología incluyendo SCRAM, o el Centro de Soporte para Modelos Reguladores del Aire. (Llame al 919/541-5384 si necesita ayuda para tener acceso al sistema.)

**TABLA 4.1** Algunos ejemplos de modelos y software de dispersión atmosférica

Modelo/software	Aplicabilidad	Necesidades de datos	Comentarios
TOXLT	Evaluación de riesgos crónicos para la salud	Emisiones, datos meteorológicos STAR	Usa ISCLT2 para determinar riesgos de cáncer e índices crónicos no cancerígenos; supone que la fuente emite de forma continua durante un largo periodo
SCREEN2	Estimados de concentración a corto plazo (1-hora)	Descripción completa de fuentes	Puede dar estimaciones incluyendo desviaciones de edificio y efectos de terreno; las estimaciones son consideradas cálculos de investigación
TOXST	Riesgo para la seguridad: Impactos de descargas intermitentes de materiales tóxicos	Emisiones y archivo de datos meteorológicos cada hora	Utiliza ISCST2 para estimar concentraciones; la intermitencia es manejada por postprocesador
INPUFF	Riesgos para la seguridad; impactos de descargas de corto plazo (minutos a horas)	Emisiones y datos representativos y detallados de los vientos	Descargas cortas o intermitentes; datos meteorológicos adecuados
DEGADIS	Riesgos para la seguridad y la salud; concentraciones de descargas de gas denso	Meteorología de constituyentes y emisiones	Maneja características especiales de los gases densos

Fuente principal de información de los modelos: Bruce Turner y Richard Schulze de Trinity Consultants.

**Cuantificación de la exposición.** El siguiente paso en el proceso de evaluación de exposición es la cuantificación de la magnitud, frecuencia y duración de la exposición para todas las sendas que son consideradas completas y significativas. Este paso incluye la estimación del punto de exposición de las concentraciones para los químicos preocupantes y cálculos de insumo o dosis. La cuantificación de exposición, insumo, o dosis potencial incluye ecuaciones con tres series de variables: (1) puntos de exposición de concentraciones químicas en medios, (2) tasas de contacto (magnitud, frecuencia, duración), y (3) características biológicas de los receptores (peso del cuerpo, absorción).

Las concentraciones en el punto de exposición se derivan de datos medidos, monitoreados y/o modelados. Idealmente, las concentraciones de exposición deben ser medidas en los puntos de contacto directo entre los medios ambientales y receptores actuales o potenciales. Es posible identificar receptores potenciales y puntos de exposición por observaciones de campo y otro tipo de información. Sin embargo, pocas veces es posible anticipar todos los puntos de exposición potenciales y medir las concentraciones ambientales bajo todas las condiciones. En la práctica, se requiere una gran cantidad de juicio profesional y una combi-

**TABLA 4.2** Ejemplos de modelos y software de agua subterránea, agua de superficie, y transporte multimedia/destino

**Agua subterránea/subsuperficie**

Flujo de agua subterránea en zona saturada y transporte de contaminante

- MODFLOW (USGS)
- MULTIMED (EPA)
- MT3D (Papadopoulos & Assoc.)
- RWALK/RANDOM WALK (Illinois State Water Survey)
- WHPA (EPA)

Flujo y transporte de zona no saturada (badosa)

- MULTIMED (EPA)
- SUMMERS (IGWMC)
- SESOIL (EPA)
- SUTRA (USGS)
- BIOPLUME II (USGS/Rice University)
- CHEMFLO (EPA)
- VLEACH (EPA)

Multifase/fase libre(NAPL)

- MOFAT/MOTRANS (Parker, Environmental Systems & Technologies)

**Fuentes:**

Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory  
USEPA Center for Subsurface Modeling Support  
919 Kerr Research Drive, Ada, Oklahoma 74820  
Teléfono: (405) 436-8656; fax: (405) 436-8718

International Groundwater Modeling Center (IGWMC)  
Colorado School of Mines, Golden, Colorado 80401  
Teléfono: (303) 273-3103 (800/446-9488); fax: (303) 273-3278

**Modelos y software de agua de superficie y multimedia**

- EXAMS II/WASP5: modelos de compartimiento de destino y transporte de contaminante con 1, 2, o 3 dimensiones (EPA/CEAM)
- MULTIMED: muchos modelos para predecir concentraciones en aguas de subsuperficie y de superficie y el aire (EPA/CEAM)
- HSPF10: estimula hidrología de agua derramada y calidad del agua (EPA/CEAM)

**Fuentes:**

USEPA Environmental Research Laboratory  
Center for Exposure Modeling (CEAM) (Dermont Bouchard)  
960 College Station Road, Athens, Georgia 30605  
Teléfono: (706) 546-3549

Battelle Pacific Northwest Laboratory (Yasuo Onishi)  
Richland, Washington 99352  
Teléfono: (509) 376-8302; fax: (509) 376-5368

TABLA 4.3 Factores de exposición EPA por omisión\*

Uso de la tierra	Senda de exposición	Ingestión diaria	Frecuencia de exposición, días/año	Duración de la exposición, años	Peso del cuerpo, kg
Residencial	Ingestión de agua potable	2L (adulto) 1L (menor)	350	30	70 (adulto) 15 (menor)
	Ingestión de tierra y polvo	200 mg (menor) 100 mg (adulto)	350	6 24	15 (menor) 70 (adulto)
	Inhalación de contaminantes	20 m <sup>3</sup> (adulto) 12 m <sup>3</sup> (menor)	350	30	70
Industrial y comercial	Ingestión de agua potable	1L	250	25	70
	Ingestión de tierra y polvo	50 mg	250	25	70
	Inhalación de contaminantes	20 m <sup>3</sup> (día hábil)	250	25	70
Agrícola†	Consumo de productos cultivados en casa	42 g (frutas) 80 g (verduras)	350	30	70
Recreativos	Consumo de pescado atrapado en la localidad	54 g	350	30	70

\* Los factores presentados son aquellos que por regla general deben ser utilizados para evaluar exposiciones asociadas con un uso de la tierra designado. Los datos específicos de un sitio pueden requerir desviaciones de estos valores; sin embargo, el uso de valores alternos deben justificarse y documentarse en el informe de evaluación de riesgos. Las sendas listadas pueden no ser importantes para todos los sitios y otras sendas de exposición pueden necesitar evaluarse en virtud de las condiciones del sitio. Los factores mostrados son para adultos a menos que se especifique lo contrario.

Para exposición dérmica, los factores de absorción o coeficientes de permeabilidad relativos a químicos específicos también serían necesarios. Si la permeabilidad es inferior a  $10^{-1}$  cm/h por agua, o absorción de menos de 10% para la tierra, la ruta dérmica puede no ser importante [EPA Dermal Exposure Assessment, (Evaluación de Exposición Dérmica de la EPA), 1992].

† La ingestión agrícola de agua y tierra y la inhalación de contaminantes son las mismas que las residenciales.

Fuente: EPA Supplemental Guidance (Guía Suplementaria de la EPA), 25 de marzo de 1991 (Directiva OSWER 9285.6-03).

nación de datos de monitoreo y de modelado para estimar las concentraciones de exposición. En cuanto a los índices de exposición y los datos biológicos del receptor, deben utilizarse valores específicos del sitio hasta donde sea posible; de otra forma, los valores conservadores por omisión sugeridos por la EPA pueden ser utilizados (tabla 4.3). *The Exposure Factors Handbook* (EPA, 1990a) también proporciona ecuaciones y un rango de valores para los cálculos de exposición. Las exposiciones pueden ser crónicas (por ejemplo, residenciales) o subcrónicas (trabajadores de mantenimiento). Las definiciones de exposiciones subcrónicas y crónicas varían, pero las subcrónicas generalmente indican de unas cuantas semanas a unos cuantos años o alrededor del 10% de una vida, a diferencia de las crónicas, que incluyen exposiciones durante un periodo importante de la vida de un organismo. Para la evaluación de riesgos de Superfund, las exposiciones que van de 2 semanas a 7 años son consideradas subcrónicas, de más allá de 7 años, crónicas. Es importante hacer esta distinción para efectos no carcinogénicos porque la referencia subcrónica tiende a ser más alta que la crónica, con frecuencia por un orden de magnitud, debido a los periodos de exposición más cortos. (Esta distinción no se hace para efectos carcinogénicos.)

**Jerarquía de datos de exposición: aproximación a una exposición real**

Sustitutos de exposición → localización de la residencia, empleo, datos del censo	Medidas indirectas → punto de exposición de medios concentraciones, modelos y medidas	Dosimetría de monitoreo personal, marcadores biológicos, datos clínicos
--	--	--

**Resultados de evaluación de exposición.** Los resultados del proceso de evaluación de exposición generalmente consisten en dos perfiles promedio de casos de tendencia central y escenario de extremo alto de exposición máxima razonable (RME). La exposición promedio es estimada utilizando condiciones promedio que pueden ser típicas de un individuo con patrones de actividad normales (percentil 50). En sentido lato, la EPA define RME como el percentil de exposición 90 o 95, significando que menos del 5% al 10% de los receptores potenciales puedan exceder la exposición o riesgo RME. El RME se basa en el límite de confianza superior al 95% en el estimado de concentración media aritmética y otros factores que son representativos de exposiciones de alto fin. La intención es identificar un caso de exposición conservador, acumulativamente muy por encima del promedio, que siga estando dentro del rango de exposiciones posibles, en lugar de un escenario absoluto del peor de los casos. Los promedio de RME proporcionan estimaciones de punto, pero también una idea del rango posible de exposiciones de una fuente. Las estimaciones de exposición y riesgo se ilustran en las páginas siguientes. Con el fin de evitar el generar un número abrumador de tablas redundantes, los evaluadores de riesgos deben seleccionar receptores clave en el límite superior de exposiciones tales como un trabajador, residente (adulto y niño), y recreativos y exponer por qué sólo estos escenarios de exposición son cuantificados.

En la literatura de evaluación de riesgos, encontramos referencias a escenarios de "peores casos" y los que tienen una exposición teórica máxima individual (MEI). Esto plantea la pregunta de a quién tratamos de proteger: ¿al "corredor asmático", al "flojo del sofá", o al residente de toda la vida de un relleno sanitario peligroso? Estos conceptos son atractivos por intuición, pero en realidad hacen poco para proteger la salud pública, ya que en realidad no existe algo como un "caso peor" sólo una falta de imaginación. Tampoco existe evidencia creíble de un MEI, un individuo al que se concibe que está en contacto directo con los contaminantes en la "línea de la cerca" durante toda su vida. Al menos en teoría, el MRE es un concepto más defendible, aunque con bastante frecuencia está fuera del rango de exposiciones posibles.

Ejemplo de un resultado de evaluación de exposición (utilizando datos de concentración y receptor):

- La exposición potencial o insumo de benceno vía agua para beber por un residente adulto de gradiente reducido es  $1.2E-3$  mg/(kg·día).
- El insumo potencial de cromo por un trabajador vía inhalación de partícula en el aire ( $PM_{10}$ ) es  $3.4E-8$  mg/(kg·día), y vía la ingestión incidental de tierras de superficie  $2.2E-6$  mg/(kg·día).

#### 4. Caracterización de riesgos

¿Quién se ve afectado y cuáles son los efectos posibles?

En la *caracterización de riesgos*, los resultados de la evaluación de toxicidad (factores de la pendiente, dosis de referencia) y la evaluación de exposición (ingestión estimada o dosis

de la población potencialmente expuesta) se integran para llegar a estimaciones cuantitativas de riesgos de cáncer e índices de peligro. La caracterización de riesgos es un proceso iterativo y es un puente entre la evaluación de riesgos y la administración de riesgos. Según el Consejo Americano de Salud Industrial (AIHC), "la caracterización de riesgos es el proceso iterativo de extraer e integrar información relativa a decisiones sobre evaluaciones de peligro, respuesta a dosis y exposición y volverla comprensible para una diversidad de usuarios". Como Dorothy Patton de la EPA señala, las estimaciones de riesgos deben ser pensadas no como números sencillos, sino como un panorama o mosaico compuesto.

**Riesgos de cáncer.** El riesgo de cáncer es la probabilidad de que un individuo desarrolle cualquier tipo de cáncer por una exposición de toda una vida a peligros carcinogénicos. Para dosis bajas típicas de exposiciones ambientales, el riesgo de cáncer puede ser estimado en una ecuación lineal (pendiente constante) como sigue:

$$\text{Riesgo incremental de cáncer} = \text{dosis diaria promedio, [mg/(kg-día)]} \\ \times \text{factor de la pendiente [mg/(kg-día)}^{-1}]$$

El riesgo incremental de cáncer se expresa en una variedad de anotaciones taquigráficas, por ejemplo, como 0.000003, o  $3 \times 10^{-6}$ , o  $3E-6$  o  $3E-06$  para tres casos adicionales en un millón;  $1E-5$  o  $1 \times 10^{-5}$  por un caso adicional en 100 000, etcétera. Ya que el factor de la pendiente en riesgos de cáncer generalmente representa la probabilidad del percentil 95 de la respuesta basada en datos de animales utilizando un modelo linealizado de multietapas, el riesgo estimado tiende a ser una estimación de límite superior. Según la EPA, "Sin embargo, tal estimación, no necesariamente da una predicción realista del riesgo. El verdadero valor del riesgo es desconocido y puede ser tan bajo como cero. El rango de riesgos, definido por el límite superior dado por el modelo elegido al límite inferior que puede ser tan bajo como cero, debe establecerse explícitamente" (The Risk Assessment Guidelines of 1986, EPA, 1987, p. 1-9). Aun con este reconocimiento de incertidumbre, los estimados del rango de  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  son generalmente considerados como de preocupación regulatoria.

Ejemplo de riesgos de cáncer:

- Riesgo incremental de cáncer de toda una vida para un adulto residente expuesto al benceno en agua para beber es  $3E-5$  (derivado de multiplicar el insumo de benceno promedio durante una vida por un receptor con un factor de pendiente oral de benceno).
- Riesgo acumulativo de cáncer para un menor residente expuesto al benceno, arsénico y otros carcinógenos en agua potable es  $2E-4$  (derivado de la suma de los riesgos de cáncer de las diferentes sendas).

**Peligros no cancerosos.** El potencial de que efectos no cancerosos ocurran, es valuado al comparar la exposición o insumo promedio de sustancias peligrosas con sus dosis de referencia correspondientes (RfD). El RfD [mg/(kg-día)] o concentración de referencia, RfC (mg/m<sup>3</sup> en aire ambiente) es considerado como un umbral seguro para la población en general. (El RfD anteriormente era conocido como *insumo diario aceptable*.) El riesgo no canceroso es expresado en términos de *cociente de peligro* (HQ) para una sola sustancia o *índice de peligro* (HI) para sustancias múltiples y/o sendas de exposición. Éstas son relaciones de exposiciones químicas a dosis de referencia como se muestra a continuación. El índice del nivel de exposición, insumo o dosis al RfD por la misma ruta de exposición (inhalación, vía oral) y el mismo periodo de exposición (crónico, subcrónico) es llamado un *cociente de peligro*:

$$\text{Cociente de peligro (HQ)} = \frac{\text{exposición o insumo [mg/(kg-día)]}}{\text{RfD [mg/(kg-día)]}}$$

Si la exposición o insumo es inferior al RfD correspondiente (HQ inferior a 1), los peligros no son considerados como que plantean una amenaza a la salud pública, incluyendo a subgrupos

sensibles. Si el nivel de exposición de una sustancia excede el RfD correspondiente (si el cociente de peligro excede a 1), puede existir una preocupación por efectos potenciales no cancerosos. En general, cuanto más alto sea el valor del cociente de peligro por encima de 1, mayor es el nivel de preocupación. Sin embargo, el cociente de peligro no representa una probabilidad estadística de que ocurra un efecto.

Como un paso de tamizaje, en ausencia de información sobre los mecanismos sinérgicos y antagonistas, el potencial general de efectos no carcinogénicos de exposiciones simultáneas a químicos y rutas múltiples pueden ser estimados al sumar los cocientes de peligro para esos mismos individuos o subgrupos. La suma resultante es conocida como el *índice de peligro*. Este enfoque supone que las exposiciones subumbrales de varios químicos podrían dar por resultado acumulativamente efectos adversos para la salud. El HI se calcula como sigue:

$$\text{Índice de peligro (HI)} = E_1/\text{RfD}_1 + E_2/\text{RfD}_2 + \dots + E_i/\text{RfD}_i = \sum_i E_i/\text{RfD}_i$$

en donde  $E_i$  = exposición (insumo o dosis promedio) para el  $i$ ésimo intoxicante [mg/(kg·día)]  
 $\text{RfD}_i$  = dosis de referencia para el  $i$ ésimo intoxicante [mg/(kg·día)]

El RfD es crónico o subcrónico para la ruta de exposición específica dependiendo de la duración de la exposición. RfD crónicos y subcrónicos por inhalación y rutas orales pueden encontrarse en IRIS y HEAST de la EPA. Al evaluar exposiciones dérmicas, ya que los RfD no han sido desarrollados para la ruta dérmica, pueden utilizarse los RfD, ajustados por un factor de absorción que represente la diferencia entre la dosis administrada y absorbida (la absorción dérmica, generalmente 0.1% a 1%, es una fracción de la absorción oral, que normalmente se supone debe ser del 90% al 100%).

En donde una población puede estar expuesta a químicos selectos vía sendas múltiples (por ejemplo, inhalación de partículas, ingestión de tierras y contacto dérmico con la tierra), los HI particulares de todas las sendas importantes pueden sumarse para obtener el total HI para esa población. Si la suma de índices es inferior a 1, la exposición acumulada a las sustancias de interés en un sitio son consideradas como poco probables para como resultado un efecto adverso. Si la suma es superior a 1, se requeriría una evaluación más detallada y crítica de los riesgos, incluyendo la consideración de órganos blanco específicos y mecanismos tóxicos. De cualquier forma, debe ejercerse un juicio profesional al combinar riesgos entre sendas porque puede ser físicamente imposible que el mismo receptor esté en ubicaciones distintas y estar expuesto a las concentraciones máximas de todas las fuentes.

Ejemplo de cociente de peligro no canceroso e índice de peligro:

- El cociente de peligro para un residente adulto expuesto a arsénico en agua potable es  $2E-1$  (derivado de dividir el insumo de arsénico vía agua entre dosis de referencia oral de arsénico).
- Índice de peligro acumulado para un trabajador expuesto a cromo y otros químicos de preocupación de todas las sendas y rutas es  $3E-1$  (derivado de la suma de todos los HQ entre las sendas para el mismo receptor).

El análisis hasta ahora ha sido acerca de riesgos para un adulto o un menor en el "extremo alto" de exposiciones que no son representativas de exposiciones de población. Una omisión común en las evaluaciones de riesgos es la ausencia de información de riesgos de la población (cuántos y a qué riesgo), que es imperativa para propósitos de administración de riesgos. Los riesgos a la salud anticipados deben ser estudiados en el contexto de otros estudios de salud pública relacionados con el sitio en el que pudieron haber sido realizados por la Agencia para las sustancias tóxicas y registro de enfermedades (ATSDR) y departamentos de salud estatales, municipales y ciudadanos (DOH).

En suma, las evaluaciones de riesgo deben basarse en el sentido común e incluir estimados de RME (una medida de exposición de límite superior) y un promedio o mediana (una medida de tendencia central) riesgos de cáncer y peligros no cancerosos para individuos y para las poblaciones. Las evaluaciones deben considerar usos de la tierra actuales y futuros y carac-

terizar las fuentes de incertidumbre. La información debe ser presentada de una manera que ayude en la toma de decisiones y administración de riesgos.

**Umbrales de riesgo y umbrales aceptables.** Los riesgos de cáncer tienden a dirigir las políticas regulatorias y acciones de remedio (en parte porque la evaluación de riesgos de cáncer es algo que los asesores en riesgos saben cómo hacerlo). No obstante, no se hace distinción alguna entre los distintos tipos de cáncer, por ejemplo, entre el cáncer de pulmón (casi siempre fatal) y el cáncer de la vesícula (una muerte por cada cinco casos). En términos generales, se esperan 1.2 millones de casos nuevos (excluyendo los casos de cáncer en la piel no melanomas, menos serios) y 538 000 muertes que se esperan en Estados Unidos en 1994 (Sociedad Americana del Cáncer, 1994). El riesgo de toda una vida de contraer algún tipo de cáncer es de una en tres y el riesgo de muerte por cáncer de una en cuatro. Casi la mitad de todos los casos de cáncer terminan en muerte. El riesgo aceptable o tolerable para propósitos regulatorios está en el rango de  $10^{-6}$  (0.000001) a  $10^{-4}$  (0.0001), o sea, un caso adicional en una población de 1 millón a 1 en 10 000 comparado con el riesgo de antecedente de uno en tres o cuatro.

Las exposiciones no cancerosas que se suman para un índice de peligro de 1 o menos son consideradas seguras para la población en general, incluyendo subgrupos sensibles. Los puntos finales no cancerosos no son distinguidos para el índice de peligro. Los umbrales se desarrollan para un efecto crítico causado en la dosis más baja, la suposición sería que este umbral sería protector de reacciones adversas que pudiesen ocurrir a dosis más altas. A diferencia de los factores de la pendiente de cáncer, los RfD son extrapolados a partir de un nivel de dosis. Probablemente más por omisión que por diseño, los riesgos no cancerosos no han recibido el nivel de atención impuesto en los riesgos de cáncer.

Aun cuando se traza una distinción clara entre los efectos de umbral y los de no umbral, la evidencia científica y empírica no apoya tal dicotomía. Por ejemplo, algunas etapas del cáncer (promoción y progresión en oposición a la iniciación) parecen ser el fenómeno de umbral a pesar de umbrales bajos. (Algunos agentes peligrosos, como la radiación ionizante, que actúan tanto como iniciadores, como promotores, son llamados carcinógenos completos.) Entre los efectos no cancerosos, efectos reproductivos y de desarrollo muestran umbrales bajos. Bien puede ser que, para todos los propósitos prácticos, existe un continuo de efectos de umbral y de no de umbral.

Existen contradicciones evidentes en exposiciones aceptables para efectos cancerosos y no cancerosos. Por ejemplo, la dosis oral de referencia de arsénico,  $3E-4$  mg/(kg-día), se traduce en un nivel "seguro" de cerca de  $11 \mu\text{g/L}$  para efectos no cancerosos para un adulto de 70 kg que bebe dos L de agua al día. Por otra parte, en una unidad de riesgo de cáncer de  $5E-5$  ( $\mu\text{g/L}$ )<sup>-1</sup>, el riesgo de cáncer de incremento sería de  $5E-4$  ( $11 \mu\text{g/L} \times 5E-5$ ) apenas dentro del rango de riesgo de cáncer aceptable. Más aún, el nivel federal de contaminante máximo en agua para beber (MCL) de  $50 \mu\text{g/L}$  resultaría en un riesgo de incremento de  $2.5E-3$  (véase también el recuadro intitulado el "El dilema del arsénico").

No es de sorprender que existan también inconsistencias entre los estándares y guías de las diversas agencias federales. Por ejemplo, la Agencia para el registro de sustancias tóxicas y enfermedades (ATSDR) desarrolló niveles de riesgo mínimos (MRL) similares a los RfD de la EPA para algunos químicos. Un MRL es definido como "una estimación de la exposición humana diaria a una sustancia que probablemente no contenga un riesgo apreciable de efectos adversos (no carcinogénicos) durante un periodo de exposición específico". Para citar un ejemplo de las disparidades, el RfD oral de la EPA para el metil de mercurio orgánico e inorgánico (su forma más tóxica) es la misma a  $3E-4$  mg/(kg-día). Los MRL de la ATSDR para formas orgánicas e inorgánicas son de  $2E-3$  y  $4E-5$ , al menos una orden de diferencia de magnitud en niveles aceptables. Yendo un paso más allá, la referencia de concentración por inhalación de mercurio y el nivel mínimo de riesgo de la ATSDR son de  $3E-4$  y  $6E-5$  mg/m<sup>3</sup>, no sólo diferentes, sino considerablemente más abajo que los límites de detección comerciales que señalan las dificultades de su puesta en práctica e imposición obligatoria.

#### 4a. Análisis de incertidumbre y sensibilidad

La incertidumbre es inherente a cada paso del proceso de evaluación de riesgos. Las fuentes de incertidumbre incluyen variabilidad natural, validez del modelo y simple ignorancia

### *El dilema del arsénico*

El arsénico es único de muchas formas, pero su reglamentación es el epítome de la toma de decisiones ambientales bajo requerimientos en conflicto e incertidumbre considerable.

El arsénico tiene una historia larga y llena de colorido y es de considerable interés toxicológico. La toxicidad del arsénico ha sido reconocida durante siglos y ha tenido un curso extenso. Fue el arma de asesinato favorita de Agatha Christie; los franceses lo llamaban "seguro de herencia". La leyenda dice que la muerte de Napoleón pudo haber sido apresurada con arsénico en el papel tapiz de su hogar en Santa Elena en donde estaba exiliado. Los restos de Zachary Taylor, el duodécimo presidente de Estados Unidos, fueron exhumados en 1991 después de 140 años de sospechas de que pudo haber sido envenenado por arsénico (disponible en aquel entonces como veneno para ratas).

El arsénico es un elemento de ocurrencia natural que se distribuye en todo el entorno. Existe un gran número de usos medicinales, agrícolas e industriales para compuestos del arsénico. El arsénico fue utilizado de manera extensa en la medicina (solución de Fowler) para el tratamiento de leucemia, psoriasis y asma y en la formulación de medicamentos antiparasitarios.

La toxicidad del arsénico depende de la valencia, solubilidad y ruta de exposición. Compuestos trivalentes incluyen el trióxido de arsénico, arsenito de sodio y tricloro de arsénico; los compuestos pentavalentes, generalmente menos tóxicos que los trivalentes, son el mentóxido de arsénico, el ácido arsénico y los arsenatos. Existe amplia evidencia de la carcinogenicidad del arsénico en los humanos en términos de cáncer respiratorio y de la piel (clasificados como grupo A). Pero éste es uno de esos químicos raros que demostraron ser vergonzosamente difíciles para inducir el cáncer en estudios en animales.

Basados en un estudio de agua para beber en Taiwan (Tseng y otros, 1977), la EPA propuso el riesgo de unidad oral de  $5E-5$  ( $\mu\text{g/L}$ )<sup>-1</sup>, y se estableció una unidad de riesgo de inhalación basado en riesgos ocupacionales de  $4.3E-3$  ( $\mu\text{g/m}^3$ )<sup>-1</sup>.

Bajo la Ley de Agua Segura para Beber el nivel de contaminante máximo (MCL) está establecido en 0.05 mg/L. La meta MCL no-cero (MCLG) para un carcinógeno (ahora bajo revisión) refleja el probable papel del arsénico como un nutriente esencial. Al MCL de 0.05 mg/L (50 $\mu\text{g/L}$ ), el riesgo carcinogénico sería

$$\begin{aligned} \text{Riesgo incremental de cáncer} &= \text{unidades de contaminante en agua} \times \text{unidad de riesgo} \\ &= (50 \mu\text{g/L}) \times 5E-5 (\mu\text{g/L})^{-1} = 2.5E-3 \end{aligned}$$

Los niveles permisibles en agua para beber bajo diferentes criterios son

$$\text{MCL} = 50 \mu\text{g/L}$$

$$\text{RfD} \approx 11 \mu\text{g/L}$$

$$10^{-5} \text{ riesgo de cáncer} < 1 \mu\text{g/L}$$

Al límite de agua potable, dos o tres personas por millar podrían contraer cáncer, un nivel de riesgo que por lo común no sería aceptable para el público en general. La experiencia real con el arsénico a largo plazo no indica un nivel de riesgo que se aproxime a un nivel tan alto como ese. Sin embargo, tal resultado aparente no debería ser sorprendente a la luz de la amplia distribución del arsénico en la naturaleza, su uso y altos niveles de antecedentes; dificultad técnica y gasto por tratar el arsénico en el agua; los valores de unidad-riesgo altos y las estimaciones de alto límite inherentes en el enfoque EPA; y el valor nutricional del arsénico. En la práctica, el "riesgo objetivo" para la reglamentación del arsénico varía por órdenes de magnitud. En términos generales, parecería razonable derivar los niveles objetivo de limpieza de agua subterránea/para beber, a través de una combinación de MCL, RfD y los niveles de antecedentes locales.

(McKone, 1993). Con el fin de apreciar las limitaciones y el significado de los riesgos estimados, es importante tener cierta comprensión de la naturaleza y magnitud de la incertidumbre. Las fuentes de incertidumbre y sus efectos sobre estimados de exposición y riesgo se describen brevemente a continuación.

**Características del sitio.** Las concentraciones de medios ambientales (aire, tierra, agua) tienden a variar por órdenes de magnitud con el tiempo y en el espacio. Aun cuando las concentraciones de agua subterránea por norma exhiben menos variabilidad, con frecuencia existen diferencias sustanciales entre los distintos acuíferos (bajos, intermedios, profundos). Los datos de concentración de medios en el sitio generalmente se vuelven más representativos de las condiciones actuales conforme el número de muestras se incrementa, siendo el intercambio un creciente nivel de confianza frente al incremento de los costos de las muestras. Ya que el análisis de muestras generalmente se limita a los parámetros de EPA TCL/TAL y cuando los límites de detección no son lo bastante bajos, no todos los constituyentes en el sitio pueden ser identificados. Para compensar la incertidumbre en datos de muestras en el sitio y para incrementar la posibilidad de que exposiciones potenciales sean sobrestimadas más que subestimadas, el límite de confianza superior del 95% (UCL) de la media aritmética o la concentración máxima detectada con frecuencia es utilizada para evaluaciones de exposición. En cualquier caso, las condiciones futuras muy posiblemente difieran del escenario de línea de base presente.

**Evaluaciones de toxicidad.** Los datos de respuesta a dosis toxicológicas se derivan en principio de experimentos en animales en laboratorio. Al extrapolar datos de animales para predecir sus efectos en los humanos, varios factores de incertidumbre y modificantes (factores de seguridad) son utilizados para mostrar las diferencias en especies (inter- e intraespecies), periodos de exposición (agudos o subcrónicos a crónicos), y dosis (alta a baja). Los factores de pendiente de cáncer EPA tienen límites de confianza superior al 95% derivados de un modelo de multietapas linealizado. También, el 100% de la absorción oral y de la biodisponibilidad se suponen por lo general de matrices ambientales. Por norma, sólo una fracción de los metales absorbidos en sedimentos y tierras son absorbidos en el tracto gastrointestinal. Los diversos factores de seguridad y las suposiciones de biodisponibilidad completa muy probablemente sobrestimarán los riesgos. Por otra parte, la exclusión de algunos contaminantes (por ejemplo, plomo) del análisis de riesgos cuantitativo debido a datos de toxicidad inadecuados, pueden conducir a subestimaciones de los riesgos.

**Evaluación de exposiciones.** Esto con frecuencia es llamado el "talón de Aquiles" de la evaluación de riesgos, debido a una incertidumbre sustancial en poblaciones receptoras presentes o futuras acerca de las concentraciones en puntos de exposición, tiempos de exposición y otros parámetros de exposición, así como la dosis absorbida y la biodisponibilidad. Además de la concentración del 95% UCL, los factores de exposición por omisión estándar, ampliamente definidos como los valores del percentil 90 a 95, acumulativamente también tienden a sobrestimar las exposiciones potenciales. Sin embargo, no hay forma de conocer el grado de conservadurismo acumulativo integrado a las estimaciones de punto. Por ejemplo, el uso de valores del percentil 95 para sólo dos parámetros de exposición (por ejemplo, índice de ingestión o absorción y periodo de exposición) resultarían en 99.75% ( $1 - 0.05^2$ ) más que el nivel de confianza del 95% implícito. Por lo general, tampoco se permite una tolerancia para la dilución o degradación de los contaminantes con tiempo y distancia, lo cual se agrega a la posición conservadora. Por otra parte, una atención insuficiente a los productos de transformación más tóxicos (por ejemplo tricloro etileno a cloruro de vinilo) pueden conducir a una subestimación de riesgos futuros.

**Caracterización de riesgos.** Como una simplificación, los riesgos asociados con los distintos contaminantes, sendas y rutas, se supone que son adicionados. En la práctica, los efectos de exposiciones múltiples podrían ser aditivos, sinérgicos o antagonistas. La evaluación de riesgos de línea de base por lo general sólo se enfocan a riesgos relacionados con el sitio,

mientras el público está expuesto a peligros múltiples de tipo químico, físico y biológico vía sendas múltiples; los efectos interactivos y acumulativos son complejos y en extremo difíciles de predecir. En las evaluaciones de riesgos, una suposición implícita es que, en términos generales, de alguna forma se equilibran y una serie de suposiciones conservadoras acerca de una fuente conocida incluyen una política de salud pública prudente.

**Análisis de sensibilidad.** El propósito del análisis de sensibilidad es el de identificar ingresos importantes, por ejemplo, determinar cambios en la respuesta del modelo que resultarían de cambios en parámetros individuales. Típicamente, cada parámetro que influye en las estimaciones de exposición cambia su valor "caso promedio" a un valor bajo y uno alto (por ejemplo,  $\pm 20\%$ ), permaneciendo los demás parámetros en su valor promedio del caso. De esta manera, la sensibilidad de los otros parámetros permanecen en su valor promedio del caso. De esta forma, la sensibilidad de las estimaciones de exposición de cada suposición de parámetro puede ser estimado y se identifican variables importantes. Por ejemplo, ¿qué sucedería si la ingestión de pescado contaminado es el doble de la tasa supuesta de, digamos, 54 g por día o el periodo de exposición fuese el doble de 10 a 20 años? ¿Qué efecto tendría eso en la magnitud y aceptabilidad de riesgo de una fuente? En este caso, los riesgos simplemente se doblarían si todos los valores de ingreso permaneciesen los mismos para la misma ruta por la relación lineal tanto para riesgos cancerosos y no cancerosos en dosis bajas. A la inversa, si la tasa de ingestión, periodo de exposición, concentración, etc., bajaran, abriría una reducción equivalente en el riesgo. En términos generales, las estimaciones de riesgo tienden a ser más sensibles a los valores de toxicidad, o sea, los factores de pendiente y las dosis de referencia, ya que las órdenes de magnitud de factores de seguridad son utilizados en su derivación.

**Estimación de riesgos probabilísticos.** Puede desarrollarse un análisis cuantitativo de incertidumbre y variabilidad, utilizando las simulaciones *Monte Carlo*. Ya que el "caso RME del percentil 95" por lo general incorpora varias suposiciones "altas" o "máximas razonables", es poco probable que sea el "valor real"; o sea, que la probabilidad de que las exposiciones reales sean tan altas es muy inferior al 5%. Para proporcionar una estimación más razonable del rango de exposiciones probables, en lugar de variar los parámetros de entrada uno a la vez, se supone que todos los parámetros son al azar o inciertos y se genera una función de densidad de distribución de probabilidad (PDF) para cada variable. Nuevos programas de cómputo como Crystal Ball y @Risk, que se verán más adelante, ahora pueden desarrollar miles de simulaciones en cuestión de minutos. El programa de cómputo selecciona al azar de cada distribución en cada ocasión que las ecuaciones del modelo son solucionadas y el procedimiento se repita muchas veces. De la distribución de resultados de salida de riesgos de exposición resultante, podemos identificar el valor correspondiente a una probabilidad específica, por ejemplo, percentil 50, percentil 95, o la posibilidad relativa del caso RME. (Véanse las Referencias para documentos sobre análisis de riesgos probabilísticos y Monte Carlo y el capítulo 6 para un estudio de caso.)

**Incertidumbre y variabilidad.** La incertidumbre en las estimaciones de exposición y riesgo puede reducirse al recolectar datos adicionales (o sea, muestras), mejorar la exactitud de la medida, construir modelos más válidos, etcétera. La variabilidad, por otra parte, por lo general no puede reducirse porque es "inherente", o sea, la variabilidad en factores humanos (incluyendo sensibilidades) y fenómenos naturales (tales como condiciones meteorológicas).

## Modelos y software de evaluación de riesgos

Las exposiciones y los riesgos se calculan por norma utilizando hojas de cálculo como las de Excel y Lotus. Tres modelos y programas de software de amplio uso —RISKPRO (General Sciences), Crystal Ball (Decisioneering), y @Risk (Palisade)— se muestran en el recuadro siguiente con una descripción breve.

RISKPRO es un programa de evaluación de riesgos comprensivo con varios módulos individuales para modelar el destino de un contaminante en el aire, la tierra y el agua. Tanto Crystal Ball como @Risk no son costosos (unos cuantos cientos de dólares más sobre los costos de las hojas de cálculo) y sin embargo, son herramientas poderosas para análisis de riesgos probabilísticos y sensibilidad. Son útiles para escenarios "y si" y para analizar decisiones de negocios. Los programas tienen notables capacidades gráficas que deben facilitar también la comunicación de riesgos. (Como todos los modelos, por supuesto, deberán ser utilizados con cautela.)

*Evaluación de riesgos de exposición y para la salud  
Ejemplos de modelos y software*

- Crystal Ball

Programa de predicción y análisis probabilístico de riesgos para usuarios de hojas de cálculo. Al especificar distribuciones de probabilidades para las variables, puede cuantificar e ilustrar gráficamente niveles de incertidumbre/confianza mediante simulaciones Monte Carlo. Herramienta valiosa para desarrollar y evaluar con rapidez varios escenarios de riesgos "y si" y decisiones de negocios. Trabaja dentro de Windows de Microsoft y Microsoft Excel o Lotus 1-2-3.

Decisioneering Inc.  
1380 Lawrence Street  
Denver, Colorado 80204  
Teléfono: (303) 292-2291 (800/289-2550)  
Fax: (303) 534-2118

- @Risk

Programa de análisis de probabilidades de riesgos y predicciones similar a Crystal Ball; puede cuantificar y representar gráficamente los niveles de incertidumbre utilizando simulaciones Monte Carlo. Herramienta versátil para escenarios de riesgos "y si" y decisiones de negocios. Funciona con Lotus 1-2-3 o Microsoft Excel.

Palisade Corporation  
31 Decker Road  
Newfield, New York 14867  
Teléfono: (607) 277-8000 (800/432-7475)  
Fax: (607) 277-8001

- RISKPRO

Software de evaluación de riesgos comprensivo con seis módulos que modelan destino y transportación de químicos en el aire, tierra, agua subterránea y agua de superficie. Se reporta que los procedimientos de estimación de riesgos es congruente con las Guías de Evaluación de Riesgos de la EPA para el Superfund.

General Sciences Corporation (GSC)  
Subsidiary of Science Applications International Corp. (SAIC)  
6100 Chevy Chase Drive  
Lowell, Maryland 20707  
Teléfono: (301) 953-2700  
Fax: (301) 953-1213

*Nota:* Lo anterior se muestra como ejemplos, y no como un apoyo a los mismos.

**Reporte de evaluación de riesgos de línea de base:  
perfil de ejemplo**

**Sumario de resultados y recomendaciones**

**1. Introducción**

- a.* Distribución en instalaciones e historia operativa
- b.* Objetivos y ámbito
- c.* Enfoques y metodología

**2. Contaminantes y áreas de preocupación**

- a.* Revisión y análisis de datos del sitio
- b.* Químicos de interés potencial
- c.* Subáreas o unidades de interés

**3. Evaluación de toxicidad o dosis-respuesta**

- a.* Respuestas cancerosas y no cancerosas
- b.* Datos de toxicidad para químicos de interés

**4. Evaluación de exposición**

- a.* Uso de la tierra y escenarios de exposición
- b.* Sendas de exposición y receptores potenciales
- c.* Cuantificación de exposición

**5. Caracterización de riesgos para la salud**

- a.* Riesgos cancerosos y no cancerosos
- b.* Principales contribuyentes de riesgo
- c.* Riesgos para la población y la salud pública
- d.* Estudios relacionados (por ejemplo, ATSDR, estatales, municipales, de la ciudad DOH)

**6. Estudio de riesgos de seguridad**

- a.* Materiales peligrosos
- b.* Estructuras y condiciones peligrosas

**7. Estudio de riesgos para el bienestar público**

- a.* Restricciones sobre el uso de recursos públicos
- b.* Condiciones molestas (por ejemplo, olores, estética)

**8. Análisis de incertidumbre y sensibilidad**

**9. Metas de administración de riesgos preliminares**

**10. Referencias**

**11. Apéndices**

Mapas, tablas y cifras no incluidas en el texto

*Ejemplo de firmas consultoras  
en evaluaciones de riesgos para la salud en los humanos y ecológicos*

Firmas más especializadas	Firmas ambientales diversificadas
Chem Risk/McLaren Hart	ABB Environmental
Clement/ICF	Brown & Root/NUS/Halliburton
Dynamac	Camp Dresser & McKee (CDM)
EA Engineering, Science and Technology (importancia ecológica)	CH2M Hill
Environ	Dames & Moore
Ecology and Environment	ENSR Consulting and Engineering
Gradient Corp.	ERM Group
Lawler, Matusky & Skelly (importancia ecológica)	Foster Wheeler Environmental
Life Systems	Geraghty & Miller (Heidemij Co.)
Terra	Harding Lawson
Versar, Inc.	International Technology (IT) Corp.
	Law Cos Group
	Montgomery Watson
	Roy F. Weston
	Woodward-Clyde

Esta lista sólo proporciona ejemplos de organizaciones que ofrecen servicios de evaluación de riesgos y no las incluye a todas. La división entre firmas especializadas y diversificadas es un tanto arbitraria y se presenta para indicar su énfasis original y/o que una parte sustancial o total de sus ingresos se deriva de los servicios de evaluación de riesgos. Esta lista no debe ser interpretada como un apoyo comercial.

**EVALUACIÓN DE RIESGOS, CRITERIOS DE LIMPIEZA  
Y OPCIONES DE REMEDIO: LÍNEA DE REFERENCIA,  
LÍNEA DE SEPARACIÓN Y LÍNEA DE FONDO**

Durante las últimas dos décadas, en paralelo con una preocupación creciente relativa a los sitios contaminados, las fuerzas económicas han estado trabajando hacia la rehabilitación y uso renovado de la tierra. Entre estas fuerzas se cuentan una extensa reestructuración corporativa que proporcionó ímpetu para la transferencia de propiedades y el uso renovado de infraestructura existente, la necesidad de restaurar y extender la base impositiva gubernamental local y la necesidad de aliviar la presión de construir en tierras "vírgenes". Aunado a esto está la difundida percepción de que decenas de miles de millones de dólares gastados en la limpieza de sitios resultó ser la inversión ambiental menos efectiva hasta la fecha.

El principal impedimento para rehabilitar la tierra, suponiendo que los permisos necesarios puedan ser obtenidos, sigue siendo una carga financiera. Es comprensible que los bancos estén renuentes a financiar tales proyectos ante el temor de asumir una responsabilidad ilimitada de labores de limpieza futuras y todavía no identificadas. Sin embargo, los cambios esperados en el Superfund y las leyes estatales probablemente revivan los préstamos banca-

rios, en especial para el reciclado de "campos de color café" (tierra que sólo está marginalmente contaminada, como los rellenos sanitarios municipales inactivos) que pueden ser adquiridos a muy bajo precio. Los constructores, incluyendo algunos de Europa, que tienen experiencia considerable en estos asuntos, muestran un interés creciente en reclamar la tierra para usos comerciales como almacenes y centros comerciales.

Sin importar cualquiera sea el uso futuro o la justificación, los sitios contaminados deberían ser limpiados hasta niveles que no representen riesgos indebidos para la salud y responsabilidad para sus ocupantes futuros —industriales, comerciales o residenciales—. Evadimos el espinoso problema de "¿qué tan limpio es limpio?" (porque esto dependería del contexto espacial y temporal, no solamente de "niveles de antecedentes") y en lugar de ello, proponemos cinco enfoques básicos para desarrollar metas de remedio de sitios y niveles de limpieza:

1. Estándares y guías federales y estatales
2. Niveles basados en tecnología o desempeño
3. Análisis de costo-beneficio (valor)
4. Análisis de riesgos
5. Estándares, normas o precedentes de la industria

### **Guías reglamentarias**

Como un primer paso para determinar la necesidad y la extensión de una limpieza, los niveles de contaminación del sitio pueden ser comparados con estándares y guías federales y estatales (tales como estándares de la tierra o MCL de agua potable) que se proponen como una guía general para uso irrestricto en un sitio. Tales estándares y guías pueden estar basados en riesgo, tal vez combinados con una factibilidad económica y técnica. Alternativamente, los criterios de contaminantes inorgánicos pueden corresponder con niveles de antecedentes y con límites de contaminantes orgánicos pueden ser establecidos cercanos, o múltiples de los límites de detección (complicado por el huido cero de química analítica). Estos criterios no reflejan factores de sitio específicos como el uso del sitio y pueden ser aplicados cuando se sabe poco acerca de un sitio. Dada la alta incertidumbre en tales situaciones, las guías tienden a ser conservadoras.

Muchos estados, incluyendo New Jersey, Massachusetts, Pennsylvania y California (y Ontario y Quebec en Canadá), ahora cuentan con estándares o guías de tierra y agua subterránea para uso en el sitio. En Massachusetts, por ejemplo, un nivel de riesgo no significativo puede ser demostrado al comparar la tierra del sitio y las concentraciones de agua subterránea con estándares promulgados o por el método acumulativo convencional. En ocasiones, los estándares de suelo incorporan el impacto modelado de contaminantes del suelo en agua subterránea a través de filtración y percolación además del contacto directo con humanos. Las tierras de superficie también son importantes por su potencial de exposición directa y el drenaje de superficie que podría contaminar los cuerpos de agua de superficie. (Por lo tanto, solubilidades, coeficientes de partición y la biodegradabilidad están entre los factores clave a considerar en decisiones de remedio.)

### **Factibilidad técnica**

Las opciones tecnológicas proporcionan información crucial para decisiones de remedio. Las tecnologías disponibles para el tratamiento y control de contaminantes en un sitio van desde probados, hasta la mejor tecnología disponible demostrada (BAT), tecnología de control máxima alcanzable (MACT), hasta tan bajos como alcanzables razonablemente (ALARA), la mejor técnica disponible que no implica un costo excesivo (BATNEEC), experimental, especulativa, etcétera. Un ejemplo de un estándar basado en desempeño es el de "las cuatro 9" o sea, 99.99% de destrucción de orgánicos en incineradores. Un estándar de desempeño tam-

bién puede ser un límite de emisión o efluente en descarga como límites de aire y descarga de aguas de superficie. Existe una clara preferencia reglamentaria para poner en práctica nuevas tecnologías innovadoras, pero la cuestión de compartir el riesgo de no alcanzar las metas de remedio no se resuelve con facilidad. En consecuencia, la selección de un programa de remedio, ya sea basado en tecnología o en desempeño, es un acto de equilibrio, fuertemente pesado hacia tecnologías de tratamiento y contención que son factibles de poner en práctica de manera oportuna, con un alto grado de confianza en los resultados. Algunas situaciones pueden no ser factibles desde un punto de vista técnico para remediar como bombeo de agua subterránea y tratamiento, si la hidrogeología del sitio muestra fracturas y captura insuficiente (o sea, DNAPL), pueden ser aplicables límites de concentración alternativos.

### Análisis de costo-beneficio (valor)

Inevitablemente, los costos son un factor, implícito o explícito, de costos inmediatos o a largo plazo para la sociedad. Las proyecciones de requerimientos de riesgos y limpieza deberían ser soportables por medios científicos y debería buscarse un equilibrio óptimo entre los riesgos y el costo de la reducción de riesgos. A la luz de la experiencia con instalaciones industriales y sitios de desperdicios peligrosos, parece que 90% a 95% de los riesgos en un sitio pueden reducirse en 10% a 20% de los costos totales potenciales. (Esto debe lograrse primero con costos de transacción mínimos.) Más allá de la limpieza básica, las propiedades pueden transferirse si el vendedor retiene la responsabilidad de contingencias futuras y una porción del precio de venta puede dejarse aparte en un fideicomiso. Como herramienta de decisión, el análisis de costo-beneficio ilustra los beneficios de incremento por unidad de inversión (véase la figura 4.6; también el capítulo 6 para un análisis más detallado).

### Análisis de riesgos

Los análisis de riesgos pueden desempeñar una amplia gama de roles en la toma de decisiones: para identificar riesgos existentes y fuentes importantes (riesgos de línea de base), al asignar

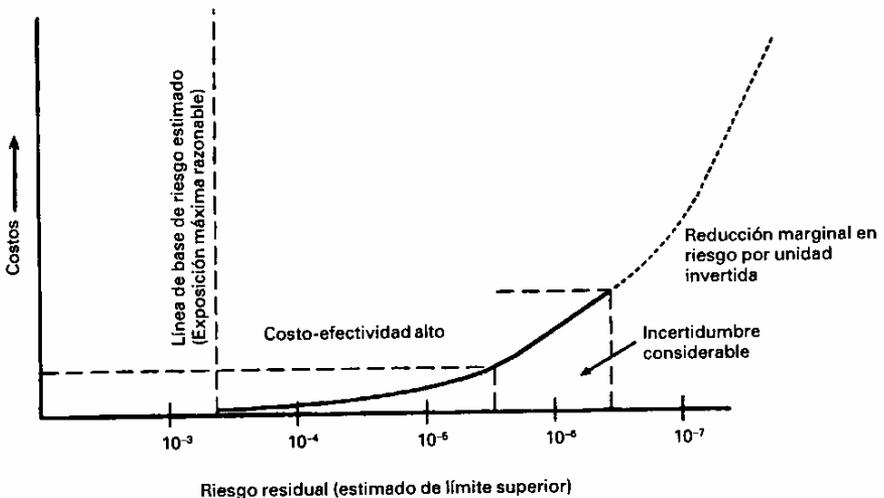


FIGURA 4.6 Reducción de riesgos versus costos: rango de costo-efectividad.

prioridades de riesgo en un sitio y entre distintas ubicaciones, guiar inversiones a áreas de acción sensible y minimizar riesgos del ciclo de vida del producto o de la tecnología. Como ya se mencionó, diversos tipos de análisis de riesgos pueden ser utilizados para identificar, reducir y administrar los riesgos a la salud humana, el medio ambiente y financieros. En el desarrollo de criterios de remedio, las evaluaciones de riesgos (1) permiten el uso de factores específicos del sitio, más que los valores por omisión, (2) proporcionan la base para desarrollar niveles de limpieza o concentraciones de medios basados en riesgos cuando no existen estándares reglamentarios o buscan variaciones de tales estándares y (3) presentan el racional de "no más acción" en algunos casos. En las evaluaciones de riesgos de línea de base, los riesgos se estiman bajo condiciones existentes, en tanto que al derivar concentraciones basadas en riesgos, calculamos hacia atrás las concentraciones de tierra y agua que reúnan un nivel objetivo de riesgos residuales aceptables. (Véanse los ejemplos trabajados hacia el final del capítulo.) Al evaluar alternativas de remedio para Superfund y estudios de factibilidad relativos, los dos criterios de "umbral" son la protección general de la salud humana y el entorno y el cumplimiento de ARAR. Otros criterios incluyen efectividad a largo y corto plazo, reducción de toxicidad, volumen o movilidad, posibilidad de poner en práctica costo y estado y aceptación de la comunidad.

### **Estándares, normas o precedentes de la industria**

Los requerimientos reglamentarios varían con el tipo de industria, tal como la minería. Un análisis de los estándares y prácticas de operación de una industria y su discusión con una asociación de la industria pueden ayudar a expandir la cantidad de opciones de remedio. En ocasiones, una compañía toma la delantera y va a la cabeza de la curva en restauración de un sitio, abatimiento de la contaminación o su prevención (como le hicieron 3M y Monsanto en algunos casos).

### **Modo proactivo**

Aun cuando siempre hay razones para demorar los costos de limpieza, existen algunas ventajas al tomar una pronta acción, en especial si es probable que los sitios terminen en las listas de Superfund o agrupaciones estatales similares. Los beneficios de una acción pronta, tal vez bajo una "renuncia", son ahorros sustanciales en costos de remedio (30% a 50%, ó más), el control sobre la puesta en práctica (flujo de efectivo), y menos una revisión reglamentaria. Un factor de importancia en tales decisiones es si los costos son recuperables de los seguros si las labores de limpieza son "voluntarias" y no impuestas legalmente.

Cualesquiera que sean los métodos o criterios utilizados para desarrollar los niveles de limpieza, estarían fortalecidos si una evaluación de riesgos también muestra que los riesgos para la salud y la seguridad del sitio están dentro de un rango aceptable siguiendo después la acción de remedio o sin que se tome acción adicional. Los recuadros y tablas de las páginas siguientes presentan ideas y sugerencias adicionales. También se presenta un ejemplo innovador de cómo una compañía global, Ciba-Geigy, enfoca el remedio de un sitio CERCLA y RCRA como una unidad de negocios. Idealmente, un programa de remedio debe ser oportuno, efectivo en recursos permanentes (agregar valor a los "comunes" de la sociedad), y dejar riesgos residuales sin importancia, y esperaríamos que se vuelvan redundantes en el futuro.

### **PUNTOS A CONSIDERAR**

---

1. *Planifique para la evaluación de riesgos desde el principio, aun cuando no aparezca en el horizonte.* Con mayor frecuencia que la esperada, las evaluaciones de riesgos resultan ser los pensamientos posteriores que tratan de "reajustar" datos ya recolectados. Para que las evaluaciones de riesgos sean significativas y efectivas, debemos definir los tipos de decisiones, usuarios y usos y objetivos de calidad de datos al principio, con la parti-

***Equipos de remedio con asignación de poder y las "Unidades de Negocios" de Ciba-Geigy***

En enero de 1993, Ciba reorganizó su Departamento de Protección Ambiental de 20 empleados en tres ubicaciones para crear cuatro Equipos de Remedio Regionales para administrar más de 300 millones en costos de remedio en 118 sitios en 38 estados de Estados Unidos. Después de 18 meses de operación, los equipos reciben el crédito por construir una organización efectiva con puntos fuertes para resolver cuestiones tecnológicas y legales difíciles y para controlar costos y programas de proyectos.

En el primer año de operación, el departamento redujo el flujo de efectivo del proyecto en 17 millones de dólares (28% abajo del presupuesto) y los gastos departamentales en 1.5 millones (9% abajo del presupuesto).

La organización de remedio fue desarrollada con un concepto de unidad de negocios en mente. Los equipos están organizados en tres secciones separadas:

1. Externa
2. Técnica
3. Asuntos regionales

La sección de asuntos externos representa el brazo de "mercadotecnia" y tiene la responsabilidad de tratar con agencias "externas" tales como la EPA y comunidades locales. La sección técnica representa a "manufactura e investigación" y proporciona soporte de diseño y construcción. La sección de asuntos regionales representa a la gerencia general y proporciona apoyo administrativo, se comunica con la gerencia superior y proporciona apoyo a las otras dos secciones.

Los gerentes de sección reportan a un patrocinador a nivel director en el sitio. El papel del patrocinador es el de "desempeñarse mediante su trabajo" al asesorar al equipo para adquirir una disposición "independiente", por lo tanto, aplanando la organización. Esta organización ofrece ciertas ventajas sobre el enfoque tradicional de un "gerente de proyecto" único:

Estilo de vanguardia en la administración de riesgos y selección de remedios

Enfoque a clientes con agencias y público

Espíritu de equipo y de solución de problemas creativa y de sinergia

Aplicación de habilidades especializadas en la base apropiada del proyecto

Apoyo a la gerencia

Nivelación de cargas de trabajo

Mayor control sobre exposiciones financieras relativas a sitios CERCLA y RCRA

### *Ahorros en costos a través de evaluaciones de riesgos: fuentes y ejemplos*

- Programa de muestreo coherente con el ámbito del proyecto y evaluación de objetivos de calidad de datos y evaluación de riesgos (humanos y ecológicos), o sea, análisis por la historia del sitio y la localidad, detección de límites por abajo de niveles basados en salud y estándares aplicables (por ejemplo, MCL de agua potable, criterios de calidad del agua). Recolecta toda la información necesaria, ¡pero nada más!
- Medidas y modelaje para reducir el carácter conservador de fuentes y parámetros de exposición, o sea, incorporar proyecciones espaciales y temporales en concentraciones de punto de exposición (grado de sobrestimación de riesgos, apenas proporcionales al grado de incertidumbre en los parámetros de exposición)
- Puntos de cumplimiento que permiten flexibilidad de remedio, por ejemplo, fronteras del sitio frente a la unidad operativa o unidad de frontera de la administración de desechos sólidos
- Acción enfocada en áreas de sensibilidad de exposición y receptores (primero los puntos calientes, luego la regla 90-10)
- Monitoreo por tiempo limitado de la migración potencial de contaminantes en el sitio, utilizando, por ejemplo, pozos centinelas de agua subterránea para proporcionar una pronta advertencia (reduciendo progresivamente el número de datos para análisis y frecuencia, si se justifica)
- Identificación clara de sendas imposibles e incompletas. "Sin exposición-sin riesgo", por ejemplo, agua subterránea en un sitio no utilizado en la actualidad para beber y no ubicado en un acuífero de alto rendimiento que podría soportar aprovisionamiento de agua para el público en el futuro
- Incorporación en planes de trabajo de remedio como escenarios probables para discontinuar el tratamiento, apoyados en estudios de riesgos residuales, o sea, cuando las concentraciones de agua subterránea se nivelan durante un periodo utilizando tecnologías de bombeo y tratamiento
- Administración de riesgos —no concentraciones de químicos individuales
- Enlace de evaluaciones de riesgos y tecnología plausible para desarrollo de objetivos de remedio y niveles de limpieza, o sea, niveles constituyentes más altos que los estándares individuales, pero en general, todavía dentro de límites de riesgos aceptables
- Desde un modo preventivo, examen de riesgos de ciclo de vida asociados con nuevos productos y tecnologías antes de su presentación comercial
- Realización de evaluaciones de sentido común, científicamente defendibles en busca de un orden de impactos de magnitud

Ejemplos de costos y ahorros:

Rango de costo de evaluaciones de riesgos para la salud humana	\$10-100K
Rango de costos de evaluaciones de riesgos ecológicos	\$5-100K
Rango de costos de proyectos de remedios de tamaño mediano	\$5-20M

Con frecuencia los ahorros representan de 5% al 20% de los costos totales de los proyectos de remedio, rindiendo un reembolso atractivo en la inversión en evaluaciones de riesgos enfocadas.

*Administración de riesgos en sitios de residuos peligrosos: cambio del énfasis*

• Fase de estudio prolongada	→ Fases de estudio y de acción estrechamente enlazadas
Preocupación por riesgos de la línea de referencia	Eliminación de fuentes agudas de peligro/primarias y controles institucionales puestos en práctica con rapidez
Evaluación y administración separadas	Análisis de costo/beneficio de incremento, enfoque de paso cuidadoso
• Enfoque en concentración química individual	→ Mezcla constitutiva
Niveles de limpieza genéricos	Cantidad/volumen total
	Administración del riesgo —no concentración
	Factibilidad técnica
	Biorremedio y atenuación natural reforzados donde sea práctico
• Unidad de administración de desperdicios sólidos aislados (SWMU) o unidad de operación (OU) punto de cumplimiento	→ Menos unidades basadas en exposiciones probables y marco de remedio
	Riesgo de frontera del sitio
	Migración fuera del sitio controlada y vigilada con centinelas
• Microrriesgos en el sitio	→ Riesgos macro y en competencia, por ejemplo, descargas de acciones de remedio, ciclo de disposición completo
• Enfoque sólo en la fuente	→ Fuente y escenarios de destino-transportación-receptor
• Riesgo de línea de referencia estático	→ Línea de base dinámica
	Riesgos residuales
• Presunciones conservadoras redundantes	→ Incertidumbre reducida a través de medición y modelado
• Estimaciones en un punto único	→ Análisis en el punto y probabilístico
• Individuo expuesto al máximo	→ Riesgos promedio y de alto extremo para la población
• Riesgos de cáncer	→ Riesgos cancerosos y no cancerosos
	Salud pública, seguridad y bienestar
• Cumplimiento	→ Políticas y preferencias de riesgos corporativos
Responsabilidad a corto plazo	Enfoque técnico bien meditado con aceptación de grupos de interés

**TABLA 4.4** Evaluación y administración de riesgos —sitio industrial: enfoque convencional versus el propuesto

Puntos a considerar	Práctica convencional	Práctica propuesta	Comentarios: efecto en riesgos estimados, costo de remedio y tiempos
Resultados de análisis y detección de límites (DL)	Lista genérica de lo que se va a analizar (por ejemplo, TCL, TAL). Algunos DL más altos que los niveles de referencia basados en la salud dan como resultado no detecciones. Las necesidades de datos ecológicos no considerados de manera adecuada.	Planificar DQO. Desarrolle listas de lo que se va a analizar por historia de operación del sitio. Estratifique el sitio horizontal y verticalmente. Especifique DL inferiores a los niveles de referencia (humanos y ecológicos). ARAR potenciales o límites de cuantificación prácticamente más bajos.	Los DL altos necesitan muestras de repetición costosas/análisis o uso de medio DL para no detecciones, sobrestimando los riesgos sustancialmente cuando la frecuencia de detección sea baja y tanto los DL como las toxicidades sean altos (por ejemplo, benceno, cloruro de vinilo).
Muestras de agua subterránea para busca de metales y orgánicos	Agua subterránea bombeada a altas tasas, perturbando la columna de agua y suspendiendo sólidos asentados; vigilancia de pozos no purgados de manera adecuada. Problemas creados por muestreo de artefactos (falsos positivos!).	Siga SOP de la EPA para recolectar muestras representativas. Utilice tasas de flujo bajas (0.1 a 0.5 L/min) durante la purga y la muestra. Recoja muestras no filtradas para estimar la carga de contaminantes y transportación bajo la superficie. Si se filtran las muestras, utilice filtros en la línea de alta capacidad.	Ingestión de agua subterránea contaminada, escenario residencial presente o futuro, con frecuencia un conductor de riesgo (y un problema de contención). Las muestras de flujo bajo de concentraciones de agua subterránea tienden a ser 1 o 2 órdenes de magnitud inferiores que los flujos elevados, especialmente metales.
"Puntos calientes": Fuentes secundarias o áreas contaminadas con 2 a 4 órdenes de concentraciones de magnitud elevada	Puntos calientes definidos y delineados de manera inadecuada, fundidos con datos de toda el área.	Tome muestras suficientes (especialmente de tierras) para delinear puntos calientes para remedio; trate la información con discreción en evaluaciones de exposición de área específica. Tome muestras de acuíferos de lecho de rocas y sobrecarga. Preserve la información espacial y temporal.	Funda información de puntos calientes con concentraciones de puntos de exposición en sesgo de áreas de baja contaminación y esfuerzos de remedio engañosos. El enlazar puntos calientes con posibilidades de exposición proporciona estimaciones de riesgos más exactas.

<p>Clasificación de datos y selección de químicos de interés (COC)</p>	<p>Medios en el sitio tratados como unidades homogéneas únicas, por ejemplo, sobrecarga poco profunda y acuíferos de lecho de roca profunda como un solo cuerpo de agua. Datos de antecedentes (gradiente superior, corriente arriba, viento arriba) no adecuadamente considerados. Énfasis en concentraciones químicas únicas en lugar de volumen/cantidad total presente.</p>	<p>Clasifique los datos de los medios por localidad en el contexto de exposiciones y remedios, por ejemplo, tierras de superficie/ más profundas, sobrecarga de baja profundidad/acuíferos de lecho rocoso profundos. Investigue rendimiento y zonas de fractura o conexiones hidráulicas. Considere los niveles de antecedentes ¿en materiales de relleno de tierra? ¿Metales? (PAH), así como productos de transformación (por ejemplo, cloruro de vinilo).</p>	<p>Estructuración de los datos como se propone ayuda para delinear riesgos relacionados con el sitio y ofrece un enlace directo con áreas de acción sensible. El enfoque está en acuíferos más profundos con altos rendimientos que pueden servir como fuentes de agua para beber, más que cuerpos de agua en sitios elevados.</p>
<p>Evaluación de exposiciones</p>			
<p>Uso de la tierra presente y futuro Puntos de exposición Puntos de cumplimiento</p>	<p>Máximos de tierras y aguas (y sedimentos) existentes o concentraciones UCL de 95% utilizadas como concentraciones de punto de exposición para escenarios residenciales presentes y futuros.</p>	<p>Considere restricciones de zonificación (¿industrial?) y de uso de la tierra así como el rendimiento de acuíferos subterráneos para futuros escenarios residentes en el sitio y fuera del sitio. Modele el destino y transporte de contaminantes si se considera necesario. Considere los límites de sitio degradante descendente/con el viento como un punto de exposición/punto de cumplimiento.</p>	<p>Suposición de exposición de residentes fuera del sitio o en el sitio directamente para el medio más contaminado en el sitio, exagera los riesgos y podría confundir los esfuerzos de reducción de riesgos.</p>
<p>Parámetros de exposición.</p>	<p>Factores por omisión de la EPA (valores percentiles de 90 a 95) utilizados para estimar una exposición máxima razonable (RME) a un individuo de alta exposición.</p>	<p>Use factores de exposición basados en actividades de la población receptora hasta un grado considerado práctico. Considere exposiciones individuales y de la población de la comunidad.</p>	<p>La incorporación de observaciones de campo en ecuaciones de exposición resultan en estimaciones más significativas para la localidad y la población circundante más que para un individuo hipotético de alta exposición.</p>
<p>Estimados de punto único y probabilísticos</p>	<p>Estimados de punto RME que incorporan una serie de valores variables de alimentación de percentil 90 a 95, ocasionalmente complementados por caso promedio.</p>	<p>Presente RME y estimados probabilísticos (utilizando simulaciones Monte Carlo) dependiendo del ámbito del proyecto</p>	<p>La distribución de probabilidades ilustra un rango de presunciones de exposición y riesgos consecuentes junto con sensibilidades para un panorama más claro.</p>

(Continúa)

**TABLA 4.4** Evaluación y administración de riesgos —sitio industrial: enfoque convencional versus el propuesto (*Continuación*)

Puntos a considerar	Práctica convencional	Práctica propuesta	Comentarios: efecto en riesgos estimados, costo de remedio y tiempos
Evaluación de toxicidad			
Indicadores de toxicidad y datos relativos	Factores de pendiente de cáncer (SF) y dosis de referencia (RfD) utilizados directamente como se aplican, sin ajustes necesarios.	Ajuste para el período de exposición („subcrónico“), absorción y biodisponibilidad.	Una parte sustancial de “riesgo” atribuible a extrapolaciones e incertidumbre (generalmente de 10 a 1 000). El costo de búsqueda de literatura farmacocinética adicional puede justificarse, especialmente en el rango de riesgos “grises”.
Caracterización de riesgos			
Riesgo de cáncer Peligros no cancerosos	Riesgos cancerosos y no cancerosos para distintos agentes peligrosos sumados entre sendas y rutas múltiples.	Distinga receptores („misma persona“), órganos objetivo y mecanismos de acción. Si el índice de peligro es > 1, segregue índices de peligro por tipo o efecto.	Las exposiciones múltiples en el sitio y fuera de él pueden resultar en efectos de adición, sinérgicos o antagónicos; los riesgos estimados pueden así exagerar o subestimar riesgos particulares.
Metales y otros inorgánicos Antecedentes, papel nutritivo, estética	Niveles de antecedentes y protocolos de muestras no considerados de manera adecuada. Factores de la pendiente de cáncer extrapolados de forma arbitraria ruta a ruta.	Verifique niveles de antecedentes, MCL de agua potable y RfD para carcinógenos e intoxicantes sistémicos de ocurrencia común como el arsénico. Considere también las sensibilidades de receptores ecológicos y hábitats.	Los niveles de antecedentes locales, RfD y valor de nutrición son factores importantes para caracterizar los incrementos de riesgo. El nivel del esfuerzo para evaluación de riesgos ecológicos varía ampliamente con la ubicación.
Estimados de punto único y probabilístico; cuantificación de incertidumbre.	Riesgo estimado RME de punto único para individuos de alta exposición en o fuera del sitio.	Caracterice riesgos con descriptores múltiples y rangos para individuos así como poblaciones circundantes.	Las evaluaciones de probabilidades, combinadas con estimados de punto, presentan un rango de riesgos en forma gráfica significativa, junto con un análisis de sensibilidad e información de “y si” para coadyuvar en la toma de decisiones para la administración de riesgos.

<p><b>Metales y otros inorgánicos</b> Antecedentes, papel nutritivo, estética</p>	<p><b>Niveles de antecedentes y protocolos de muestras no consideradas de manera adecuada.</b> Factores de la pendiente de cáncer extrapolados de forma arbitraria ruta a ruta.</p>	<p><b>Verifique niveles de antecedentes, MCL de agua potable y RFD para carcinógenos e intoxicantes sistémicos de ocurrencia común como el arsénico.</b> Considere también las sensibilidades de receptores ecológicos y hábitos.</p>	<p>Los niveles de antecedentes locales, RFD y valor de nutrición son factores importantes para caracterizar los incrementos de riesgo. El nivel del esfuerzo para evaluación de riesgos ecológicos varía ampliamente con la ubicación.</p>
<p>Estimados de punto único y probabilístico; cuantificación de incertidumbre.</p>	<p>Riesgo estimado RME de punto único para individuos de alta exposición en o fuera del sitio.</p>	<p>Caracterice riesgos con descriptores múltiples y rangos para individuos así como poblaciones circundantes.</p>	<p>Las evaluaciones de probabilidades, combinación de estimados de punto, presentan un rango de riesgos en forma gráfica significativa junto con un análisis de sensibilidad e información de "y si" para coadyuvar en la toma de decisiones para la administración de riesgos.</p>
<p>Interface de evaluación de riesgos-administración</p>	<p>Largo periodo entre las fases de evaluación de riesgos y administración, por lo común desmembradas; los datos de riesgos de línea de base son de poco valor para decisiones de remedio.</p>	<p>Empiece a desarrollar opciones de remedio temprano en el proceso de evaluación de riesgos; genere y presente información de riesgos para apoyar las decisiones de administración de riesgos.</p>	<p>Ya que los dos motivos fundamentales para las evaluaciones de riesgos son los de identificar los riesgos de condiciones existentes (escenario sin acción) y ayudar a enfocar en áreas de acción sensible, una mejor integración resultaría en ahorros sustanciales de tiempo y costos.</p>
<p>Reducción de costo y tiempo de riesgos</p>	<p>Investigación prolongada/fase de estudio. 5 a 10 años, seguido de remedio de 4 a 8 años, con frecuencia imponen altos costos y demoras en transacciones alias. Los costos totales van de 10 a 40 millones de dólares para un sitio peligroso grande.</p>	<p>Adapte un enfoque de observación de pasos cuidadosos en los que una evaluación de riesgos rápida viene seguida de la eliminación y otras medidas de remedio interinas que pueden reducir los riesgos en un 80% a 90% en 2 a 3 años a un costo de quizá 2 a 3 millones de dólares. Una nueva línea de base dinámica proporciona el punto de comparación para una evaluación más comprensiva para identificar los riesgos residuales y las acciones de remedio.</p>	<p>En el marco propuesto de iniciativas de salubridad pública, los riesgos en un sitio pueden reducirse a una fracción del tiempo y costo —con frecuencia de un orden de magnitud inferior a las prácticas convencionales.</p>

Remedio del sitio/administración de riesgos

cipación del patrocinador del proyecto, consultor, la EPA, y las agencias estatales (y representantes de la comunidad, si es el caso). Si se requieren técnicas analíticas especiales para obtener la información necesaria (por ejemplo, componentes totales de hidrocarburos del petróleo), deben establecerse en los DQO.

2. *Tenga cuidado con los resultados del enfoque de "recetas de cocina".* ¿Son reales los riesgos o se deben a suposiciones y la metodología? La aritmética de riesgos de libros de cocina es engañosamente sencilla. En la práctica, los resultados de evaluación de riesgos dependen más de lo que es desconocido que de lo que es conocido. Considere el intercambio entre el costo de reducir el grado de incertidumbre y refinar estimaciones de riesgos frente a ahorros potenciales. El uso de parámetros de fuente y receptor específicos podría establecer dos o más órdenes de diferencia de magnitud en estimaciones de riesgos, especialmente importantes en el área gris de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$ . En este sentido, algunos puntos que debemos tener en mente son:
  - a. ¿Cuáles son los principales contribuyentes al riesgo? ¿Cuáles son las variables (ingresos) a los que las estimaciones de riesgo son más sensibles? Por ejemplo, ¿son adecuados los datos de tierra y agua subterránea para delinear las fuentes y áreas de preocupación con confianza? El costo de muestras adicionales que permitirían análisis estadísticos pueden ser más que compensados al señalar con precisión y limitar áreas que requerirían limpieza. El modelado de aguas subterráneas utilizando factores de sitio podrían reducir varias veces la estimación del riesgo, tal vez en un orden de magnitud. En el caso del aire, mediciones fáciles de desarrollar pueden proporcionar concentraciones de aire cuatro o cinco veces por abajo de los valores modelados. ¿Es necesaria la medición y se justifica su costo?
  - b. Seleccione los indicadores químicos concernientes con prudencia y documente las suposiciones clave. Considere la química específica del sitio. ¿Están relacionados los químicos con el sitio? ¿Existe una "huella dactilar" que enlace los constituyentes con operaciones anteriores o actuales? ¿Cuál es la elevación del sitio? ¿Cuáles han sido los niveles anteriores, en especial de los metales? ¿Han sido los datos del sitio debidamente estudiados y validados? Para evaluar, por ejemplo, si los químicos en la atmósfera fuera del sitio se relacionan con el mismo, podríamos utilizar una variedad de técnicas: identificación de lo que se emite en el sitio (utilizando cámaras de flujo de aislamiento de emisiones, etcétera) análisis de índices (por ejemplo, índice de benceno con metano) en el sitio versus a fuera del sitio, modelando con datos del sitio, análisis estadísticos para determinar si existe una diferencia significativa entre concentraciones viento arriba o viento abajo, uso de traceadores, etc. También podrían utilizarse técnicas similares para el agua. Si las concentraciones de contaminantes decrecen entre pozos corriente arriba y corriente abajo, esto sugiere recursos fuera del sitio.
  - c. Estime las concentraciones de exposición en puntos de exposición plausibles. ¿Están completas las sendas? ¿El escenario futuro es de uso residencial e irrestricto? ¿Están los riesgos de sendas existentes claramente distinguidas de exposiciones futuras potenciales (por ejemplo, residentes infantiles)? ¿La información sobre distribuciones parcial y temporal de peligros se retiene y utiliza para proporcionar enlaces con la fase de remedio? La concentración más alta detectada en tierra, agua subterránea, agua de superficie y aire no debe escogerse automáticamente para valores de exposición. Un contaminante a 6 pies bajo la superficie, por ejemplo, no sería significativo para inhalación y contacto dérmico, pero sería importante para el agua subterránea si fuese soluble inmóvil. (También, si la superficie de un sitio está cubierta de asfalto, las muestras de la tierra deben ser tomadas varias pulgadas bajo el pavimento para evitar resultados de contaminación PAH confusos.) No combine datos de "puntos calientes" en concentraciones promedio de todo el sitio. El propósito de la evaluación de sitios es tanto para excluir contaminantes y subáreas de consideración adicional, como para incluirlos. En el caso de una ruta de agua subterránea, si el acuífero bajo está contaminado, ¿es ahora, o puede llegar a utilizarse para beberla? ¿El rendimiento del acuífero es suficiente para que se convierta en una fuente de aprovisionamiento de agua potable? ¿Es probable que el comportamiento

del receptor pueda cambiar? ¿Permite la zonificación un uso irrestricto en un área industrial? ¿Existe una cerca alta y de seguridad en el sitio que haga imposible una exposición oral de los niños? Estas preguntas son útiles para determinar si una senda es completa y contribuye al riesgo ahora o en el futuro.

- d. ¿Cuál es el valor de exposición —concentración media o dosis interna—? ¿Se hacen ajustes al calcular el insumo para reflejar absorción y biodisponibilidad? ¿Los datos de toxicidad, por ejemplo, factores de pendiente y dosis de referencia, para los químicos de preocupación están escogidos basados en dosis administrada o dosis absorbida? Los valores de exposición por omisión generalmente suponen que el 100% del contaminante en el ambiente se absorbe y está disponible vía inhalación y rutas orales. Esto podría ser especialmente significativo para rutas por inhalación y dérmicas, las últimas extrapoladas de la oral. Los datos farmacocinéticos, con frecuencia disponibles en la literatura para compuestos individuales, pueden hacer una diferencia doble o triple en estimaciones de riesgos y el resultado es su contribución al riesgo frente al requerimiento de tiempo adicional para refinar las estimaciones.
  - e. Confirme la capacidad de adición de diversos riesgos al hacer estimaciones de riesgos. Si un peligro acumulado se señala de sendas múltiples y sus rutas suman más de uno, los mecanismos de toxicidad y los órganos objetivo afectados deben examinarse antes de decidir que el riesgo no canceroso excede umbrales aceptables.
3. *Expresé los riesgos individuales y los de la población.* Las evaluaciones de riesgos, debido a incertidumbres metodológicas, hacen énfasis en individuos de exposición de extremo elevado, no representativos de las exposiciones de la población. La información de riesgos sobre la población (cuántas personas expuestas a qué niveles) proporciona una base más significativa para las decisiones de administración de riesgos. Considere el costo de oportunidad de sobrestimar el riesgo frente a una subestimación de riesgos existentes o residuales.
  4. *Para remediar un sitio, el costo de la fase de estudio inicial por lo general no debe exceder el 15% del costo total del proyecto.* El equipo del proyecto debe ser dirigido por un “especialista generalizado” que tenga una perspectiva global. A pesar del “taller de un solo paso” y afirmaciones de capacidad integradas, muchas firmas de consultoría e ingeniería ambiental se han convertido en organismos orientados hacia la disciplina y los procedimientos (como la práctica médica), que tiende a apartarse del objetivo final de la acción de remedio y la mitigación del riesgo. Las preguntas clave son: ¿Reducirán los estudios adicionales, las muestras y los datos la incertidumbre en, o los costos de, la selección de remedio, diseño, o puesta en práctica? ¿Hará alguna diferencia en los requerimientos del programa posterior al remedio?
  5. *Para decisiones de remedio, considere las ventajas del método de observación al “aprender al avanzar” comparado con el tradicional método secuencial de “estudiar-diseñar-construir”.* El proceso de remedio de un sitio de desechos peligrosos es invariablemente afectado por un alto grado de incertidumbre por factores de complejidad de la subsuperficie y otros relacionados. El valor marginal de estudios adicionales declina rápidamente. El método convencional de hacer frente a la incertidumbre es el de basar el diseño más en factores de seguridad excesivos o en condiciones “promedio”. El primero es un desperdicio; el segundo podría ser peligroso. En el método de observación de “aprender al avanzar” o experimental, el proceso de remedio se inicia con el uso de datos del sitio para construir un modelo conceptual basado en condiciones probables y desviaciones razonables (escenarios alternativos), aunado a planes de contingencia preestablecidos para responder a estas desviaciones. Este método en realidad no reduce la incertidumbre, pero permite a los científicos e ingenieros adentrarse en la fase de puesta en práctica mejor preparados para responder a las incertidumbres conforme se descubren (Wallace y Lincoln, 1989).
  6. *Si los contaminantes son de baja toxicidad o de bajas concentraciones y biodegradables o inmóviles, considere una contención en el sitio y materiales de desperdicio.* Después de que la fuente de contaminación se discontinúa o retira y cualquier producto en fase libre (por ejemplo, aceites flotantes) se recobran, la opción de contención hace sentido por al

- menos tres razones: (1) la migración fuera del sitio puede ser vigilada y controlada mediante pozos "centinelas", degradación del contaminante u otras señales de advertencia tempranas, (2) excavación y manejo (o bombeo y tratamiento) y la transportación crean sus propios riesgos concomitantes o en "competencia" en y fuera del sitio y con frecuencia simplemente los trasplantan a un sitio distinto, y (3) la oposición pública a la construcción y operación de incineradores y rellenos sanitarios hace esta opción más viable conforme nos apartamos del síndrome NIMBY al de BANANA (no construir nada absolutamente cerca de nadie).
7. *Establezca metas en términos de riesgos para la salud y el medio ambiente más que en niveles de contaminantes o medios específicos de logro.* Administre los riesgos, no la concentración. Incluya metas de administración de riesgos preliminares en el informe de evaluación de riesgos. Los límites para contaminantes específicos (más que una mezcla) y los métodos o medios que se vayan a utilizar (por ejemplo, BAT, MACT) son más fáciles de aplicar para las agencias reglamentarias, pero tienden a reprimir la innovación e incrementan costos. En decisiones de remedio, con frecuencia nos preocupamos por las concentraciones de contaminantes, perdiendo de vista el hecho de que es el riesgo lo que nos preocupa. Necesitamos hacer énfasis en combinaciones de alta concentración o de alta exposición más que en los promedios de manera que, por ejemplo, todo un sitio no necesita excavar y deben tratarse o transportarse volúmenes excesivos. También, si se trata de un programa de remedio, tales como bombeo de agua subterránea y tratamiento para retirar volátiles orgánicos, llegan a límites técnicos (relación asintótica), puede requerirse una revisión de los riesgos residuales. El paso de caracterización de riesgo debe proporcionar la dirección y marco general para las decisiones de administración de riesgos. Al proponer una acción de remedio o un nivel de limpieza a una agencia reglamentaria, tenga en mente que la acción propuesta (a) debe ser defendible científicamente, (b) está apoyada por el gerente de proyecto involucrado y otros en la agencia, (c) será defendible desde una perspectiva pública y (d) puede sentar un precedente. (Si no se propone acción adicional, asegúrese de que al menos pase la prueba de "reírse" o "sonrojarse".)
  8. *Enlace los riesgos de línea de referencia con alternativas de acción de remedio y la fase de administración de riesgo.* Las evaluaciones de riesgo de línea de referencia o de base elaboradas se desarrollan (y los presupuestos se agotan) durante la fase de investigación, pero por lo general poco de esto se traduce en decisiones de remedio porque los datos se vuelven demasiado viejos, están mal presentados o son irrelevantes. El propósito del Plan de Contingencias Nacional (NCP) consiste en utilizar la información de línea de referencia para evaluar si es necesario una acción adicional y de ser así, confirmar la reducción del riesgo y otros resultados de alternativas de remedio. En el mejor de los casos, sólo se han desarrollado estudios de riesgos cualitativos superficiales en esta etapa, en parte porque no se establecen presupuestos específicos para las evaluaciones de riesgos en la fase de estudio de viabilidad y diseño de remedios. Claramente, ésta es una fase que podría beneficiarse con una guía reglamentaria adicional.
  9. *Considere evaluaciones de riesgos de probabilidades en adición a los estimados de punto.* Expresé la exposición y el riesgo como un rango con límites de confianza. Haga que las evaluaciones de riesgos se revisen al mismo nivel por partes dignas de confianza. Aun cuando la EPA establece que "el verdadero valor del riesgo es desconocido. . .", los riesgos de estimación en el punto basados en valores de percentil 95 generalmente se perciben como "riesgos verdaderos". Como se vio antes, una serie de presunciones del percentil 95 en realidad distorsionan las predicciones de riesgos. La "posición de omisión" típica en las evaluaciones de riesgos es la de expresar riesgos individuales como estimados de uno o dos puntos, cayendo en el lado conservador. Tales estimados podrían tener un impacto costoso en los programas de remedio porque los costos de limpieza tienden a incrementarse exponencialmente conforme nos acercamos a niveles de contaminantes residuales en el rango de partes por miles de millones o riesgos residuales en el orden de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$ .

La publicación reciente del *Exposure Factors Sourcebook* del Consejo Norteamericano sobre la Salud Industrial (AIHC, 1994), la actualización vigente y la expansión del 1990

*Exposure Factors Handbook* de la EPA y el advenimiento de programas de software poco costosos pero muy poderosos dan mayor ímpetu hacia el incremento de los análisis de probabilidades. Dado que las probabilidades son fundamentales para el concepto de riesgo, el estado de evaluación de riesgos puede adelantarse más por el desarrollo de distribuciones de probabilidades para toxicidades, ya que los riesgos estimados tienden a ser más sensibles a estas variables de insumo. Un posible punto en contra de los análisis de riesgos de probabilidades podría ser que lleguen a complicar el proceso de toma de decisiones al proporcionar más información que los estimados de un solo punto sobre los cuales se han tomado decisiones de "pasar-reprobar".

## **RIESGOS ESTIMADOS Y APLICACIONES: EJEMPLOS PROBADOS**

---

Las páginas siguientes muestran ilustraciones y casos pequeños sencillos sobre los temas listados:

- Ecuaciones generales
- Clasificación cualitativa: selección de químicos concernientes
- Cálculo del término de concentración
- Riesgos de beber agua contaminada
- Contaminación de hidrocarburos del petróleo
- Niveles de limpieza, metas de remedio preliminares, y concentraciones basadas en riesgos
- Dosis administrada (aplicada) y ajustes en dosis absorbida (internas)
- Riesgos y administración de ingestión de pescado: un minicaso de estudio
- Exposiciones indirectas a emisiones por combustión y riesgos para la salud
- Riesgos de unidades de cáncer y riesgos agregados para la población
- Unidad de riesgo y factores de pendiente (factores de potencia de cáncer)
- Radiación, radionúclidos, desperdicios mixtos y NESHAP

### **Ecuaciones generales**

Ecuación general para riesgos:

Concentración de medio × factores de exposición × factores biológicos × toxicidad

- Riesgo incremental de cáncer (carcinógenos/efectos de cáncer):

Dosis diaria promedio o ingestión diaria crónica × factor de pendiente = ADD × SF  
(de evaluación de la exposición) (de IRIS o HEAST)

- Cociente de peligro (efectos no cancerosos):

$$HQ = \frac{\text{insumo o exposición}}{\text{dosis de referencia}} = \frac{E(\text{de evaluación de la exposición})}{RfD(\text{de IRIS o HEAST})}$$

- Índice de peligro (efectos no cancerosos):

$$HI = \sum HQ$$

- Ecuación general para exposición, ingestión o dosis potencial:

$$\text{Ingestión promedio [mg / (kg \cdot \text{día})]} = C \times \frac{CR \times EF}{BW} \times \frac{ED}{AT}$$

En donde  $C$  = químico o concentración de contaminante en el medio (por ejemplo, agua, tierra, aire en mg/L, mg/kg, mg/m<sup>3</sup>, etc.)

$CR$  = índice de contacto por unidad de tiempo o evento, L/día, mg/día

$EF$  = frecuencia de exposición, días/año

$ED$  = duración de la exposición, años

$BW$  = peso del cuerpo, kg

$AT$  = promedio de tiempo, días (DE  $\times$  365 días/año para efectos no carcinogénicos; 70 años  $\times$  365 días/año para efectos carcinogénicos)

### Tamizaje cualitativo: selección de químicos de preocupación potencial (COC)-ilustración

Concentraciones de contaminantes hipotéticas en muestras de agua subterránea [ $\mu\text{g/L}$  (ppb)].

Constituyente	Frecuencia de detección	Rango del detectado	¿COC?	Comentarios
Acetona	1/10	ND-10	No	En blanco/Contaminante del laboratorio
Benceno	5/10	2-20	Sí	
Tricloroetileno	7/10	4-650	Sí	
Cloruro de vinilo	2/10	2-20	Sí	
Arsénico	6/10	20-150	Sí	
Bario	4/10	210-650	No	<< MCL = 2 000
Calcio	8/10	1 000-7 000	No	Nutriente/RDA
Cromo (total)	2/10	4-10	No	<< MCL = 100, antecedente local

El benceno, el tricloroetileno, el cloruro de vinilo, y el arsénico quedan así seleccionados como químicos de interés en aguas subterráneas y acarreados por una evaluación de riesgos cuantitativa porque se ha determinado que el agua subterránea es una senda de exposición potencialmente completa en este contexto. Sólo ocho constituyentes de agua subterránea se muestran en este ejemplo, en la práctica, la lista de lo que se puede encontrar en el análisis consiste de más de cien, incluyendo compuestos volátiles orgánicos (VOC), compuestos semivolátiles, inorgánicos/metales y pesticidas/PCB (incluidos en la Lista de Compuestos Objetivo de la EPA o TCL y Lista de componentes objetivo de anaes TAL). En una tabla de estudio como ésta, por lo general es una buena idea el incluir también una columna de niveles de antecedentes locales para comparar con las concentraciones en el sitio.

### Riesgos de beber agua contaminada

**EJEMPLO 1** *Riesgo de cáncer de un carcinógeno en agua para beber. Un residente es expuesto a 10  $\mu\text{g/L}$  (ppmm) de tricloroetileno (TCE) en agua. ¿Cuál es el exceso de riesgo de cáncer? ¿Es seguro?*

***Cálculo del término de concentración para exposición e insumo:  
suposiciones de distribución normal y lognormal***

La concentración de un contaminante es un punto de información clave para las evaluaciones de riesgos. Las evaluaciones de riesgo tipo Superfund ahora requieren dos estimaciones de exposición: (1) promedio y (2) exposición máxima razonable (RME) que representan el límite superior de exposición o insumo. Dada la incertidumbre incluida en las estimaciones de concentración de exposición, la EPA recomienda el RME, el límite de confianza superior del 95% (UCL) sobre la media aritmética, o sea, un valor que sea igual o que exceda la mediana verdadera de 95% en el tiempo (y no debe confundirse con el percentil 95 de datos de concentración del sitio). (Para el escenario promedio, consulte con la región EPA en particular sobre el uso de promedio aritmético o geométrico.) La fórmula para calcular la UCL depende de si la distribución subyacente de los datos es normal o logarítmica normal (la más común).

$$\text{UCL para distribución lognormal} = e(\bar{x} + 5s2 + sH / \sqrt{n-1})$$

$$\text{UCL para distribución normal} = \bar{x} + t(s / \sqrt{n})$$

en donde  $e$  = constante (base del logaritmo natural, igual a 2.718)

$x$  = media de los datos (datos transformados en el caso de lognormal)

$s$  = desviación estándar de los datos (datos transformados en el caso de lognormal)

$H$  = estadística  $H$  para lognormal (por ejemplo, de la tabla publicada en Gilbert, 1987)

$n$  = número de muestras

$t$  = estadística de student para la normal (por ejemplo, de la tabla publicada en Gilbert, 1987)

***Ejemplo de transformación de datos y cálculo de UCL.*** Este ejemplo muestra el cálculo de un UCL de 95% de la concentración media aritmética para el cromo en tierra en un sitio de Superfund. Este ejemplo sólo es aplicable a un escenario en el que se supone un patrón de exposición espacial al azar. Las concentraciones de cromo obtenidas de muestras al azar en este sitio (en mg/kg) son 10, 13, 20, 36, 41, 59, 67, 110, 110, 136, 140, 160, 200, 230, y 1 300. Al utilizar estos datos, se siguen los siguientes pasos para calcular un término de concentración para la ecuación de insumo:

1. Trace los datos y revise la gráfica. La graficación muestra una tendencia a la derecha, coherente con una distribución de lognormal.
2. Transforme los datos al tomar el logaritmo natural de los valores [determine  $\ln(x)$ ]. Para este conjunto de datos, los valores transformados son 2.30, 2.56, 3.00, 3.58, 3.71, 4.08, 4.20, 4.70, 4.70, 4.91, 4.94, 5.08, 5.30, 5.44, y 7.17.
3. Aplique la ecuación UCL para la distribución de lognormal en donde

$$\bar{x} = 4.38 \quad s = 1.25 \quad H = 3.163 \text{ (basado en 95\%)} \quad n = 15$$

Así se determina que el UCL de 95% resultante de la media aritmética es igual a  $e^{(6.218)}$ , o 502 mg/kg, en tanto que un promedio simple de los datos de concentración es 176 mg/kg.

En este ejemplo, si la distribución se ha supuesto incorrectamente como normal y se utiliza la estadística de prueba Student  $t$ , el UCL sería de 325 mg/kg frente a 502 mg/kg de la distribución de lognormal. Los mismos procedimientos estadísticos serían utilizados para contaminantes de agua subterránea. Por ejemplo, si las concentraciones precedentes fuesen observaciones a lo largo del tiempo de un pozo de aprovisionamiento de agua o de distintos pozos, el valor de 502 ppm deberían ser utilizados para estimar exposición y riesgo.

Dosis diaria promedio o insumo diario crónico (CDI) [mg/(kg·día)]

$$= \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

(Las abreviaturas se presentan en la ecuación general de riesgo.)

Utilizando factores de exposición por omisión aplicables a un escenario residencial (véase tabla 4.3):

$$CDI = \frac{(0.01 \text{ mg/L})(2 \text{ L/día})(350 \text{ días/año})(30 \text{ años})}{(70 \text{ kg})(70 \text{ años} \times 365 \text{ días/año})} = 1.2E-4 \text{ mg/(kg} \cdot \text{día)}$$

$$\begin{aligned} \text{Exceso de riesgo de cáncer} &= (CDI) (\text{SF oral}) \\ &= (1.2E-4)(1.1E-2) = 1.3E-6 \end{aligned}$$

Un caso de cáncer adicional en un millón está dentro del rango aceptable.

**EJEMPLO 2** *Riesgo no canceroso de carcinógenos. (Recuerde: Los carcinógenos también pueden causar efectos no cancerosos.) Usando el mismo ejemplo de antes, ¿cuál es el cociente de peligro de 10 µg/L de tricloroetileno en agua para beber? ¿Está dentro del umbral de seguridad?*

$$\begin{aligned} \text{Insumo promedio} &= \frac{(0.01 \text{ mg/L})(2 \text{ L/día})(350 \text{ días/año})(30 \text{ años})}{(70 \text{ kg})(30 \text{ años} \times 365 \text{ días/año})} \\ &= 2.7E-4 \text{ mg/(kg} \cdot \text{día)} \end{aligned}$$

(Observe que el insumo promedio es distinto que el del ejemplo precedente porque el tiempo promedio es de 30 años para efectos no cancerosos frente a 70 años para efectos cancerosos.)

$$\text{Cociente de peligro} = \frac{\text{insumo}}{\text{RfD oral}} = \frac{2.7E-4}{6E-3} = 4.5E-2 \text{ (o } 0.045)$$

Ya que el HQ está por abajo del RfD (cociente de peligro <1.0), esta exposición en particular está por abajo del umbral seguro, sin considerar otras exposiciones.

**EJEMPLO 3** *Peligro no canceroso de un no carcinógeno y un carcinógeno en agua para beber. Un residente está expuesto a 1 mg/L (1 ppm) de tolueno en agua para beber. ¿Cuál es el cociente de peligro? ¿Cuál es el índice de peligro para el tricloroetileno y para el tolueno? ¿Es seguro beber el agua?*

Utilizando los factores de exposición por omisión aplicables a un residente (véase tabla 4.3):

$$\begin{aligned} \text{Insumo promedio} &= \frac{(1 \text{ mg/L})(2 \text{ L/día})(350 \text{ días/año})(30 \text{ años})}{(70 \text{ kg})(30 \text{ años})(365 \text{ días/año})} \\ &= 2.7E-2 \text{ mg/(kg} \cdot \text{día)} \end{aligned}$$

$$\text{Cociente de peligro} = \frac{\text{insumo}}{\text{RfD oral}} = \frac{2.7E-2}{2E} - 1 = 1.4E-1 = (o 0.14)$$

El índice de peligro del tricloroetileno y el tolueno =  $4.5E-2 + 1.4E-1 = 1.8E-1$

Ya que el índice de peligro es inferior a 1.0, la exposición combinada sigue estando por abajo del umbral de seguridad.

## Contaminación por hidrocarburos del petróleo

**Hidrocarburos del petróleo totales (TPH).** Ya que los productos del petróleo tienen un uso muy amplio como gasolina, diesel y combustibles, cientos de miles de sitios en Estados Unidos y a nivel mundial están contaminados con hidrocarburos del petróleo. Lo que se menciona como *hidrocarburos del petróleo totales* (TPH) son en realidad mezclas heterogéneas de hidrocarburos alifáticos y aromáticos producidos por la destilación de petróleo crudo. (La gasolina se considera como carcinogénica, en tanto que el diesel y otros combustibles del petróleo no lo son.) Dado que no se dispone de valores de toxicidad para los TPH directamente, un enfoque es el de dividir los TPH en subgrupos basados en el número de átomos de carbono y utilizar compuestos de "referencia", "indicadores", o "subrogados" para los que se dispone de valores de toxicidad.

Los TPH son mezclas de alcanos/cicloalcanos (80% a 90%) y aromáticos/alquenos (10% a 20%). Entre los aromáticos, los compuestos más importantes debido a su toxicidad, volatilidad y solubilidad en el agua, son el benceno, el tolueno, el etilbenceno y xilenos (BTEX). Estos compuestos, así como hidrocarburos carcinogénicos, policíclicos aromáticos (PAH), deben ser identificados y cuantificados individualmente y utilizados en la evaluación de riesgos (factores de pendiente/dosis de referencia que están disponibles para estos químicos). Para los alcanos/cicloalcanos, los siguientes subrogados pueden ser utilizados (Departamento de Protección Ambiental de Massachusetts, 1994):

C <sub>5</sub> -C <sub>8</sub>	n-hexano	RfD 0.06 mg/(kg·día) (de la EPA)
C <sub>9</sub> -C <sub>18</sub>	n-nonano	RfD 0.6 mg/(kg·día) (extrapolados)
C <sub>19</sub> -C <sub>32</sub>	eicosano	RfD 6.0 mg/(kg·día) (extrapolados)

*Nota:* El enfoque analítico para proporcionar los datos necesarios para la evaluación de riesgos incluye dos métodos de cromatografía capilar de gas de alta resolución: uno para analizar los hidrocarburos del petróleo volátiles y el otro para analizar hidrocarburos del petróleo extraíbles. Los hidrocarburos volátiles en la tierra y en el agua son extraídos por purga y trampa y analizados por cromatografía de gas (GC) equipada con un detector de ionización de flama (FID) y un detector de fotoionización (PID) en series. Los BTEX se cuantifican individualmente; las porciones restantes de la cromatografía para alcanos/cicloalcanos y aromáticos/alquenos se dividen en rangos por el número de átomos de carbono y cuantificados por áreas bajo cada curva. Los hidrocarburos de petróleo extraíbles se extraen con cloruro de metileno y son analizados como antes se mencionó por GC equipado con FID y PID. Los PAH son identificados y cuantificados individualmente; este método identifica compuestos en el rango de C<sub>10</sub> a C<sub>40</sub>.

Fuentes de información adicional:

Massachusetts Department of Environmental Protection, *Interim Final Petroleum Report: Development of Health-Based Alternative to the Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) Parameter*, agosto de 1994 (Michael Hutcheson).

ATSDR Toxicological Profile for Automotive Gasoline (1993), Jet Fuels (1993), and Fuel Oils (1993).

University of Massachusetts at Amherst Annual Conference on Contaminated Soils (Conference Directors Edward Calabrese and Paul Kostecki).

### Niveles de limpieza, metas de remedio preliminares y concentraciones basadas en riesgos

**EJEMPLO 1** Nivel residual permisible para limpieza: carcinógeno. ¿Cuál es el nivel de tamizaje de limpieza de agua subterránea para TCE basado en un riesgo de cáncer E-6 aceptable para el riesgo de cáncer?

$$\begin{aligned} \text{Nivel de limpieza (nivel de acción)}(\text{mg/L}) &= \frac{(\text{riesgo aceptable})(\text{peso del cuerpo})}{(\text{SF})(\text{insumo})} \\ &= \frac{(E-6)(70 \text{ kg})}{1.1E-2 \left[ \text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})^{-1} \right] (2 \text{ L/día})} \\ &= 3.2E-3 \text{ mg/L} = 3 \text{ ppm} \end{aligned}$$

**EJEMPLO 2** Nivel residual permisible para limpieza: no carcinógeno. ¿Cuál es el nivel de tamizaje de limpieza de agua subterránea para el tolueno basado en RfD?

$$\begin{aligned} \text{Nivel de limpieza (nivel de acción)} (\text{mg/L}) &= \frac{(\text{RfD})(\text{peso del cuerpo})}{(\text{insumo})(\text{absorción})} \\ &= \frac{0.2 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})(70 \text{ kg})}{(2 \text{ L/día})(100\%)} = 7 \text{ mg/L} = 7 \text{ ppm} \end{aligned}$$

*Nota, los tres órdenes de diferencia de magnitud en niveles aceptables entre un carcinógeno y un no carcinógeno —ppmm versus ppm para este ejemplo—. Compare estos niveles con MCL de agua para beber.*

**EJEMPLO 3** Metas de remedio preliminares basadas en riesgos (PRG). Riesgo total de una fuente (por ejemplo, sitio contaminado) se calcula al combinar todas las sendas y rutas relevantes como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Riesgo carcinogénico (tierra)} &= (\text{SF}_o)(\text{insumo de tierra por ingestión}) \\ &\quad + (\text{SF}_o)(\text{insumo de contaminante de tierra por absorción dérmica}) \\ &\quad + (\text{SF}_i)(\text{tierra volátil e insumo de partículas por inhalación}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Índice de peligro no canceroso (tierra)} &= \frac{\text{insumo de tierra por ingestión}}{\text{RfD}_o} \\ &\quad + \frac{\text{insumo de contaminante de tierra por absorción dérmica}}{\text{RfD}_o} \\ &\quad + \frac{\text{insumo de tierra volátil y partículas por inhalación}}{\text{RfD}_i} \end{aligned}$$

**EJEMPLO 4** *Concentración basada en riesgos para tierra comercial/industrial. ¿Cuál es la concentración basada en riesgos de una mezcla de hidrocarburos de petróleo (no carcinógenos) suponiendo una exposición por ingestión y absorción dérmica y RfD oral/dérmica de 0.6 mg/(kg·día) para los hidrocarburos? El índice de peligro objetivo (THI) es 1.0.*

$$\text{Insumo promedio por ingestión [mg / (kg · día)]} = \frac{(CS)(CF)(IR)(FI)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$$

Insumo promedio por absorción dérmica (dosis absorbida) [mg/(kg · día)]

$$= \frac{(CS)(CF)(SA)(AF)(ABS)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$$

Parámetro	Valor supuesto
CS = Concentración de contaminante en la tierra, mg/kg (ppm)	?
CF = factor de conversión, kg/mg	10 <sup>-6</sup>
IR = tasa de ingestión mg tierra/diario	50
FI = fracción ingerida de fuente contaminada	1
EF = frecuencia de exposición, días/año	250
ED = duración de la exposición, años	25
SA = área de superficie de la piel en contacto cm <sup>2</sup> (brazos, manos)	1 960
AF = factor de adherencia, mg/cm <sup>2</sup>	0.5
ABS = factor de absorción (%)	0.01
BW = peso corporal, kg	70
AT = tiempo promedio, días (25 años × 365 días)	9 125

*Combinando las dos ecuaciones precedentes y resolviendo para una conservación de tierra que corresponda con un índice de peligro objetivo de 1.0, obtenemos*

$$\begin{aligned} \text{CS (mg/kg)} &= \frac{(THI)(RfD_o)(BW)(AT)}{(10^{-6})(ED)(EF)[(IR) + (SA)(AF)(ABS)]} \\ &= \frac{(1)(0.6)(70)(9125)}{(10^{-6})(25)(250)[(50) + (1960)(0.5)(0.01)]} \approx 1\text{E} + 6 \end{aligned}$$

*Este ejemplo señala cuatro observaciones dignas de estudiar: (1) aun utilizando valores por omisión conservadores, un muy alto nivel residual sería aceptable si el contaminante es de baja toxicidad [en este ejemplo, un RfD de 0.6 mg/kg·día] y una alternativa de "no acción adicional" puede ser aplicable, (2) si la mezcla de hidrocarburos del petróleo incluía compuestos orgánicos volátiles (VOC) tales como el benceno y el tolueno, niveles aceptables serían de órdenes de baja magnitud, (3) si el contaminante también es carcinógeno, el más bajo de las dos concentraciones que corresponden a riesgos de cáncer y no cancerosos, el más bajo de las dos concentraciones que corresponden a riesgos cancerosos y no cancerosos es aplicable y (4) la concentración calculada es sólo para exposición humana; si receptores ecológicos estuvieran presentes, las concentraciones permisibles podrían ser de más baja magnitud.*

*Nota:* Muchos de los valores supuestos antes se basan en factores por omisión de la EPA para fines de ilustración. Información específica de la situación debe ser considerada cuando esté disponible para mejores estimaciones.

Las concentraciones químicas en agua que corresponden a niveles de riesgo objetivos (por ejemplo riesgo de cáncer de incremento de  $10^{-6}$  o índice de peligro de 1.0) puede ser calculado al utilizar fórmulas similares a las precedentes. Para una explicación y ejemplos más detallados, véase *Risk Assessment Guidance for Superfund* de la EPA, Volumen I: *Human Health Evaluation Manual* (Part B, Development of Risk-Based Preliminary Remediation Goals, December 1991).

### Ajustes de dosis administrada (aplicada) y dosis absorbida (interna)

Las dosis de referencia (RfD) y los factores de pendiente (SF) generalmente se expresan como dosis administradas ("insumos") basadas en ingestión de agua para beber. Será necesario hacer ajustes (como para absorción dérmica) por dos razones: para igualar la estimación de exposición con el valor de toxicidad si una se basa en dosis absorbida y la otra administrada y para registrar distintos medios de exposición—agua, alimentos o tierra—. Los contaminantes en el agua son absorbidos con mayor facilidad en el tracto gastrointestinal que los absorbidos por alimentos o tierra.

**EJEMPLO 1** Ajustar el RfD administrado  $3E-2$  mg/(kg·día) al RfD absorbido suponiendo 20% de eficiencia de absorción.

$$\begin{aligned} \text{RfD ajustado correspondiente a dosis absorbida} &= [0.03 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})](0.2) \\ &= 0.006 = 6E-3 \end{aligned}$$

*Nota:* El ajuste del factor de pendiente es similar, excepto en que el SF administrado se divide por la eficiencia de absorción.

**EJEMPLO 2** Calcule el factor de absorción relativa; ajuste la ingestión de  $1E-3$  mg/(kg·día) vía alimentos o tierra. Suponga 90% de absorción del agua y 10% de alimento o tierra.

$$\text{Factor de absorción relativa} = 0.10 + 0.90 = 0.11, \text{ u } 11\%$$

$$\text{Insumo oral ajustado} = [1E-3 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})](0.11) = 1E-4 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})$$

Si los datos sobre eficiencias de absorción relativa no están disponibles, puede utilizarse un factor de 1.0 como valor por omisión. Para mayores detalles, véase RAGS, volumen 1, App. A de la EPA (EPA 1989a.)

### Riesgos y administración de ingestión de pescado: un miniestudio de caso

Un buen aficionado a la pesca como actividad recreativa está expuesto al mercurio (un no carcinógeno) por la inhalación de vapores de sedimentos a la orilla del río y del consumo de peces contaminados. ¿Cuáles son los riesgos? Como legislador o consumidor, ¿cómo puede usted reducir el riesgo?

#### Datos medidos

$$\text{Concentración de mercurio promedio en la zona respirada} = 0.001 \text{ mg}/\text{m}^3$$

Concentraciones de mercurio en muestras de pescados atrapados en la localidad, con base de peso con humedad = 0.1 mg/kg (ppm)

*Nota:* Si el pescado no se ha analizado específicamente en busca de metil mercurio, suponga 90 a 95% del mercurio total en su forma orgánica; la proporción en invertebrados tiende a ser menor.

**Investigación de riesgo.** Comparación de concentraciones medidas (o modeladas) con estándares y guías relevantes.

a. Vapor de mercurio elemental en el aire:

Concentración medida en zona respirada = 0.001 mg/m<sup>3</sup>

Nivel de exposición OSHA permisible (PEL) = 0.05

Valor límite de umbral ACGIH (TLV) = 0.05

Concentración de referencia EPA (RfC) = 0.0003

Nivel de riesgo mínimo ATSDR = 0.00006

La concentración medida en la localidad, 0.001 mg/m<sup>3</sup>, está por abajo de los límites OSHA y ACGIH al menos por un orden de magnitud, pero por encima de los umbrales RfC y ATSDR MRL de la EPA. Los PEL de la OSHA son estándares en el centro de trabajo (ACGIH TLV son guías) no aplicables directamente a exposiciones públicas, pero pueden ser utilizados para propósitos de investigación si las exposiciones reales son intermitentes y de corta duración, los RfC y ATSDR MRL de la EPA están basados en inhalación de 24 horas cada día durante la vida de un individuo y con frecuencia están por abajo de los límites prácticos de cuantificación.

b. Metil mercurio en pescados. El nivel de acción FDA para metil mercurio en porciones comestibles de pescado/crustáceos es 1 ppm (mg/kg) sobre base de peso con humedad. La concentración promedio en muestras de tejidos de pescado analizados, 0.1 ppm, es así de un orden de magnitud por abajo del nivel de acción de la FDA.

*Nota:* La toxicidad del mercurio depende en la forma del mercurio; el metil mercurio es su forma más tóxica. Generalmente es más apropiado observar una concentración medida máxima para peligros agudos y concentraciones promedio para riesgos para la salud de más largo plazo. En este ejemplo, las concentraciones medidas máximas no son mucho más altas que las concentraciones promedio (desviación estándar baja), y los valores promedio son así utilizados para ilustración.

**Riesgos para la salud a más largo plazo.** RfD, HQ y HI.

a. Cálculo de un cociente de peligro para inhalación por mercurio (pescador deportivo):

$$\text{Insumo vía inhalación [mg / (kg · día)]} = \frac{(CA)(IR)(ET)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$$

	Factor	Fuente
Concentración de contaminante en el aire (CA), mg/m <sup>3</sup>	0.001	Medida
Tasa de inhalación (IR) m <sup>3</sup> /h	0.83	EPA
Tiempo de exposición (ET), h/día	2	Observación de campo
Frecuencia de exposición (EF), días/año	50	Observación de campo
Duración de la exposición (ED), años	30	EPA
Peso corporal (BW), kg	70	EPA
Tiempo promedio (AT), días (30 años × 365 días/año)	10 950	EPA

$$\text{Insumo de mercurio vía aire} = \frac{(0.001)(0.83)(2)(50)(30)}{(70)(10\ 950)} = 3.25E-6 \text{ mg/(kg-día)}$$

$$\begin{aligned} \text{Cociente de peligro (HQ)} &= \frac{\text{insumo promedio diario}}{\text{inhalación crónica del RfD}} = \frac{3.25E-6}{8.57E-5} \quad \begin{array}{l} \text{(de lo anterior)} \\ \text{(base de datos EPA)} \end{array} \\ &= 3.8E-2 \end{aligned}$$

b. Cómputo de cociente de peligro para ingestión de pescado contaminado:

$$\text{Insumo de mercurio vía ingestión [mg/(kg-día)]} = \frac{(CF)(IR)(FI)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$$

	Factor	Fuente
Concentración de contaminante en pescado ( <i>CF</i> ), mg/kg	0.1	Análisis de pescado
Tasa de ingestión ( <i>IR</i> ), kg/promedio por alimento	0.054	EPA
Fracción ingerida de fuente contaminada ( <i>FI</i> ), sin unidad	1	Presunciones conservadoras
Frecuencia de exposición ( <i>EF</i> ), comidas/año	350	EPA
Duración de la exposición ( <i>ED</i> ), años	30	EPA
Peso corporal ( <i>BW</i> ), kg	70	EPA
Tiempo promedio ( <i>AT</i> ), días (30 años × 365 días/año)	10 950	EPA

$$\text{Insumo de mercurio vía pescado} = \frac{(0.1)(0.054)(1)(350)(30)}{(70)(10\ 950)} = 7.4E-5 \text{ mg/(kg-día)}$$

$$\begin{aligned} \text{Cociente de peligro (HQ)} &= \frac{\text{insumo diario promedio}}{\text{RfD oral crónico}} = \frac{7.4E-5}{3E-4} \quad \begin{array}{l} \text{(de lo anterior)} \\ \text{(a partir de base de datos EPA)} \end{array} \\ &= 2.5E-1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Índice de peligro} &= \text{suma de cocientes de peligro} \\ &= \text{inhalación HQ} + \text{ingestión HQ} \\ &= 3.8E-2 + 2.5E-1 = 3E-1 = 0.3 \end{aligned}$$

Se considera que un índice de peligro acumulado de 1.0 sea un umbral seguro para efectos no cancerosos para la población general. Ya que el índice combinado es inferior a 1 (0.3), el pescador puede seguir disfrutando de su pescado sin preocuparse mucho acerca de su afición. Pero, ¿qué sucedería si a otro pescador en verdad le gusta el pescado y consume 10 veces el promedio supuesto en el ejemplo? Si todas las demás suposiciones permanecen igual, entonces el HQ de ingestión de pescado sería 10 veces mayor, o sea, 2.5 en lugar de 0.25 (por la ecuación lineal) que por sí mismo excede el umbral del índice de peligro del 1.0.

**Administración del riesgo.** Además de los niveles de acción de la FDA y asesores en la salud, los departamentos estatales y municipales de salud pueden colocar señales prohibiendo la pesca en ríos y arroyos que se conoce están contaminados. La fuerza de la acción regulatoria debe depender tanto del nivel de contaminación, como del número de personas expuestas directa o indirectamente, incluyendo la eliminación de sedimentos de “punto caliente” y la prohibición de la pesca o cultivo de crustáceos en una área determinada. Un individuo puede reducir los riesgos del mercurio (así como del arsénico y otros metales y PCB) al obedecer recomendaciones de asesores en la salud, abstenerse de acudir a sitios de pesca contaminados y consumir una mezcla de especies de agua dulce/agua salada) crustáceos/peces invertebrados, etc. (Línea caliente de la FDA relativa a alimentos marinos: 1-800-FDA-4010.)

### **Ejercicio para los ambiciosos**

Si usted es un “chiflado por la salud” y toma vitaminas y suplementos minerales, lea la etiqueta del contenido y calcule el índice de peligro.

### **Exposiciones indirectas a emisiones combustibles y riesgos para la salud**

Las evaluaciones de riesgos tradicionales enfocadas en el modelado de concentraciones de aire de fuentes identificadas y la estimación de riesgos para la salud de la inhalación directa de gases y particulados en un área de estudio se dividen en anillos de línea índice. Por otra parte, el énfasis de evaluaciones de riesgo indirectas está en exposiciones y riesgos que pueden resultar de la transferencia de contaminantes emitidos a la tierra, vegetación y cuerpos de agua, incluyendo la cadena alimenticia.

El interés en las evaluaciones de riesgos indirectas revivió con la emisión de la EPA de su *Draft Strategy on Hazardous Waste Minimization and Combustion* en mayo de 1993. El Borrador de Estrategia sugiere que evaluaciones de riesgos específicas del sitio, incluyendo riesgos de exposiciones indirectas sean realizadas para instalaciones de combustión de desperdicios peligrosos en relación con la renovación de sus permisos. La EPA emitió un añadido en borrador sobre la metodología en noviembre de 1993 para complementar la documentación de guía, fechada en enero de 1990 (véase la referencia a continuación).

Las evaluaciones de exposición indirecta y de riesgos tienden a ser complicadas y hasta abrumadoras, incluyendo

- Escenarios de exposición humanos/definición del individuo expuesto
- Dispersión del aire y modelado de posición
- Cálculo de concentraciones de tierra y agua
- Exposiciones vía cadenas alimenticias (carnes, leche, pescados, verduras), ingestión de tierra y absorción dérmica e ingestión de agua y absorción dérmica
- Evaluación de toxicidad/respuesta a dosis
- Caracterización de riesgos

Los siguientes documentos clave están disponibles sin cargo del Centro para la Información de Investigación Ambiental de la EPA (CERI) teléfono 513-569-7562.

- *Methodology for Assessing Health Risks Associated with Indirect Exposure to Combustion Emissions*, EPA 600/66-90/003, enero de 1990.
- *Addendum to the Methodology for Assessing Health Risks Associated with Indirect Exposure to Combustion Emissions (Review Draft)*, EPA 660/AP-93/003, noviembre de 1993.

## Unidades de riesgos de cáncer y riesgos agregados en la población

Unidad de riesgo: riesgo por unidad de concentración del contaminante en el medio ambiental.

Unidad de riesgo en el aire = riesgo por  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (riesgo incremental de cáncer por inhalación de  $1 \mu\text{g}$  de sustancia por metro cúbico de aire durante una vida)

Unidad de riesgo de agua = riesgo por  $\mu\text{g}/\text{L}$  (riesgo incremental de cáncer por la ingestión de  $1 \mu\text{g}$  de sustancia por litro de agua durante una vida)

**EJEMPLO 1** *Unidad de riesgo por benceno en el aire =  $8.3E-6$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup> (de IRIS de la EPA)*

Riesgo de cáncer durante la vida de un individuo de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  = unidades en el aire  $\times$  unidad de riesgo

$$= (1)(8.3E-6) = 8.3E-6$$

*Esto indica aproximadamente ocho casos de cáncer incremental por millón en la población de una exposición de toda la vida a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de benceno en el aire. La concentración de  $10^{-6}$  o uno en un millón de riesgo, entonces, es  $1.2E-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1 dividido entre 8).*

**EJEMPLO 2** *Riesgo en la población. Diez mil personas de la comunidad de Downville están expuestas a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de benceno en el aire a lo largo de sus vidas. ¿Cuántos casos adicionales de cáncer pueden resultar de la inhalación del benceno?*

Riesgo agregado en la población =  $(20)(8.3E-6)(10\ 000) = 1.7$  casos

Incidencia anual promedio =  $\frac{1.7}{70} = 0.02$  casos en población de 10 000 o 2 casos en un millón ( $2E-6$ )

## Unidades de riesgos y factores de pendiente (factores de potencia de cáncer)

Las unidades de riesgo pueden convertirse en factores de pendiente y viceversa al utilizar la tasa de inhalación del aire de  $20 \text{ m}^3/\text{día}$  o tasa de consumo de agua de  $2\text{L}/\text{día}$ , el peso del cuerpo humano de  $70 \text{ kg}$  y la acumulación de cualesquier diferencias en las tasas de absorción. (Hay que tener cautela extrema en estas conversiones debido a las diferencias de mecanismos de toxicidad por rutas de exposición.)

Factor de la pendiente = riesgo por unidad de dosis = riesgo por  $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{día})$

(Riesgo incremental de cáncer a partir de una dosis de  $1 \text{ mg}$  de sustancia por kilogramo de peso corporal por día durante una vida.)

Unidad de riesgo por  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire (exposición de inhalación)

$$= \frac{\text{factor de la pendiente} \times 20 \text{ m}^3 / \text{día} \times 10^{-3} \text{ mg} / \mu\text{g}}{\text{peso corporal de } 70 \text{ kg}}$$

Unidad de riesgo por  $\mu\text{g/L}$  de agua (exposición oral)

$$= \frac{\text{factor de la pendiente} \times 2\text{L/día} \times 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}}{70 \text{ kg}}$$

**EJEMPLO** *Exposición de arsénico. Si la unidad de riesgo por inhalación es  $4.3E-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ¿cuál es el factor de la pendiente?*

$$4.3E-3 \mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{(\text{SF?}) \times (20 \text{ m}^3/\text{día} \times 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g})}{70 \text{ kg}}$$

*Solución del factor de la pendiente:  $15 \text{ [mg/(kg}\cdot\text{día)}^{-1}]$  sin ajuste de absorción. Si factoramos en 30% de absorción del arsénico inhalado (HEAST, 1992),*

$$\frac{15}{0.3} = 50 \text{ (mg/kg}\cdot\text{día)}^{-1}$$

*La unidad de riesgo de  $4.3E-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  significa que el riesgo incremental de una vida de cáncer respiratorio por la inhalación de un  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire podría ser tan alto como 4 en 1000 (comparado con los antecedentes de riesgo de la población de 6 en 100). En años recientes, la EPA ha tendido a publicar sólo unidades de riesgo por la ruta de inhalación y no los factores de pendiente. Esto se basa en la premisa de que el sitio de acción es la ruta respiratoria (aun cuando esto puede subestimar el riesgo para otros sitios). La extrapolación por inhalación por la ruta oral no siempre es directa porque la absorción depende de la proporción de partículas respirables, tasas de respiración, etcétera. Para la ruta oral, por otra parte, virtualmente se supone que el 100% de los contaminantes son absorbidos, aun cuando esto no siempre es cierto.*

## **Radiación, radionúclidos, residuos mixtos y NESHAP**

Aun cuando evaluar riesgos para la salud por radiación es similar en algunos aspectos a los de químicos peligrosos, existen diferencias fundamentales. A continuación presentamos un breve panorama de los términos y unidades que comúnmente se encuentran en la evaluación de riesgos por radiación, junto con características que lo distinguen. (Véase también el glosario y el capítulo 5.) Para un estudio más detallado haga referencia a la *Risk Assessment Guidance for Superfund* (EPA, 1989a, capítulo 10) y las publicaciones de NRC y la ONU. Los antecedentes en física de la salud o guías de un físico en la salud pueden ser útiles para realizar evaluaciones de riesgos por radiación.

Muchos sitios de residuos peligrosos en la Lista de Prioridades Nacionales también contienen materiales radioactivos. El Departamento de Energía (DOE) es responsable de la administración de varios sitios inactivos del gobierno o instalaciones operadas por contratistas bajo el Programa de Acción de Remedio de Sitios Antiguamente Utilizados (FUSRAP). Si un sitio contiene residuos mixtos, por ejemplo, residuos químicos y de bajo nivel radioactivo, puede ahorrarse tiempo y costos para la recolección de datos al coordinar programas de muestras de químicos y radionúclidos.

### **Definiciones de radiación**

La *radiación* es la emisión de energía radiante por elementos radioactivos, incluyendo partículas alfa y beta y rayos gama (fotones). La radiación por ionización es una radiación de alta frecuencia de longitud corta que podría impartir suficiente energía para desplazar electrones de los átomos, producir iones de radicales libres y por lo tanto, dañar los

componentes de las células y los tejidos vivientes. Una especie radioactiva de un elemento particular (por ejemplo U-235) es llamado un *radionúclido* o *radioisótopo*.

**Exposición y dosis.** Las exposiciones pueden ser internas y/o externas. La exposición interna ocurre de radionúclidos que entraron en el cuerpo vía inhalación, ingestión u otras rutas. La exposición externa ocurre de radionúclidos dispersos en el aire, agua o tierra. Fuentes importantes de exposición externa son los muy penetrantes rayos gama y x; las partículas alfa y beta imparten sólo una dosis pequeña a las capas exteriores de células de la piel. La ingestión por inhalación o ingestión es expresada en unidades de actividad tales como becquerel (Bq) o curie (Ci) más que en masa, porque la energía transferida a los tejidos es proporcional al índice de declinación del radionúclido, no su masa. Las sendas de exposición principales son la inhalación, ingestión, inmersión en aire e irradiación tierra-superficie.

Las *evaluaciones de exposiciones por radiación* incluyen un paso más allá del cálculo de insumos para estimar el equivalente de dosis de radiación (RDE), que toma en consideración no sólo la cantidad de energía depositada en una unidad de masa de tejido ("dosis"), sino también la efectividad biológica relativa. La dosis de radiación equivalente a órganos específicos se estima al multiplicar la cantidad de cada radionúclido por los factores de conversión de dosis correspondientes (DCF). Al cuantificar exposiciones, la ecuación de ingestión de químicos puede utilizarse excepto en cuanto a que el peso del cuerpo y el tiempo promedio se omiten porque ya han sido incorporados en los DCF.

La *dosis absorbida* se expresa en rad; la unidad gris internacional (Gy) es 100 rad. La unidad convencional de dosis equivalente es rem, similar a un sievert (Sv).

**Respuesta a toxicidad/dosis.** La radiación ionizante es asociada con consecuencias mutagénicas (daño al DNA), carcinogénicas y teratogénicas (defectos al nacimiento). La radiación ionizante se considera un carcinógeno completo, o sea, que actúa tanto como iniciador y como promotor sin el umbral conocido. Los factores de pendiente de cáncer para radionúclidos comunes están incluidos en la base de datos IRIS de la EPA.

**Caracterización de riesgos.** Sólo los riesgos de cáncer son cuantificados porque el riesgo acumulado de cáncer es mucho más elevado que el riesgo de efectos genéticos o teratogénicos y por el fundamento fuerte para cuantificar riesgos de cáncer fatales. En promedio, alrededor de la mitad de los cánceres inducidos por radiación terminan en muerte. El riesgo incremental de cánceres fatales es reportado como que está en el rango de 0.007 a 0.07 por rem o sievert. El riesgo ocupacional norteamericano para el centro de trabajo es de 5 rem (5 000 mrem); el límite de exposición recomendado para el público en general es de 500 mrem. El riesgo individual de toda una vida de cáncer fatal de todas las fuentes de radiación es de cerca de 1 en 100.

**Estudio de un caso de radiación.** Refiérase a *Risk Assessment Guidance for Superfund*, Vol. 1: *Human Health Evaluation Manual* (Parte B), pp. 38–46, de la EPA para una evaluación de riesgos ilustrativa de un sitio con contaminación de radionúclidos (EPA, 1991a).

La decisión final sobre estándares de emisión nacionales para contaminantes del aire peligrosos (NESHAP) incluyen, bajo la Sección 112 de la Ley de Aire Limpio, emisiones de radionúclidos basados en evaluaciones de riesgo (*Federal Register*, 15 de diciembre de 1989, EPA 40 CFR Parte 61). Los estándares se aplican a la instalación de la DOE, instalaciones federales distintas a la DOE, licenciarios NCR, instalaciones de ciclo de combustible de uranio, calentadores alimentados por carbón, minas de uranio y otros. Al formular la política NESHAP, se consideraron tres medidas de riesgo de cáncer: (1) riesgo individual máximo (en ocasiones llamado *riesgo individual de exposición máxima*), por ejemplo, la posibilidad estimada de contraer cáncer en la vida de un individuo de alta exposición, (2) distribución de riesgos, o sea, estimar el número de personas dentro de una distancia específica (por ejemplo, 80 km) de una fuente y sus niveles de riesgo, típicamente en incrementos de 10 veces el riesgo individual y (3) incidencia, o sea, estimaciones de riesgo en la población derivados de mul-

tiplicar el riesgo individual por el número de personas a ese nivel de riesgo y sumar los riesgos a todos los niveles de riesgo; esta cifra es dividida entonces entre 70 (años de una vida) para llegar a una incidencia anual.

## GLOSARIO Y DEFINICIONES

**Absorción** El movimiento de una sustancia en el torrente sanguíneo (absorción sistémica) después de entrar en el cuerpo a través de pulmones, tracto gastrointestinal, o piel.

**Becquerel (Bq) y curie (Ci)** Unidades de radioactividad. Bq = una desintegración nuclear por segundo; Ci =  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones nucleares por segundo.

**Biodisponibilidad** El grado al cual un químico tiene acceso o se vuelve disponible para los tejidos blanco después de su exposición o administración (para efectos positivos o negativos).

**Cáncer y carcinógeno** Enfermedad caracterizada por un crecimiento celular no controlado y tumores malignos; un carcinógeno es cualquier agente (químico, biológico, radiológico) que puede causar o contribuir a la inducción del cáncer en una serie de pasos.

**Carga del cuerpo** Cantidad de una sustancia almacenada en el cuerpo —en tejido adiposo, sangre y hueso.

**Dosis** Medida de exposición generalmente expresada como cantidad de sustancia por unidad de peso corporal del sujeto por unidad de tiempo; por ejemplo, mg/(kg·día). (Véase también la figura 4.5 para una explicación adicional.) La dosis tolerada máxima (MTD) es la dosis más alta que es compatible con la supervivencia de la mayoría de los animales de prueba. En términos de radiación, la dosis es la energía impartida a una unidad de masa de tejido.

**Dosis de punto de comparación (BMD)** La dosis de una sustancia que corresponde a un incremento prescrito como respuesta, llamado respuesta de punto de comparación (BMR). Un límite inferior en la dosis de punto de comparación (BMDL) ha sido propuesto como un reemplazo posible de NOAEL.

**Dosis de referencia (RfD), concentración de referencia (RfC) e insumo aceptable diario (ADI)** Estimación (con incertidumbre que cubre tal vez un orden o magnitud) de una exposición diaria para la población humana, incluyendo subgrupos sensibles (que pudieran parecer no tener un riesgo apreciable de efectos de detrimento durante su vida. (Virtualmente dosis segura o insumo diario tolerable.)

**Efecto antagonista (antídoto)** El efecto de dos o más químicos cuando actúan contra las acciones de cada uno; el efecto combinado es menor que la suma, por ejemplo,  $3 + 4 \ll 7$  (véase también *efecto sinérgico*).

**Efecto/punto final** Respuesta biológica debida a la exposición a una sustancia. El efecto local ocurre en el sitio de primer contacto. Los efectos sistémicos requieren absorción y distribución del tóxico, los efectos que ocurren en sitios u órganos distantes del punto de entrada inicial.

**Efecto sinérgico** Interacción cooperativa entre dos o más químicos u otros fenómenos que resultan en un efecto mayor que la suma de efectos individuales, por ejemplo,  $3 + 4 \gg 7$  (véase también *Efecto antagónico*).

**Equivalente a dosis efectiva (EDE)** Suma de riesgo-dosis de órgano pesado.

**Exceso o riesgo incremental en una vida** Riesgo adicional (sobre el antecedente) de exposición a lo largo de la vida de un individuo.

**Exposición** Contacto de límite exterior de un organismo con agentes químicos, biológicos o físicos; acceso o contacto potencial con un agente o situación peligrosos.

**Exposición/efecto agudo** Exposición única a una sustancia (generalmente en altas concentraciones de duración no mayor a un día) que resultan en daños biológicos severos, generalmente evidentes a corto plazo.

**Exposición/efecto crónico** Exposición continua o repetida (generalmente en bajas concentraciones) durante un largo periodo o persistencia de efectos a largo plazo; el efecto(s) puede no ser aparente durante un largo tiempo después de la exposición inicial. Las exposiciones subagudas y subcrónicas y los efectos son intermedios entre agudos y crónicos (generalmente de duración de unas cuantas semanas a varios meses). Los efectos crónicos pueden no requerir exposiciones crónicas.

**Factor de pendiente o factor de pendiente de potencia carcinógena (CSF)** Pendiente de la curva de respuesta a dosis en la región de dosis baja, que generalmente se supone es lineal y se expresa como  $1/[\text{mg}(\text{kg}\cdot\text{día})]$ .

**Farmacocinéticos y modelos farmacocinéticos de base fisiológica (PB-PK)** Características de absorción, distribución, metabolismo y excreción de una sustancia (un medicamento o contaminante) en el cuerpo. Los modelos PB-PK son útiles para predecir dosis de tejido específicas bajo un rango de condiciones de exposición.

**LC<sub>50</sub> y LD<sub>50</sub> (concentración letal mediana y dosis letal mediana)** Concentración (mg/m<sup>3</sup>, mg/L) o dosis (mg/kg) a la cual el 50% de los organismos de prueba mueren al ser expuestos a la sustancia en un periodo específico.

**Metabolismo y metabolitos** Cambios bioquímicos que un químico sufre en el cuerpo produciendo metabolitos que pueden ser más o menos tóxicos que la sustancia original.

**Mutágeno** Sustancia o radiación que ocasiona cambios (mutaciones) en un "plano" genérico que pueden resultar en defectos congénitos o cáncer.

**Nivel de efectos adversos no observados (NOAEL)** Nivel de exposición al cual no existen incrementos significativos estadísticos en la frecuencia o severidad de los efectos adversos.

**Nivel de riesgo mínimo (MRL)** Estimación de la exposición humana diaria a una sustancia que probablemente no tenga un riesgo apreciable de efectos adversos (no carcinogénicos) sobre una duración específica de exposición (Agencia de registro de sustancias tóxicas y enfermedades).

**Periodo latente** Tiempo entre la inducción inicial de un efecto a la salud y su manifestación clínica; el periodo latente del cáncer varía de unos cuantos años (leucemia) a décadas (asbestosis).

**Rad y gris (gray) (Gy)** Unidad de dosis absorbida; energía impartida por radiación por gramo de tejido. Un gray = 100 rad.

**Relación de dosis respuesta/curva** Representación gráfica de la relación entre la cantidad de dosis y el grado de efectos adversos para la salud.

**Rem y sievert (Sv)** Unidad de dosis equivalente pesada por la capacidad de diferentes radiaciones para causar daños.

**Riesgo** Medida de posibilidad y magnitud de efectos adversos, incluyendo heridas, enfermedades o pérdidas económicas. (Peligro o toxicidad no es igual a riesgo.)

**Rutas de exposición** Contacto o acceso vía inhalación, ingestión (oral), o absorción dérmica o directamente en el caso de radiación electromagnética. Los medios o sendas ambientales son aire, tierra, agua subterránea, agua de superficie y sedimentos.

**Toxicología** Estudio de los efectos adversos de agentes químicos, biológicos y físicos en organismos vivos.

**Umbral** Dosis o exposición abajo de la cual no se espera un efecto adverso significativo.

**Unidad de riesgo** El límite superior de exceso de riesgo de cáncer durante una vida (límite superior posible) que se espera resulte de una exposición continua a un agente en una concentración de 1 µg/L en agua o 1 µg/m<sup>3</sup> en el aire.

**Vida media** Tiempo en el cual la mitad de los átomos de una sustancia radioactiva se transforman o decaen.

## REFERENCIAS Y LECTURAS ADICIONALES

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), U.S. Department of Health and Human Services, Toxicological Profiles (various).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 1993-94, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, and Biological Exposure Indices.

American Industrial Health Council (AIHC), *Exposure Factors Sourcebook*, 1994.

American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Center for Chemical Process Safety (CCPS), New York.

AIChE/CCPS, 1992. *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 2d ed., with worked examples.

AIChE/CCPS, Health and Safety Executive (UK), European Federation of Chemical Engineering, 1992. International Conference on Hazard Identification and Risk Analysis, Human Factors and Human Reliability in Process Safety (Orlando, Florida).

AIChE/CCPS, 1989, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*.

- AICHe/CCPS, 1985. *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures* (prepared by Battelle Columbus Division).
- Arkes, H., and K. Hammond (eds.), *Judgment and Decision Making*. Cambridge University Press, Cambridge, England, 1986.
- Browner, C. M., "EPA's Technology Innovation Strategy", *EPA Journal*, Fall 1994.
- Burmester, D. E., and P. D. Anderson, "Principles of good practice for the use of Monte Carlo techniques in human health and ecological risk assessments", *Risk Analysis*, 14 (4), pp. 477-481, August 1994.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), *National Guidelines for Decommissioning Industrial Sites*, 1991.
- Carnegie Commission, *Risk and the Environment: Improving Regulatory Decision Making*, June 1993.
- Casarett and Doull's *Toxicology: The Basic Science of Poisons*, 4th ed., edited by Mary Amdur, John Doull, and Curtis Klaassen, Pergamon Press/McGraw-Hill, New York, 1991.
- Chechile, R., and S. Carlisle (eds., Tufts University Center for the Study of Decision Making), *Environmental Decision Making—A Multidisciplinary Perspective*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- Chemical Industry Institute of Toxicology (CIIT), Research Triangle Park, N.C., *Annual Report (Understanding Chemical Risk)*, 1993.
- Chemical Manufacturers Association, *Responsible Care: Process Safety Code of Management Practices*, 1990; *Distribution Code of Management Practices*, 1991.
- The Conference Board, Corporate Stewardship of the Environment, Report 982, 1991.
- Environmental Protection Agency (EPA/USEPA):
- EPA, 1989a, *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS)*, vol. 1, *Human Health Evaluation Manual* (part A), EPA 540/1-89/002.
  - EPA, 1991a, *Risk Assessment Guidance for Superfund*, vol. 1, *Human Health Evaluation Manual* (part B. Development of Risk-Based Preliminary Remediation Goals), EPA 540/R-92/003.
  - EPA, 1991b, *Risk Assessment Guidance for Superfund*, vol. 1, *Human Health Evaluation Manual* (part C. Evaluation of Remedial Alternatives), EPA 540/R-92/004.
  - EPA, 1991c, *Human Health Evaluation Manual*, Supplemental Guidance: "Standard default exposure factors", OSWER directive 9285.6-03.
  - EPA, 1989b, *Risk Assessment Guidance for Superfund*, vol. 2, *Environmental Evaluation Manual*, EPA 540/1-89/001.
  - EPA, 1988a, *Superfund Exposure Assessment Manual*, EPA540/1-88/001.
  - EPA, 1988b, *Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies (RI/FS) under CERCLA*, EPA 540/G-89/004.
  - EPA, 1990a, *Exposure Factors Handbook*, EPA 600/8-89/043.
  - EPA, 1986a, *Superfund Public Health Evaluation Manual*, EPA 540/1-86/060.
  - EPA, 1987, "The Risk Assessment Guidelines of 1986." EPA 600/8-87/045.
  - EPA, 1986b, "Guidelines for carcinogen risk assessment"; Guidelines for mutagenicity risk assessment"; Guidelines for the health risk assessment of chemical mixtures"; Guidelines for the health assessment of suspect developmental toxicants"; Guidelines for estimating exposures". *Federal Register*, September 24, 1986.
  - EPA, 1992a, *Health Effects Assessment Summary Tables (HEAST)* (periodic updates), NTIS PB92-921199.
  - EPA, 1992b, *Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications*, EPA 600/8-91/011B.
  - EPA, 1992c, *Guidance for Data Usability in Risk Assessment* (part A), 9285.7-09A.
  - EPA, 1992d, *Framework for Ecological Risk Assessment*, EPA 630/R-92/001.
  - EPA, 1989c, *Ecological Assessment of Hazardous Waste Sites: A Field and Laboratory Reference Document*, PB89-205967, EPA 600/3-89/013.
  - EPA, 1991d, *Eco Update* (periodic updates), 9345.0-051.

- EPA, 1992e, F. Henry Habicht, *Guidance on Risk Characterization for Risk Managers and Risk Assessors* (February 26, 1992).
- EPA, 1992f, Larry Reed, *Supplemental Guidance to RAGS: Calculating the Concentration Term*, (June 22, 1992).
- EPA, 1991e, "Guidelines for developmental toxicity risk assessment", *Federal Register*, December 5, 1991.
- EPA, 1992g, "Guidance for Exposure Assessment: Notice", *Federal Register*, May 29, 1992.
- EPA, 1992h, Personal communication with R. Morgenstern, July 10, 1992.
- EPA, 1990b, *Methodology for Assessing Health Risks Associated with Indirect Exposure to Combustor Emissions*, EPA 600/6-90/003.
- EPA, 1993, *Addendum to the Methodology for Assessing Health Risks Associated with Indirect Exposure to Combustor Emissions* (Review Draft), EPA600/AP-93/003.
- EPA Journal*, March-April 1991f, "Setting environmental priorities: The debate about risk", vol. 17, no. 2.
- EPA, 1987, *Unfinished Business: A Comparative Assessment of Environmental Problems, Overview Report*, NTIS PB88-127048.
- EPA Science Advisory Board, 1990c, *The Report of the Ecology and Welfare Subcommittee, Relative Risk Reduction Project*, app. A, EPA SAB-EC-90-021A.
- EPA Science Advisory Board, 1990d, *The Report of the Human Health Subcommittee, Relative Risk Reduction Project*, app. B, EPA SAB-EC-90-021B.
- EPA Science Advisory Board, 1990e, *The Report of the Strategic Options Subcommittee, Relative Risk Reduction Project*, app. C, EPA SAB-EC-90-021C.
- EPA Region III, Roy Smith, Risk-Based Concentration Tables, updated quarterly.
- EPA, 1991f, Economic Incentives, Options for Environmental Protection; and EPA, 1990, Paying for Progress: Perspectives on Financing Environmental Protection.
- EPA and Other Systems, Databases and Models (examples):
- EPA IRIS (integrated risk information system): On-line database containing health risk (slope factors, reference doses) and regulatory information on specific chemicals; available through National Library of Medicine (NLM) MEDLARS Toxnet, and other systems. (Toxnet also provides access to HSDB, RTECS, and TRI databases.)
  - EPA GEMS/PCGEMS (graphical exposure modeling system): Set of models (air, water, soil), programs, and data modules to conduct exposure and risk assessment.
  - RISKPRO: Commercial version of PCGEMS developed by General Sciences Corp. (See also examples of environmental fate and transport models and software listed in the text.)
  - EPA, 1993. NATICH Data Base Report on State, Local, and EPA Air Toxics Activities, EPA 453/R93-041.
  - CIS (Chemical Information System): Toxicology, physical, and chemical properties, environmental fate, MSDS, IRIS, and other data.
- Federal Register*, December 15, 1989, EPA 40 CFR Part 61, "National emission standards for hazardous air pollutants; radionuclides".
- Fischhoff, B., S. Lichtenstein, and P. Slovic, *Acceptable Risk*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1981.
- Food and Drug Administration (FDA), *Action Levels for Poisonous or Deleterious Substances in Human Food and Animal Feed*, 1992.
- Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures*, 1990, Federal Emergency Management Agency (FEMA), U.S. Department of Transportation (DOT) and U.S. Environmental Protection Agency (USEPA).
- Harvard School of Public Health, Center for Risk Analysis, 1994, *A Historical Perspective on Risk Assessment in the Federal Government*.
- Harvard Center for Risk Analysis, *1993 Annual Report*.
- Hawkins, N., M. Jayjock, and J. Lynch, "A rationale and framework for establishing the quality of human exposure assessments", *American Industrial Hygiene Association Journal* 53, pp. 34-41, January 1992.

- Hazardous Materials Control/Superfund '93, *Proceedings of the 12th National Conference*, Washington, December 1993.
- Health and Welfare Canada, 1989-1990, Canada Health Protection Branch, Health Risk Determination.
- Kolluru, R. V., "Understand the basics of risk assessment", *Chemical Engineering Progress*, pp. 61-67, March 1991.
- Kolluru, R. V. (ed.), *Environmental Strategies Handbook: A Guide to Effective Policies and Practices*, McGraw-Hill, New York, 1994.
- Kolluru, R. V., "Integrated risk assessment and strategic application", Society for Risk Analysis Annual Meeting, Baltimore, Maryland, December 1994.
- Lave, L., and H. Gruenspecht, "Increasing the efficiency and effectiveness of environmental decisions: Benefit-cost analysis and effluent fees, a critical review", *Journal of Air and Waste Management Association*, May 1991.
- Lehr, J. H. (Environmental Education Enterprises/E<sup>3</sup>), *Toxicological Risk Assessment Distortions in Rational Readings on Environmental Concerns*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- Lioy, P. "Assessing human exposure to airborne pollutants: Advances and opportunities", *Environmental Science and Technology* 25(8), pp. 1360-1362, August 1991.
- Locke, P. A., "Reorienting risk assessment", Environmental Forum, Environmental Law Institute, September/October 1994.
- Marsh and McLennan (M&M, Chicago), *Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries: A Thirty-Year Review*, 14th ed., M&M, Chicago, 1992.
- Massachusetts Department of Environmental Protection, *Interim Final Petroleum Report: Development of Health-Based Alternative to the Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) Parameter*, August 1994.
- Meadows, D. L., and J. Randers, *Beyond the Limits*, Chelsea Green Publishing, Post Mills, Vermont, 1992.
- McKone, T. E., "Introduction to Monte Carlo modeling", Society for Risk Analysis, Annual Meeting, December 1993.
- Morgan, M. G., and M. Henrion, *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1990.
- National Research Council/National Academy of Sciences, *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*, National Academy Press, Washington, 1983.
- National Research Council/National Academy of Sciences, *Issues in Risk Assessment*, National Academy Press, Washington, 1993.
- National Research Council, "Science and Judgment in Risk Assessment", National Academy Press, Washington, D.C., 1994.
- National Safety Council, *Accident Facts*, 1994.
- National Toxicology Program, *Fiscal Year 1993 Annual Report*, U.S. Department of Health and Human Services, Washington, 1994.
- National Toxicology Program, *Seventh Annual Report on Carcinogens 1994 Summary*, U.S. Department of Health and Human Services, Washington, 1995.
- National Wildlife Federation, Washington, D.C., Corporate Conservation Council, *The Natural Environment: Issues for Management*, 1990.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 29CFR part 1910, "Air contaminants: rule (permissible exposure limits)", *Federal Register*, June 30, 1993.
- Occupational Safety and Health Administration, *Process Safety Management*, OSHA 3132, 1992; and *Guidelines for Compliance*, OSHA 3133.
- Office of Technology Assessment (U.S. Congress), *Industry, Technology, and the Environment: Competitive Challenges and Business Opportunities*, OTA-ITE-586, January 1994.
- Office of Technology Assessment (U.S. Congress), *Researching Health Risks*, OTA-BBS-570, November 1993.
- Paustenbach, D. (ed.), *The Risk Assessment of Environmental and Human Health Hazards: A Textbook of Case Studies*, Wiley, New York, 1989.

*Predicting Ecosystem Risk*, edited by Cairns, J., Niederlehner, B. R., and Orvos, D.R., Princeton Publishing Co., Princeton, New Jersey, 1992.

Project 88—Round II, Incentives for Action: Designing Market-Based Environmental Strategies, a public policy study sponsored by Senators Wirth (Colorado) and Heinz (Pennsylvania), project director R. Stavins, Washington, 1991.

Reilly, W., "Aiming before we shoot: The quiet revolution in environmental policy", The National Press Club, Washington, September 26, 1990.

*Risk Analysis: A Guide to Principles and Methods for Analyzing Health and Environmental Risks* edited by J. Cohns and V. Covello, U.S. Council on Environmental Quality, Washington, 1989.

*Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry*, edited by H. Greenburg and J. Cramer, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.

Rodricks, J. V., *Calculated Risks*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1992.

Ruckelshaus, W., "Risk, science and democracy", *Issues in Science and Technology*, Spring 1985. *Science*, 236:233-364, 1987; several articles on risk assessment.

Smith, R. L., "Use of Monte Carlo simulations at a Superfund site", *Risk Analysis*, 14(4), pp. 433-439, August 1994.

*Technical Guidance for Hazards Analysis: Emergency Planning for Extremely Hazardous Substances*, USEPA, FEMA, DOT, Washington, 1987.

Thompson, K., D. Burmaster, and E. Crouch, "Monte Carlo techniques for quantitative uncertainty analysis in public health assessments", *Risk Analysis* 12(1), pp. 53-63, 1992.

Travis, C., and J. Morris, "The emergence of ecological risk assessment (editorial)", *Risk Analysis* 12(2), pp. 167-168, 1992.

United Nations Environment Programme (UNEP), APELL (Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level), A Process for Responding to Technological Accidents, Industry and Environment Program, Paris, France, 1988.

Wallace, W., and D. Lincoln, "How scientists make decisions about groundwater and soil remediation", National Research Council Colloquium, Washington, 1989.

---

# CAPÍTULO 5

---

## RIESGOS DE SALUD PÚBLICA Y DE SEGURIDAD

### PREVENCIÓN Y OTRAS INICIATIVAS

---

**Rao V. Kolluru, Dr.P.H.\***

*CH2M Hill*

*Parsippany, New Jersey*

*Renovamos nuestro agradecimiento a nuestra madre, la tierra, que nos mantiene. . .  
al viento, el cual, al mover el aire, ha desvanecido las enfermedades. . .  
a nuestro abuelo, He-no, que ha protegido a sus nietos. . .  
y nos ha dado su lluvia. . . al sol, que ha contemplado la tierra con mirada  
benevolente.*

ORACIÓN IROQUÉS DEL DÍA DE GRACIAS  
(*National Geographic, Octubre de 1991*)

**En este capítulo:**

- Salud pública y seguridad: la prevención es la clave
- Estado de la salud y las enfermedades en el mundo
- Salud pública y seguridad en Estados Unidos: una panorámica
- Seguridad y salud ocupacional
- Exposiciones residenciales/en interiores
- Exposiciones ambientales/en exteriores
- Nutrición, estilo de vida y salud
- El sistema norteamericano del cuidado de la salud

---

\* Paul Brandt-Rauf, Sc.D. M.D., Dr.P.H., de la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Columbia y Michael Utidjian, M.D. de American Cyanamid Company, revisaron este capítulo y presentaron valiosas sugerencias.

Partes de este capítulo han sido adaptadas de uno escrito por el autor y publicado en *Environmental Strategies Handbook: A Guide to Effective Policies and Practices* (McGraw-Hill, Nueva York, 1994, Rao Kolluru, editor).

## SALUD PÚBLICA Y SEGURIDAD: LA PREVENCIÓN ES LA CLAVE

La triada de la salud y el bienestar humano consta de calidad ambiental, salud pública y tratamiento y cuidado de enfermedades e incapacidades. En tanto que el tema dominante de la calidad ambiental es la preservación, el de la salud pública es la prevención. Este capítulo complementa los capítulos anteriores sobre evaluación y administración de riesgos.



Este capítulo presenta en primer término una panorámica de la salud mundial, haciendo énfasis en enfermedades infecciosas y contagiosas. Hasta en Estados Unidos, donde hemos tendido a contemplar estas enfermedades con interés histórico como remanentes extraños de una era desaparecida, el resurgimiento de la tuberculosis, la aparición del SIDA y los frecuentes episodios de agua común y enfermedades provenientes de los alimentos han servido para recordarnos que la declaración de victoria sobre las enfermedades microbianas pudo ser prematura.

La panorámica mundial de la salud viene seguida de una sección sobre riesgos de seguridad. Aun cuando algunos profesionales de la salud pública consideran que los riesgos de seguridad están fuera del dominio de la salud pública, consideramos que son o deberían ser una gran parte del enfoque en la salud pública. De acuerdo al Consejo Nacional de Seguridad, hasta 90 000 muertes y 18 millones de heridas incapacitantes resultaron de accidentes ocurridos en 1993. El costo económico total ascendió a 408 mil millones de dólares, aparte de su impacto inconmensurable en la calidad de vida. En las páginas siguientes, los peligros ocupacionales, residenciales y ambientales y sus exposiciones son estudiados bajo distintos encabezados, aun cuando ciertamente se traslapan en un grado considerable (Fig. 5.1).

El estudio sobre la nutrición, estilo de vida y la salud presentado a continuación, es para mantenerse en la tendencia hacia una participación personal más activa en la "salud total". También se estudian los factores de riesgo y los medios de prevención o control de enfermedades importantes, incluyendo las cardiovasculares (corazón), cerebrovasculares (ataques) y el cáncer, que resultan en dos terceras partes de todas las muertes en Estados Unidos.

La sección final se enfoca hacia el sistema de "cuidado de la salud" norteamericano en el que las necesidades de los pacientes y de la sociedad se han vuelto meramente incidentales para un marco de incentivos legislados por el Congreso. La reforma a la salud pública fue pronunciada muerta en 1994, a pesar de los valientes esfuerzos del presidente Clinton y su esposa. Sin embargo, el colapso no fue sorprendente, ya que la reforma se enfocó en costos (que son irrelevantes en tal sistema), en lugar de las demandas de ingresos de los grupos franquiciados. Presentamos una prescripción simple, quizá inocente, para construir un sistema que responda a las necesidades de la sociedad en congruencia con la asignación de recursos nacionales. Además, se presentan guías para iniciativas individuales, de la sociedad y corporativas para minimizar los riesgos a la seguridad y la salud y el cambio de recursos de programas de "enfermedades" a los de "bienestar".



FIGURA 5.1 Exposiciones potenciales y grado del control personal.

### Jerarquía de prevención

En la salud pública existe una jerarquía de medidas preventivas: primarias, secundarias y terciarias. La *prevención primaria* generalmente, pero no siempre, es la estrategia más efectiva, incluye la eliminación de la fuente o amenaza de enfermedad antes de que se desarrolle. La *prevención secundaria* es la pronta detección y el tratamiento tempranos para minimizar el impacto. La *prevención terciaria* consiste en la rehabilitación y reducción del daño residual.

Un buen ejemplo de una prevención primaria de éxito es la mejoría en la sanidad básica y la higiene a principios de este siglo, que combinada con campañas de vacunación, virtualmente eliminaron las enfermedades infecciosas y contagiosas en Estados Unidos y Europa. En la última parte del siglo, la atención cambió a las enfermedades crónicas tales como las enfermedades del corazón y el cáncer que se han vuelto prevaletentes en las sociedades industrializadas.

Ejemplos de la prevención secundaria y terciaria son los estudios de cáncer mamario y cervical para una pronta detección y tratamiento; la administración de enfermedades crónicas a largo plazo como la diabetes, la hipertensión y la artritis y la rehabilitación de víctimas de ataques, accidentes u otras incapacidades.

En un amplio sentido, el concepto de ciclo de vida de círculo cerrado de "cuna a cuna" para productos e instalaciones, incluye una prevención primaria, en tanto que el concepto de "cuna a tumba" representa la prevención secundaria. Los Programas de Superfund y RCRA que requieren cientos de miles de millones de dólares, tipifican la prevención terciaria. Un informe de la Oficina de Contabilidad General Norteamericana sobre las aguas subterráneas señala que si bien el nuevo enfoque de la EPA parece hacer énfasis en la prevención, no está acompañada de un cambio significativo en la asignación de prioridades de recursos. Una excepción notable es el Programa de Protección de Cabezas de Pozos de la EPA; el informe estima que cuesta menos de 10 millones de dólares federales el establecer un programa de prevención como ése, en tanto que cuesta el doble, 20 millones de dólares el limpiar el agua subterránea en sólo uno de los más de 1 200 sitios de Superfund NPL.

La legislación norteamericana más importante en términos de prevención es la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA) de 1976, la Ley de Prevención de la Contaminación de 1990 y los requerimientos RCRA para la reducción de desperdicios. La TSCA reconoce que las consideraciones sobre la salud y ambientales se atienden con mayor facilidad, antes que después, de que un químico se produce y presenta en el comercio. Requiere notificaciones previas a la manufactura (PMN) y una notificación de uso adicional significativo. La Ley de Prevención de la Contaminación representa un cambio serio de la política nacional del control desde el final de la tubería a la reducción de fuentes que estableció una jerarquía de prevención o reducción en la fuente, seguido por un reciclaje, tratamiento y disposición como último recurso.

¿Por qué es la prevención, en especial la prevención primaria, tan crítica para nosotros como nación? El valor relativo de la prevención frente a la cura queda expresada de manera

elocuente por creencias populares tan comunes como “una onza de prevención vale una libra de curación” y “una puntada a tiempo, salva nueve”. Como señaló el profesor Bernard Goldstein de UMDNJ de la Escuela de Medicina Robert Wood Johnson, “desde mi punto de vista, la contribución más importante de la EPA ha sido la prevención de lo que todavía no ocurre” (*EPA Journal*, marzo-abril de 1991).

Prevencción primaria ← secundaria ← terciaria  
 ←  
 Efectividad creciente (¿por orden de magnitud?)

La prevención es particularmente efectiva en situaciones en las que, basados en nuestro conocimiento de las relaciones causa-efecto, podríamos predecir los efectos que ocurrirían si no se toman acciones para prevenir o mitigar tales efectos. No obstante, como puede observarse en las tablas 5.1 y 5.2, puede haber diferencias en orden de magnitud en costos y efectividad aun en la prevención primaria, dependiendo, por ejemplo, de si se trata del cuidado de la salud primaria o controles ambientales, la subsistencia de los peligros, la posibilidad de efectos significativos y los costos en incremento de la prevención. En términos generales, la prevención que incluye factores nutricionales y de estilo de vida, debe ser nuestra primera línea de defensa, excepto en emergencias, cuando las medicinas y tratamiento agudo, por supuesto, tienen prioridad.

**TABLA 5.1** Mediana de estimado de costo por vida-año salvados como una función de etapa de prevención y tipo de intervención

	Medicina	Reducción de heridas fatales	Control de toxinas
Primaria	\$ 5 000	\$48 000	\$2 782 000
Secundaria	23 000	NA	NA
Terciaria	22 000	NA	NA
Todas	19 000	48 000	2 782 000

*Fuente:* Tengs et al., 1994.

**TABLA 5.2** Gastos estimados por vida-año salvados: programas selectos

	U.S. \$ 1990
Vacunación infantil	Ahorro directo
Gasolina con plomo	Ahorro directo
Reglas de seguridad en fases terminales en sitios de construcción subterránea	52 000
Hemodiálisis en un centro de diálisis	56 000
Cirugía de bypass de arteria coronaria	68 000
Bolsas de aire en asientos delanteros de autos nuevos	109 000
Controles de efluentes de dioxina en molinos de papel	5 570 000

*Fuente:* Adaptado de la Escuela de Salud Pública de Harvard, Centro para Análisis de Datos de Riesgos.

## **ESTADO DE LA SALUD Y LAS ENFERMEDADES EN EL MUNDO**

A lo largo de la historia, hasta principios del siglo, las enfermedades infecciosas eran la causa predominante de incapacidades y muertes en todo el mundo. En Estados Unidos y otros países industrializados, el desarrollo de agua limpia, el aprovisionamiento de alimentos y el advenimiento de los antibióticos después de la Segunda Guerra Mundial, parecían haber relegado las enfermedades infecciosas a un sitio en la historia, en tanto que el enfoque en la salud pública se volvió hacia enfermedades crónicas “de estilo de vida”. Los países en desarrollo

siguieron asolados por enfermedades infecciosas y también agregaron enfermedades “modernas” tales como padecimientos del corazón y el cáncer a su repertorio.

La reciente ocurrencia de un cúmulo de episodios microbianos en los países desarrollados desde las enfermedades del Legionario a la de Lyme, el resurgimiento de la tuberculosis y la aparición del SIDA, nos sacaron de nuestra complacencia. Tal vez el logro en salud pública más significativo a la fecha fue limpiar los depósitos de agua, y ahora también empieza a mostrar puntos vulnerables. En el mayor episodio en enfermedad provocada por el agua en Estados Unidos, casi 400 000 residentes de Milwaukee fueron atacados en 1993 con una extraña enfermedad causada por *cryptosporidium*. El desprecio humano por los ataques microbianos quedó elocuentemente expresado en la portada de la revista *Time*: “La venganza de los microbios asesinos —¿Estamos perdiendo la guerra contra las enfermedades infecciosas?” (12 de septiembre de 1994). No es como si los microorganismos estuvieran maliciosamente dedicados a destruir a la humanidad. Se reproducen, adaptan y habitan como los humanos. Numerosas especies son benéficas y mil millones de bacterias coexisten en nuestro tracto gastrointestinal; de hecho, la vida como la conocemos en este planeta sería imposible sin los microbios. Sólo cuando ese equilibrio se altera con severidad, ya sea a través de variaciones naturales o por las actividades de los humanos, enfrentamos consecuencias desastrosas. La proliferación de cultivos resistentes a los medicamentos y vectores resistentes a los pesticidas (agentes transmisores de enfermedades), aun cuando inevitables en el programa evolutivo de las cosas, se ha acelerado por el poco juicioso uso de antibióticos y pesticidas.

Esta sección presenta una sinopsis de la salud global basada principalmente en publicaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), del Banco Mundial y comunicaciones personales. Un informe conjunto del Banco Mundial y la OMS, *The Global Burden of Disease in 1990* (Banco Mundial, 1994), contiene información detallada sobre las enfermedades por región. (Se presenta un resumen en la tabla 5.3.) El informe del Banco Mundial es especialmente interesante ya que examina el juego entre la salud humana, la política de salubridad y el desarrollo económico. Un nuevo indicador llamado *disability adjusted life years* (DALY) fue desarrollado para capturar la cantidad entera de enfermedades durante la vida de un ser, debido a nuevos casos de enfermedades y heridas. Cualesquiera que sean las medidas o indicadores utilizados para medir la enfermedad y la incapacidad, no existe duda acerca del enorme impacto en la calidad de vida y productividad del individuo.

### **Situación general: avance esporádico**

**Muertes por todas las causas.** Como se muestra en la tabla 5.3, las enfermedades transmisibles causaron 17 millones de muertes a nivel mundial o como una tercera parte de los 50 millones de muertes totales en 1990. Las enfermedades no transmisibles ahora comprenden la causa principal de mortalidad, representando 29 millones o el 58%, de todas las muertes. Las heridas provocaron un poco más de 4 millones de muertes u 8% del total de fallecimientos.

**Nacimientos y muertes.** Cada año, nacen más de 140 millones de bebés y 50 millones de personas mueren. Alrededor de 11 millones de fallecimientos ocurren en los países desarrollados y el restante en los países en desarrollo. Aproximadamente 93% de estas muertes son atribuibles a enfermedades y padecimientos.

**Ámbito de vida.** La expectativa de vida se incrementó de 1 a 2 años durante la última década y va de 50 años en los países menos desarrollados a 76 años en las economías industriales más desarrolladas, con un promedio mundial de 65 años. La mujeres sobreviven a sus contrapartes masculinas por sólo 2 años en los países menos desarrollados, pero por 7 años en los más desarrollados. Para 1994, la población mundial había crecido a 5.6 mil millones.

**Desnutrición.** Alrededor de 800 millones de personas, un promedio de una en siete, sufren de desnutrición crónica, en su mayoría en los países pobres. Una tercera parte de los niños menores de 5 años (150 millones), excluyendo a China, están bajos de peso y sufren de deficiencias nutritivas, algunas irreversibles.

**TABLA 5.3** Estado de salud del mundo y enfermedades: muertes por todas las causas a nivel mundial (millones), 1990

Causa	Millones	Porcentaje
Enfermedades contagiosas	17	34
Enfermedades no contagiosas	29	58
Heridas	4	8
Total	50	100
<b>Enfermedades transmisibles/infecciosas</b>		
Neumonía y otras infecciones respiratorias agudas	4.3+	
Enfermedades diarreicas, incluyendo cólera	3.2	
Tuberculosis	3	
Malaria	2-3	
Hepatitis B	1-2	
Papera	1	
Tétano y tosferina neonatal	1	
SIDA (a partir de 1993)	1	
Todas las demás	~1	
Total	17	
<b>Enfermedades no transmisibles más importantes</b>		
Cardiovasculares		
Países desarrollados	6	
Países en desarrollo	6	
Cáncer		
Países desarrollados	2.5	
Países en desarrollo	2.7-3	
Total de muertes por todas las causas		
Países desarrollados	11	
Países en desarrollo	39	
Total	50	

Fuentes: World Health Organization y Banco Mundial.

**Mortalidad infantil y muertes relacionadas con el embarazo.** La mortalidad infantil va de 2% de los nacimientos vivos en las naciones industrializadas a más de 10% en los países más pobres, aun cuando la tasa ha decrecido en años recientes como resultado de la creciente campaña de vacunación infantil. Más de medio millón de mujeres mueren por causas relacionadas con el embarazo, incluyendo hemorragia postparto, abortos inseguros y otras complicaciones.

### Enfermedades transmisibles/infecciosas

**Neumonía/infecciones respiratorias agudas.** Las infecciones respiratorias son la causa de mortalidad principal en los países pobres, reclamando la vida de 4.3 millones de niños al año. Dos mil millones de episodios de infecciones respiratorias agudas son reportadas en todo el mundo cada año. La neumonía/influenza es la sexta causa principal de mortalidad en Estados Unidos, representando 76 000 o 3% del total de muertes.

**Enfermedades diarreicas.** A pesar de un notable avance en la presentación de sales rehidratantes orales en los países pobres, las diarreas, en su mayor parte debidas a gastroenteritis infecciosa provoca 3.2 millones de muertes de niños, debido a condiciones insalubres. Una epidemia de cólera se ha extendido hacia el oeste entre indicios de convertirse en endémica en América del Sur.