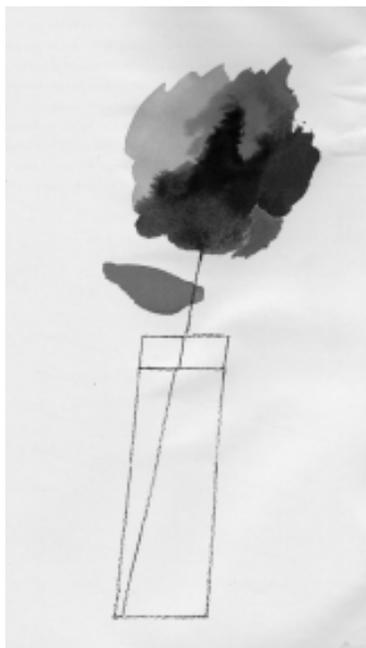


# La evaluación de riesgo por sustancias tóxicas

IRINA IZE LEMA



La evaluación de riesgo es una forma de examinar un peligro a fin de evitarlo o reducirlo. Para los fines de este artículo, el concepto de análisis de riesgo se enfocará a los potenciales efectos adversos a la salud o al ambiente causados por una sustancia química tóxica. Para una evaluación de riesgo de este tipo se requiere información de una variedad de disciplinas como son la toxicología, la epidemiología

y la ecología así como de la química, la física y las matemáticas. Se enumeran aquí los aspectos que más comúnmente se incluyen en un análisis de riesgo por sustancias tóxicas de acuerdo con la Academia Nacional de Ciencias (NAS) de los Estados Unidos de América y se establecen algunos de los elementos necesarios para un análisis de riesgo ecotoxicológico.

## ¿QUÉ ES UN RIESGO?

En términos generales, un riesgo es la posibilidad de que ocurra algo con consecuencias negativas (USEPA 2001). Los riesgos nos rodean en la vida diaria y existen a cierto nivel en todas las actividades que realizamos: corremos un riesgo al manejar un automóvil, al poner dinero en la bolsa de valores o al ingerir un medicamento. Todas estas actividades conllevan importantes beneficios pero también pueden tener consecuencias negativas con diferente grado de severidad. Una definición completa de riesgo tiene que comprender el concepto de exposición a un peligro. Ésta puede ser voluntaria: por ejemplo, el esquiar o saltar con un paracaídas son actividades peligrosas en las cuales se decide libremente correr el riesgo de llegar a sufrir un accidente. Pero también existe la exposición involuntaria a un peligro, como puede resultar la exposición a sustancias tóxicas presentes en el medio ambiente, en el aire que respiramos o en el agua y alimentos que ingerimos. Los efectos negativos de una exposición de este tipo dependerán de la toxicidad de la sustancia, de la dosis, y del tiempo y frecuencia de la exposición.

## ANÁLISIS DEL RIESGO

El análisis de riesgo se divide en *evaluación de riesgo* y *manejo de riesgo*. La evaluación de riesgo es el uso de los datos y observaciones científicas para definir los efectos a la salud causados por la exposición a materiales o situaciones peligrosas (NAS 1983). Las preguntas en este sentido son: ¿existe un riesgo por exposición a una sustancia química? ¿qué se sabe de ese riesgo? ¿quién puede verse más afectado por el riesgo?. La evaluación de riesgo consiste en la recolección de datos para relacionar una respuesta a una dosis. Esos datos de dosis-respuesta pueden entonces ser combinados con estimaciones de la exposición de humanos u otros organismos para obtener una evaluación completa del riesgo.

## ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO

En el campo de la salud y del medio ambiente, el riesgo se identifica como *la probabilidad de que un individuo o una población presenten una mayor incidencia de efectos adversos por exposición a un peligro* (USEPA 2001). Con frecuencia, resulta útil comparar la evaluación de riesgos con análisis similares de situaciones comunes de manera que se facilite su entendimiento, para que el ciudadano común pueda poner en perspectiva, según su propio juicio, la magnitud de un riesgo en términos relativos (comparado, por ejemplo, con algunas otras de sus actividades cotidianas). El riesgo se expresa a menudo en términos cuantitativos de probabilidad, como es el caso del número de muertes adicionales por cáncer a lo largo de una vida en una población de un millón de individuos expuestos.

Un riesgo de uno en 10,000 se expresa como un riesgo de  $10^{-4}$ , 1 en un millón,  $10^{-6}$ , y así sucesivamente. Históricamente, los riesgos menores a  $10^{-6}$  se han considerado como no preocupantes (ACS 1998). En el cuadro 1 se presentan ejemplos de actividades o situaciones que llevan asociadas un riesgo de uno en un millón. Se puede observar, que una persona que fuma 1.4 cigarros por día tiene un riesgo equivalente al de una persona que vive durante 50 años a unos 10 kilómetros de una central nuclear. Hay que recordar, sin embargo, que la propia naturaleza probabilística de estos valores significa que representan estimaciones o aproximaciones y que no pueden considerarse como valores absolutos.

La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS 1983) sugiere que la evaluación de riesgos se divida en los cuatro pasos siguientes:

- . Identificación del peligro
- . Evaluación de la exposición
- . Evaluación de la dosis respuesta
- . Caracterización del riesgo.

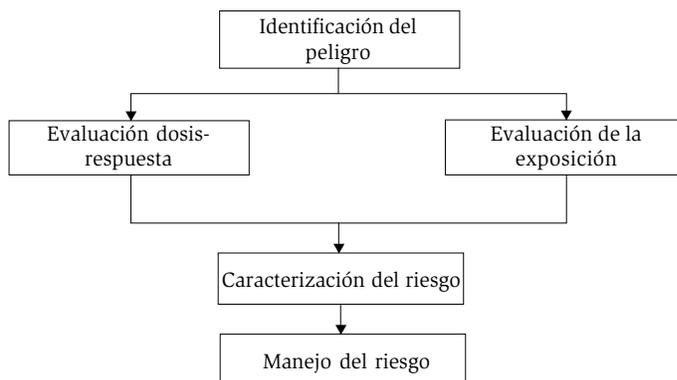
CUADRO 1. ACTIVIDADES QUE AUMENTAN EL RIESGO DE MORTALIDAD POR UNO EN UN MILLÓN

ACTIVIDAD	TIPO DE RIESGO
Fumar 1.4 cigarrillos por día	Cáncer, enfermedad cardiovascular
Beber ½ litro de vino por día	Cirrosis hepática
Pasar una hora en una mina de carbón	Enfermedad pulmonar
Vivir dos días en Nueva York o en Boston	Contaminación del aire
Viajar 450 km en coche	Accidente
Volar 1,600 km en un avión	Accidente
Viajar 6,000 millas en un avión	Cáncer por radiación cósmica
Viajar 15 km en bicicleta	Accidente
Viajar seis minutos en canoa	Accidente
Vivir dos meses de verano en Denver (vs. nivel del mar)	Cáncer por radiación cósmica
Vivir dos meses con un fumador	Cáncer, enfermedad cardiovascular
Comer 40 cucharadas de crema de cacahuete	Cáncer en el hígado por aflatoxinas
Comer 100 pedazos de carne asados al carbón	Cáncer por benzopireno
Vivir 50 años a 10 kilómetros de un reactor nuclear	Accidente que libere radiaciones

Fuente: Wilson 1987.

Estos cuatro elementos se relacionan entre sí como se muestra en la figura 1.

FIGURA 1. EVALUACIÓN DE RIESGO



Se considera que la evaluación de riesgo es un proceso de cuatro etapas (identificación, evaluación de la exposición y de la dosis-respuesta y caracterización del riesgo) seguidas del manejo de riesgo (NAS 1983).

## IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

La identificación del peligro es el proceso de determinar si un compuesto químico está vinculado con ciertos efectos a la salud, como el desarrollo de cáncer o de algún defecto congénito (NAS 1983). La identificación del peligro no contempla su cuantificación, sino que se basa en la revisión de los datos epidemiológicos (en población humana) y/o toxicológicos disponibles para determinar si la exposición a una sustancia química puede causar consecuencias negativas en la salud. Como los datos en humanos no son siempre fáciles de obtener, este paso generalmente se enfoca a determinar si una sustancia es tóxica para animales u otros organismos en los que se pueden realizar pruebas de laboratorio.

## TOXICIDAD

Un compuesto tóxico puede entrar al cuerpo por una de las siguientes vías: *oral*, por ingestión de comida o agua; *respiratoria*, por inhalación o *dérmica*, por contacto con la piel. La sustancia química puede causar daños en el sitio de contacto o puede ser absorbida, transportada y distribuida por la sangre hasta alcanzar diversas partes del organismo, llamados órganos blancos. El tipo y la intensidad de sus efectos nocivos dependerán de su concentración en estos órganos, de su forma química y física y del tiempo de permanencia. También se relacionan con la capacidad del organismo para eliminar a la sustancia tóxica por biotransformación, es decir, su transformación a una forma más fácilmente excretable.

El hígado es el órgano del cuerpo encargado de filtrar la sangre antes de que sea bombeada a los pulmones, y de metabolizar las sustancias tóxicas, convirtiéndolas generalmente a formas solubles en agua para facilitar su excreción. Por lo tanto, debido a su función y a la biotransformación de las sustancias tóxicas que realiza, el hígado es también uno de

los órganos más expuestos y más vulnerables a los compuestos químicos. Las sustancias químicas que lo dañan son llamadas sustancias *hepatotóxicas*. Los riñones también tienen por función filtrar la sangre y son por lo tanto susceptibles a toxinas, en este caso llamadas *nefrotóxicas*. Las sustancias químicas pueden también ser *hematotóxicas*, es decir, tóxicas para la sangre (como, por ejemplo, el monóxido de carbono), o *neurotóxicas*, es decir tóxicas para el sistema nervioso como es el caso del plomo (Moeller 1997).

Algunos compuestos químicos tóxicos pueden afectar directamente el material genético de las células llamado ácido desoxirribonucleico o ADN. Estos compuestos se denominan *genotóxicos* o *mutagénicos*, ya que son capaces de causar cambios o *mutaciones* en el ADN. Las mutaciones provocan que la célula no funcione de manera correcta causando en algunos casos la muerte programada de la célula, o apoptosis, cáncer, enfermedad en la que la célula se divide de manera incontrolada, o problemas que se hacen aparentes en el momento del nacimiento (congénitos). Las sustancias químicas capaces de causar cáncer son llamadas *cancerígenos*; las sustancias químicas capaces de causar defectos congénitos son llamadas *teratógenos*. La Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (USEPA 1986) usa la clasificación presentada en el cuadro 2 para los compuestos potencialmente cancerígenos.

## EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Un concepto muy importante es que la evaluación de riesgo tiene dos componentes: la toxicidad de la sustancia involucrada y el grado de exposición a esa sustancia. Si no existe exposición a una sustancia (contacto con ella), por más tóxica que ésta sea, no existe riesgo. La evaluación de la exposición es el proceso de medir o estimar la intensidad, frecuencia y duración de la exposición, o la estimación de la exposición potencial que pudiera ocurrir por la libe-

CUADRO 2. CLASIFICACIÓN DE COMPUESTOS CANCERÍGENOS

GRUPO	CLASIFICACIÓN	DEFINICIÓN
A	Cancerígeno humano	Existe suficiente evidencia epidemiológica para establecer una relación causal entre exposición al agente y el desarrollo de cáncer.
B	Probable cancerígeno humano	B1: si la evidencia en humanos es limitada B2: si existe evidencia en humanos inadecuada pero la evidencia en animales es suficiente.
C	Posible cancerígeno humano	Si la evidencia en humanos es inadecuada y la evidencia en animales es limitada.
D	No clasificado	Si las evidencias tanto en humanos como en animales son inadecuadas, o faltan datos.
E	No cancerígeno	Si existe evidencia negativa en por lo menos dos estudios en animales o en estudios tanto epidemiológicos como en animales.

Fuente: USEPA 1986.

ración al ambiente de nuevas sustancias tóxicas (McKone y Daniels 1991).

La evaluación de la exposición puede hacerse por métodos directos o por métodos indirectos:

- Métodos de medición *directos* en los cuales se obtienen mediciones de exposición personal. Se utilizan dispositivos de monitoreo personales que miden la exposición directa personal a la sustancia tóxica, por ejemplo, al monóxido de carbono o a compuestos orgánicos volátiles.
- Cuando no es posible obtener mediciones directas de exposición debido, por ejemplo, a que existen varias rutas de exposición o que no es factible ni costeable realizar mediciones directas personales, se utilizan métodos *indirectos* de medición que combinan la información sobre las concentraciones ambientales del tóxico, con la información sobre los patrones de actividad de los grupos humanos o poblaciones de interés.

Esta combinación de datos permite hacer una estimación de la exposición con un modelo matemático.

Un ejemplo de modelo indirecto es un modelo matemático que relaciona las concentraciones de un contaminante en el aire, agua y suelo con la exposición a seres humanos por inhalación, ingestión y vía dérmica. La relación entre la concentración de la sustancia tóxica en el medio ambiente y la exposición humana se determina por medio de Factores de rutas de exposición (McKone y Daniels 1991). Estos factores son expresiones matemáticas que incorporan información sobre la fisiología y las actividades humanas, y que traducen una concentración, como el caso de una concentración en agua en mg/ml, en una ingestión diaria crónica equivalente calculada de por vida y medida en mg/kg-día. Dependiendo del tóxico o contaminante de interés, puede ser



necesario realizar mediciones en diferentes microambientes o en sitios específicos en donde las personas pasan alguna parte del tiempo realizando ciertas actividades (en el hogar, la escuela, la oficina, o en el interior de algún medio de transporte). Estas mediciones son especialmente importantes en casos de tóxicos cuyas principales fuentes generadoras están asociadas de manera diferente en cada uno de los microambientes.

#### EVALUACIÓN DE LA DOSIS-RESPUESTA

Como se mencionó en la sección anterior, la exposición es el evento en el que una persona entra en contacto con una sustancia tóxica. La *dosis*, por su parte, ocurre sólo si esta sustancia cruza las

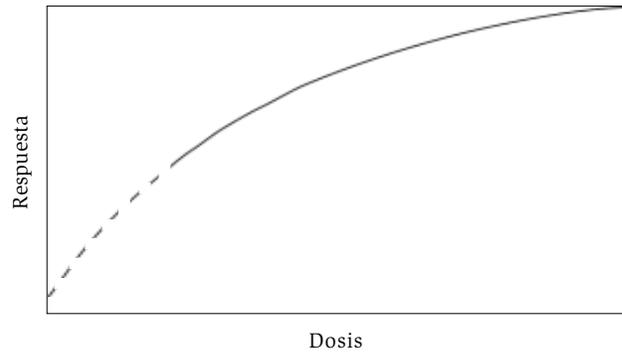
barreras naturales del cuerpo, como son: la piel, las membranas de los alvéolos pulmonares, o las paredes del tracto intestinal (NAS 1983). De esta manera, el objetivo fundamental de una evaluación dosis-respuesta es el obtener una relación matemática entre la cantidad de sustancia tóxica a la cual un ser humano está expuesto y el riesgo de desarrollar una respuesta negativa a esa dosis.

Los compuestos tóxicos pueden inducir efectos a través de mecanismos fisiológicos y metabólicos distintos, lo cual se ve reflejado en la forma gráfica de la relación dosis-respuesta. Tomando como base la forma de la curva dosis-respuesta, se pueden dividir a los compuestos tóxicos en dos categorías generales:

- Compuestos tóxicos *con umbral* o punto a partir del cual se observa un efecto;
- Compuestos tóxicos *sin un umbral* definido para iniciar un efecto.

Se considera que algunos compuestos químicos pueden causar efectos aun a dosis extremadamente bajas, aunque la probabilidad de ocurrencia de estos efectos sea baja. Para este tipo de compuestos no existe un nivel de seguridad. Cuando el nivel de exposición aumenta, también aumenta el riesgo. A niveles de dosis muy bajas, la relación dosis-respuesta es con frecuencia lineal. Esto quiere decir que si el nivel de exposición aumenta dos veces, se espera que el riesgo aumente en la misma proporción. Muchos de los compuestos que inducen cáncer y algunos otros compuestos pertenecen a esta categoría y se les denomina *tóxicos sin umbral* (figura 2).

FIGURA 2. CURVA DOSIS-RESPUESTA PARA UNA SUSTANCIA TÓXICA SIN UMBRAL



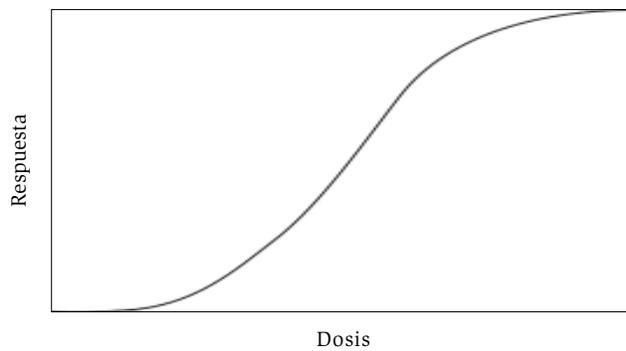
Fuente: Evans 2002.

Por el contrario, se piensa que la mayoría de los compuestos que no inducen cáncer no provocan un efecto adverso hasta que no se alcanza un nivel mínimo de exposición conocido como *exposición umbral*. Una vez que el nivel de exposición está por encima del umbral, la severidad de la respuesta aumenta propor-

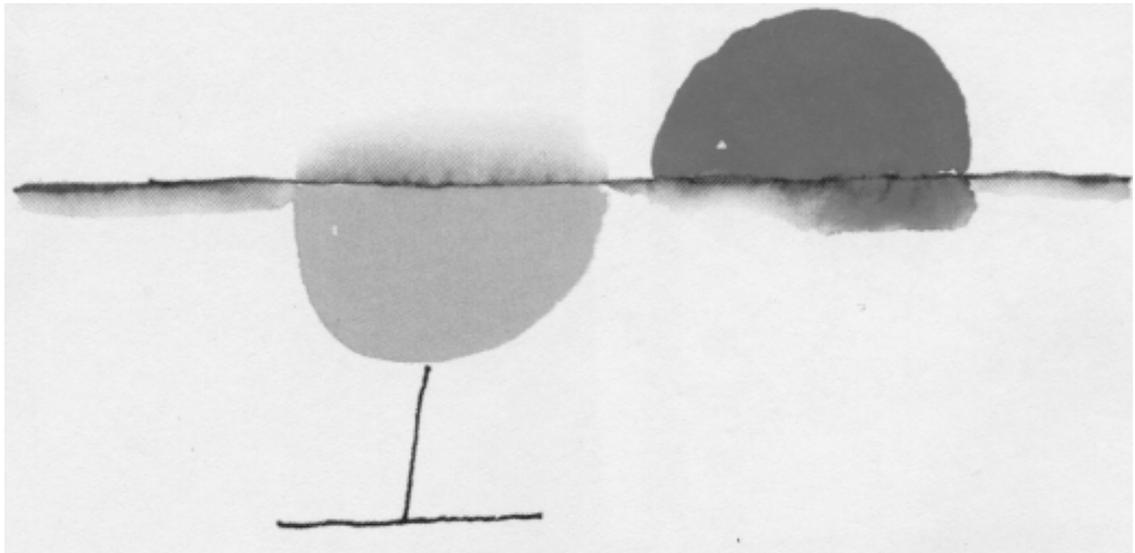
cionalmente al nivel de exposición. Pero por debajo del umbral, se considera que la sustancia tóxica no es capaz de causar un efecto adverso. Estos compuestos tóxicos son denominados *tóxicos con umbral* (figura 3).

Algunos compuestos químicos pueden ocasionar tanto efectos con umbral como efectos sin umbral.

FIGURA 3. CURVA DOSIS-RESPUESTA PARA UNA SUSTANCIA TÓXICA CON UMBRAL



Fuente: *Ibidem*.



La práctica usual en estos casos es enfocarse en los efectos sin umbral del compuesto tóxico ya que, generalmente, la concentración de compuestos tóxicos en el medio ambiente es muy baja. Además de esta forma, la evaluación de riesgo se aborda de una manera más conservadora para garantizar la protección de la salud humana.

Otro concepto importante para la evaluación de riesgos es la distinción entre efectos agudos y crónicos. Los efectos *agudos* pueden manifestarse en cuestión de minutos, horas o días, mientras que los efectos *crónicos* aparecen solamente después de semanas, meses o años del contacto con la sustancia tóxica (Extension Toxicology Network 2002). La toxicidad aguda es en general más fácil de identificar y la evidencia científica obtenida de los estudios a corto plazo es más confiable. Normalmente, se pueden diseñar estudios en animales (generalmente en ratones o ratas) para determinar los efectos causados por la exposición a ciertos niveles de compuestos tóxicos. Ocasionalmente, también es posible obtener datos epidemiológicos por exposición humana por accidentes o situaciones en las que uno o varios individuos entran en contacto con alguna sustancia tóxi-

ca. La determinación de la toxicidad aguda de las sustancias es la base de la regulación y del manejo de los compuestos químicos, sobre todo para casos de exposición ocupacional.

La toxicidad crónica es mucho más difícil de evaluar ya que se intenta valorar la toxicidad a largo plazo. El cáncer es quizás el mejor ejemplo de una enfermedad que responde a una exposición crónica y que presenta una baja incidencia. Si un compuesto tóxico causa unos cuantos casos de cáncer por cada millón de individuos, se considera como no aceptable. Por lo tanto, idealmente, un estudio en animales tendría que involucrar millones de animales expuestos a concentraciones del compuesto tóxico parecidas a las presentes en el medio ambiente es decir, a concentraciones extremadamente bajas. En la práctica, un estudio de este tipo no es realizable. Los estudios de toxicidad crónica se diseñan en grupos pequeños de animales (algunos cientos por lo general) que son expuestos a niveles relativamente elevados de la sustancia tóxica. Estas concentraciones elevadas son necesarias para producir una incidencia de cáncer lo suficientemente alta para ser detectada en la reducida población. Los resultados,

sin embargo, tendrán que ser extrapolados hacia dosis más bajas, es decir las dosis presentes en el ambiente, lo que introduce un cierto grado de incertidumbre en el cálculo del riesgo final. Esta incertidumbre, así como las suposiciones hechas en las evaluaciones de la exposición de la dosis respuesta, tiene que ser explicada cuando se realiza la etapa de caracterización del riesgo.

## **CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO**

La caracterización del riesgo es la última etapa de la evaluación de riesgos en la cual se integra la información sobre la toxicidad obtenida de la evaluación dosis-respuesta y la información obtenida sobre la exposición a la sustancia tóxica. De esta manera se obtiene una base de discusión sobre la naturaleza y el alcance del riesgo. La caracterización del riesgo es, en general, una de las primeras herramientas a través de las cuales los resultados de una evaluación de riesgo se comunica a las personas encargadas del manejo del riesgo, a los tomadores de decisiones, a los periodistas y al público en general.

Actualmente se considera que una caracterización de riesgo completa debe incluir una discusión sobre las suposiciones hechas en los cálculos y sobre las limitaciones e incertidumbres de los datos de la evaluación de riesgo (ACS 1998). La Academia Nacional de las Ciencias de los Estados Unidos de América (NAS 1983) sugiere considerar las siguientes preguntas para la caracterización final de un riesgo:

- . ¿Cuáles son las incertidumbres estadísticas producto de las estimaciones de los efectos a la salud?; ¿cómo se deben calcular y presentar esas incertidumbres?
- . ¿Cuáles son las incertidumbres biológicas?; ¿cuál es su origen?; ¿cómo se van a estimar?; ¿qué efectos tienen en las estimaciones cuantitativas?; ¿cómo se van a describir estas in-

certidumbres a las agencias de tomadores de decisiones?

- . ¿Qué evaluaciones dosis-respuesta y exposición deben utilizarse?
- . ¿En qué grupos poblacionales existe mayor riesgo y por lo tanto son de atención prioritaria?

## **EL MANEJO DEL RIESGO**

El manejo del riesgo es el proceso que permite evaluar diferentes políticas alternativas y seleccionar la acción reguladora más apropiada tomando en cuenta los resultados obtenidos de la evaluación de riesgo y los aspectos sociales, económicos y políticos necesarios para la toma de decisiones (NAS 1983). El manejo del riesgo contesta preguntas como ¿debe preocuparnos este riesgo?, si éste es el caso, ¿qué debe de hacerse al respecto?. El manejo de riesgo consiste en la toma de decisiones para la asignación de recursos de una forma que optimice la protección a la salud y al medio ambiente. Es necesario tomar en cuenta, además de los criterios de salud y ambientales, las consideraciones sociales, económicas y políticas más relevantes.

La evaluación de riesgo también proporciona una base para comparar ventajas y desventajas de un cierto riesgo con el costo asociado a la aplicación de las medidas necesarias para controlarlo. Ejemplos de esto son las campañas de vacunación y de eliminación del plomo en la gasolina. Para estas acciones la evaluación de riesgos demostró que los beneficios económicos relacionados con la atención médica y la mejoría en la salud son infinitamente mayores que los costos de su implementación.

## **PERCEPCIÓN Y COMUNICACIÓN DEL RIESGO**

Como se mencionó muy brevemente al principio de este artículo, la percepción de un riesgo es muy diferente si se trata de riesgos que se corren de manera consciente y voluntaria o de riesgos a los que se está

CUADRO 3. ALGUNAS CARACTERÍSTICAS QUE INFLUYEN EN LA PERCEPCIÓN DE UN RIESGO

ATRIBUTOS QUE <i>ELEVAN</i> LA PERCEPCIÓN DE UN RIESGO	ATRIBUTOS QUE <i>DISMINUYEN</i> LA PERCEPCIÓN DE UN RIESGO
Involuntario	Voluntario
Exótico	Familiar
Incontrolable	Controlable
Controlable por otros	Controlable por uno mismo
Temido	Aceptado
Catastrófico	Crónico
Causado por humanos	De origen natural
No equitativo	Equitativo
De efectos permanentes	De efectos temporales
Sin beneficios aparentes	De beneficios visibles
Desconocido	Conocido
Incierto	Determinado
Fuente no confiable	Fuente confiable

Fuente: Slovic 1987.

expuesto de manera inconsciente o involuntaria. En general, es más fácil que la gente se indigne y sienta mayor temor por los riesgos sobre los cuales no tiene control o no conoce, que por los riesgos que le son familiares y sobre los que siente que tiene control. Por ejemplo, es posible que la gente se sienta más segura viviendo cerca de una estación de gasolina, aunque esté expuesta al benceno, compuesto que se ha demostrado es cancerígeno, que viviendo cerca de una central nuclear de generación eléctrica, con todos sus riesgos desconocidos e inciertos. El cuadro 3 ilustra el concepto de percepción de riesgo, comparando los atributos que parecen estar asociados con una percepción elevada del riesgo.

Estos atributos deben tomarse seriamente en cuenta cuando los evaluadores de esta materia comunican un riesgo al público. La respuesta del público a un riesgo puede ser muy compleja y diversa, y los

problemas detrás de la comunicación, educación y percepción de un riesgo pueden ser un verdadero desafío.

#### **EVALUACIÓN DE RIESGOS ECOLÓGICOS**

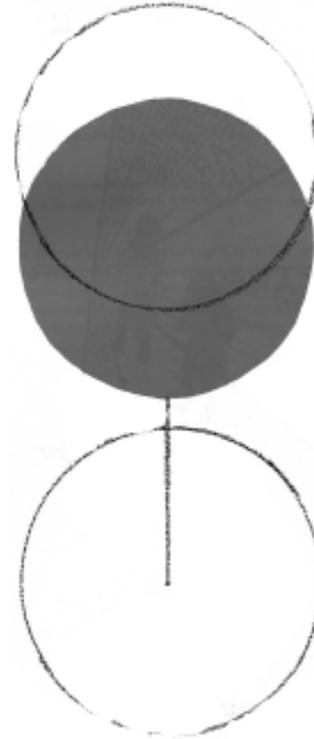
Para evaluar los riesgos ecológicos de las sustancias tóxicas se realizan estudios ecotoxicológicos. Estos estudios se llevan a cabo exponiendo unas cuantas especies, que se consideran representativas, a una sustancia tóxica y extrapolando después a otras especies y en otras condiciones. De esta manera se establecen en el laboratorio relaciones dosis-respuesta para organismos acuáticos invertebrados y vertebrados, insectos polinizadores, microorganismos del suelo y lodos, así como aves y mamíferos predadores. Sin embargo, la ecología, a diferencia de la toxicología, no se concentra únicamente en los organismos individuales

sino en la integridad del ambiente y de los ecosistemas. Por lo tanto, al analizar los efectos de un compuesto tóxico debe considerarse no sólo un aumento en la mortandad de una especie determinada, sino también a la alteración del equilibrio natural existente (INE 2000). De esta manera, mientras que para la evaluación de riesgos a la salud se extrapolan los resultados obtenidos en unas pocas especies de laboratorio a una sola especie, el ser humano, en la evaluación de riesgo ecológico se busca extrapolar los resultados observados en unas pocas especies a grupos de muchos individuos y muchas especies. Esto implica un mayor grado de complejidad en este tipo de evaluación de riesgo.

### CONCLUSIONES

La evaluación de riesgo es considerada por muchos como un campo controversial de la ciencia. Los científicos se quejan a menudo de la dificultad de condensar enormes cantidades de datos con grandes incertidumbres; datos que son a veces conflictivos y hasta ambiguos; datos que son el resultado de extrapolaciones a concentraciones muy por debajo de las concentraciones realmente medidas, para llegar a una o dos cifras que caractericen el riesgo. La controversia es aún más importante cuando ese resultado tiene que ser puesto en perspectiva y alguna autoridad de salud o de medio ambiente tiene que tomar decisiones con base en la cifra obtenida y basar en ella decisiones que afectan a toda una sociedad.

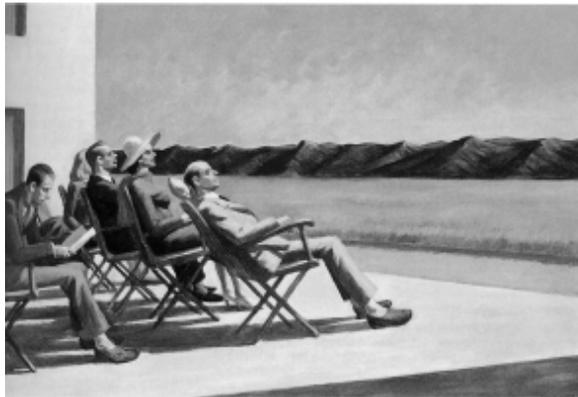
Sin embargo, los expertos consideran que la evaluación de riesgo es una herramienta de gran valor para asegurar que la toma de decisiones se base en la mejor ciencia disponible, y ayudar a que los recursos económicos y humanos sean dirigidos hacia la atención de los peligros más significativos, aplicando programas y acciones de reducción de riesgos que sean costo efectivos.



### BIBLIOGRAFÍA

- American Chemical Society 1998. *Understanding Risk Analysis*. Edición en internet.
- Extension Toxicology Network 2002. Risk Assessment Background. <http://ace.orst.edu/info/extoxnet/2002>, Cornell University.
- Instituto Nacional de Ecología 2000. *Características de peligrosidad ambiental de plaguicidas. Manual de trabajo*. INE, México.
- Masters, G.M. 1991. *Introduction to Environmental Engineering and Science*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- McKone, T.E. y J.I. Daniels 1991. Estimating Human exposure through Multiple Pathways from Air, Water and Soil. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 13: 36-61.

- Moeller, D.W. 1997. *Environmental Health*. Edición revisada. Harvard University Press. Cambridge.
- National Academy of Sciences 1983. *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*. National Academy Press, Washington D.C.
- Secretaría de Salud (SSA). [www.salud.gob.mx](http://www.salud.gob.mx).
- Slovic, P. 1987. Perception of Risk. *Science* 236: 280-285.
- ToxProbe Inc. Risk, Risk Assessment Concepts and Methodology Overview. <http://www.toxprobe.com/pages/publication.htm>.
- United States Environmental Protection Agency 2001. An overview of Risk Assessment and RCRA. EPA530-F-00-032: Washington D.C.
- 1986. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment <http://www.epa.gov/ncea/raf/car2sab/guidelines1986.pdf>.
- Wilson, R. y E.A.C. Crouch 1987. Risk Assessment and Comparisons: An Introduction. *Science* 236: 267-270.



---

**Irina Ize Lema.** Subdirectora de investigaciones para la evaluación de riesgos ambientales del Instituto Nacional de Ecología.  
Correo-e: [arize@ine.gob.mx](mailto:arize@ine.gob.mx).  
Si desea más información sobre este tema consulte la obra *Introducción al análisis de riesgos ambientales* (INE 2003) o visite la página de publicaciones del Instituto Nacional de Ecología.