

La evaluación de riesgos ambientales

Se presenta una breve introducción a la metodología de evaluación de riesgos ambientales como instrumento de caracterización de emplazamientos contaminados y de toma de decisiones en la gestión del riesgo. Se exponen, adicionalmente, la filosofía y los principios operativos de cada una de las fases de una evaluación de riesgos ambientales y se incluyen referencias a los principales documentos guía utilizados en la actualidad.

A brief introduction to the process of environmental risk assessment, as a tool for contaminated - site characterization and risk management, is herein presented. The general idea and operational approaches relevant to each phase of an environmental risk assessment are discussed, and the main sources of information pertaining to this topic are provided.

Eduardo de Miguel
Dr. Ingeniero de Minas
Profesor Titular
Grupo de Geoquímica
Ambiental

E.T.S.I. de Minas de Madrid

aparición específicas y puntuales (indicios superficiales, como pantanos de asfalto), sus concentraciones en el medio natural no alterado son muy bajas o inexistentes.

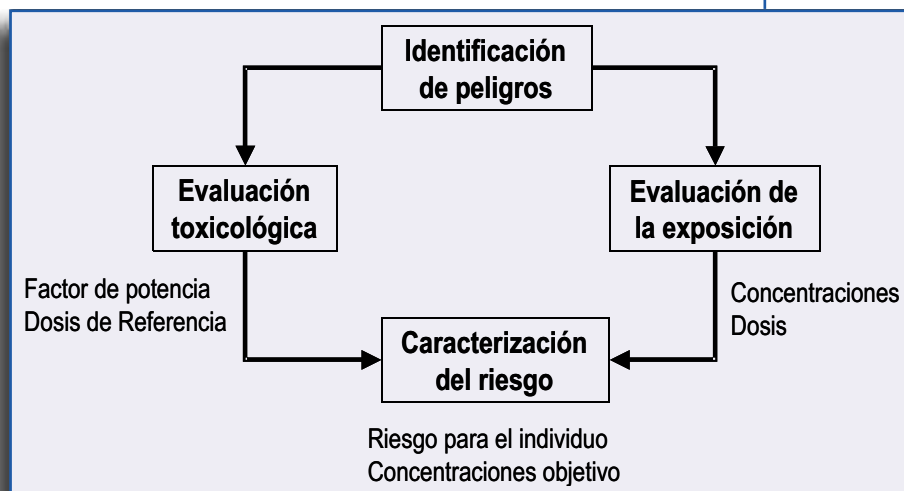
El segundo enfoque, centrado en la promoción de efectos, lleva aparejada la necesidad de analizar el riesgo que para un receptor supone una situación particular o genérica de exposición al elemento o sustancia tóxica, así como de acordar cuándo dicho riesgo se considera inadmisibles. El examen científico y técnico de la naturaleza y magnitud de este riesgo para las personas y otros receptores se denomina Evaluación de Riesgos Ambientales. En este contexto, se acepta que la aparición de riesgo implica el encadenamiento necesario de tres factores: la existencia de un elemento o sustancia tóxica ("peligro"), la presencia de un receptor sensible a dicho peligro y la posibilidad de migración del contaminante hasta un punto de contacto con el receptor ("exposición"). Cuando se cumplen las premisas anteriores, el riesgo que una situación supone puede llegar a ser inaceptable, en función de la potencia tóxica de la sustancia dañina y de la magnitud de la exposición.

Introducción

El concepto de contaminación química implica que, para una situación determinada, se produce la superación de un nivel de concentración de un elemento o una sustancia. Este valor límite suele establecerse, bien como aquél por encima del cual las concentraciones presentes no serían probables sin la contribución de actividades antrópicas (es decir, se supera significativamente el nivel de fondo natural de la zona), bien como aquél del cual podrían derivarse

efectos negativos para la salud de las personas o para los ecosistemas. El primer enfoque no tiene aplicación para productos sintéticos, que, exceptuando las concentraciones residuales de productos persistentes acumulados en el medio natural desde el comienzo de su producción y utilización, no existen en la naturaleza. Tampoco se definen niveles de fondo operativos para los contaminantes orgánicos no sintéticos, fundamentalmente los hidrocarburos del petróleo, debido a que, fuera de zonas de

Figura 1.
Etapas de la evaluación de riesgos ambientales y productos de cada una de ellas.



Esquema de la evaluación de riesgos para la salud humana

La evaluación de riesgos para la salud humana persigue determinar la probabilidad de aparición de consecuencias adversas para la salud humana (y las incertidumbres asociadas a las mismas) provocadas por la presencia de uno o varios

contaminantes en un emplazamiento. La metodología de evaluación del riesgo para receptores humanos puede esquematizarse en cuatro fases: identificación de peligros (o formulación del problema), evaluación toxicológica, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo (Figura 1).

La primera etapa consiste en la formulación del problema, en función de la naturaleza y alcance de la contaminación de los medios naturales y de las zonas potencialmente afectadas. Se persigue identificar el catálogo de sustancias tóxicas presentes en el emplazamiento investigado, las poblaciones que podrían verse expuestas a las mismas, así como la existencia de posibles vías de migración de dichos contaminantes desde la fuente hasta los puntos de exposición para los receptores identificados. La evaluación toxicológica tiene por objetivo caracterizar cuantitativamente la potencia tóxica de los contaminantes hallados. Los productos finales de esta etapa son valores numéricos ("factor de pendiente" o "potencia cancerígena", para sustancias carcinogénicas, y "dosis de referencia", para contaminantes no-cancerígenos) obtenidos a partir de datos epidemiológicos y ensayos con organismos, o, incluso, ensayos *in vitro* y relaciones es-

tructura-actividad. En paralelo a la etapa anterior, la evaluación de la exposición busca establecer las dosis diarias de exposición para los receptores potenciales a partir de la determinación, bien por medidas directas, bien mediante estimaciones resultantes de un código de simulación ("*fate and transport models*"), de las concentraciones de los contaminantes en cada uno de los medios y para cada una de las rutas de exposición contempladas en el modelo conceptual planteado para el emplazamiento. Finalmente, la etapa de caracterización del riesgo consiste en la combinación de la información toxicológica referente a los contaminantes presentes y de la información relativa a las dosis de exposición de los receptores potencialmente afectados, para alcanzar una estimación cuantitativa del riesgo que supone la situación analizada.

Si, una vez evaluada la incertidumbre asociada a la estimación numérica del riesgo, se determina que el nivel del mismo es inaceptable deben ponerse en marcha herramientas de gestión del riesgo identificado (eliminación de la fuente, aislamiento, inmovilización, tratamiento, etc.), las cuales toman en consideración la información proporcionada por las distintas etapas de la metodología expuesta previamente. En particular, el cálculo

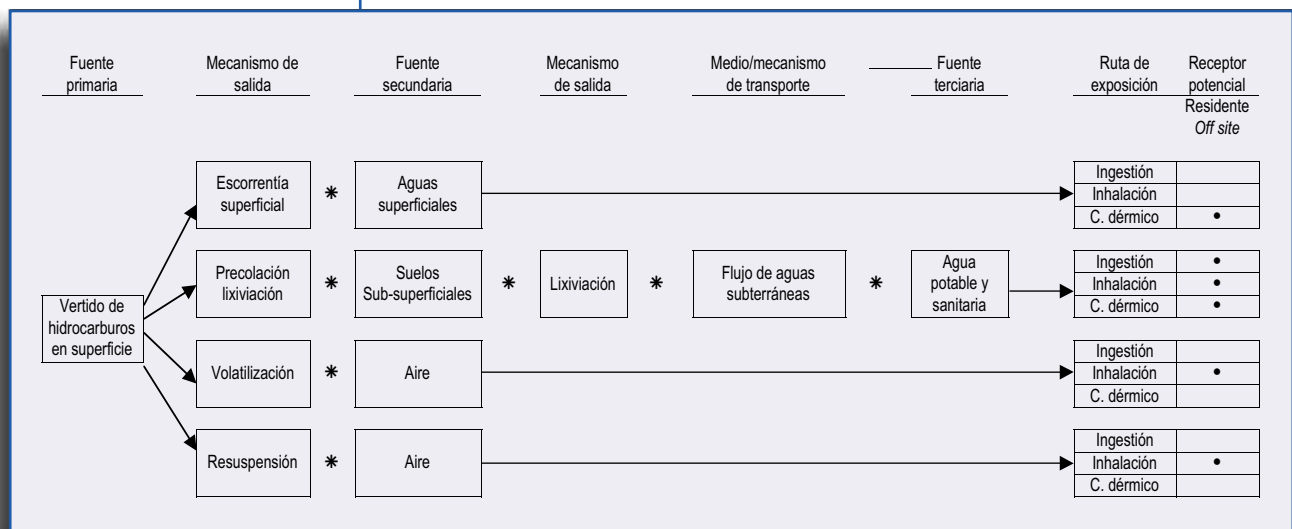
inverso al descrito para la fase de caracterización del riesgo permite determinar las "concentraciones objetivo" que deberían alcanzarse en un proceso de depuración para reducir los niveles de riesgo hasta valores aceptables.

Identificación de peligros / formulación del problema

La primera fase de la evaluación del riesgo ambiental acomete la investigación de las propiedades físico-químicas y toxicológicas de los contaminantes potencialmente presentes en el emplazamiento y de las características físicas (climáticas, geológicas, hidrogeológicas, edafológicas, etc.) y de uso del terreno del mismo, así como de las actividades humanas que tienen o pueden tener lugar y de los grupos de población potencialmente afectados, con especial atención a aquellos factores que puedan influir en la exposición y en la sensibilidad a los agentes tóxicos. Los dos productos más relevantes de esta etapa de la evaluación del riesgo son la relación de contaminantes de (potencial) interés (CO(P)Cs, Contaminants of (Potential) Concern) y el modelo conceptual del emplazamiento (CSM, Conceptual Site Model).

La relación de contaminantes de (potencial) interés recoge todos aquellos agentes conta-

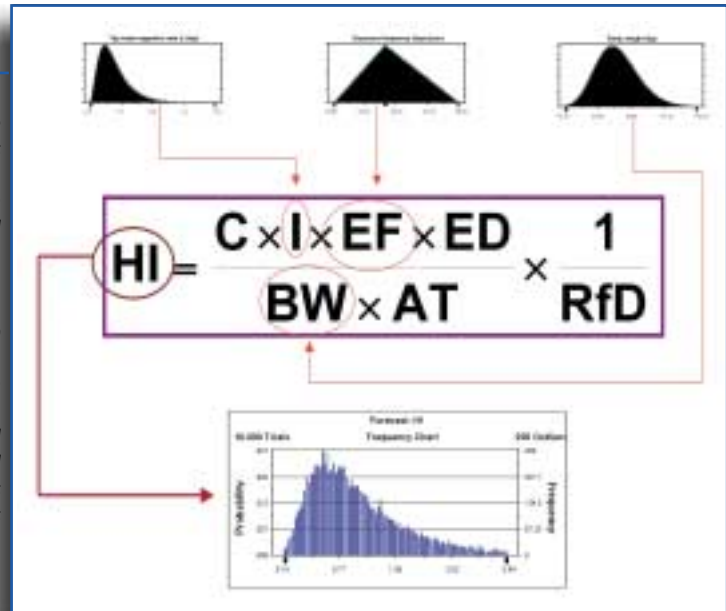
Figura 2. Ejemplo de Modelo Conceptual para exposición en escenario residencial fuera de la zona fuente, constituida por suelo superficial contaminado por vertidos de hidrocarburos del petróleo. Se supone que el abastecimiento de agua potable y sanitaria se realiza mediante un pozo de captación de aguas subterráneas (Σ = vía de exposición completa).



minantes que serán incluidos en las fases posteriores de la evaluación del riesgo (evaluación de la relación dosis respuesta y de la exposición). Aunque los criterios específicos para la consideración o no de una sustancia como COPC varían de una agencia medioambiental a otra, muchas de ellas coinciden en algunos principios generales: Las sustancias que, en el proceso de adquisición de datos, se encuentran por debajo del límite de detección de un método aprobado por las autoridades correspondientes se consideran ausentes del emplazamiento y se excluyen, por tanto, del catálogo de COPCs. Se incluyen todos los compuestos que superan los niveles genéricos (establecidos a partir de criterios de riesgo), y se evalúan todas las sustancias clasificadas como probables cancerígenos en humanos y aquellas para las que no se ha establecido un umbral en cuanto a sus efectos sobre la salud humana. También se evalúan los compuestos bioacumulables que, además, son persistentes y tóxicos, así como los productos de degradación de sustancias que pueden transformarse en compuestos tóxicos. Bajo determinadas consideraciones, los contaminantes que superen sus valores de fondo naturales pasan a formar parte de la relación de contaminantes de potencial interés.

Un modelo conceptual del emplazamiento (CSM, Conceptual Site Model) es una representación esquemática de las áreas fuente del contaminante, los mecanismos de liberación del mismo, los medios de transporte, potenciales rutas de exposición y receptores potenciales (Figura 2). Sólo las vías de exposición que, según el modelo, sean completas serán posteriormente consideradas en el proceso de evaluación del riesgo. Para que una vía

Figura 3. Distribución de riesgos individuales resultante de una Evaluación Probabilística del Riesgo, en la cual la frecuencia de la exposición se ha caracterizado mediante una distribución triangular, y la tasa de ingestión y el peso corporal mediante dos distribuciones log-normales.



de exposición sea completa debe incluir necesariamente los siguientes elementos: una fuente de contaminante y un mecanismo de salida o liberación del mismo, un medio de transporte o de contacto, un punto de exposición donde el receptor pueda entrar en contacto con el medio contaminado; y una ruta de exposición (o ingesta). En caso de ausencia de alguno de estos elementos, la vía se considera incompleta y se descarta la posibilidad de riesgo para la misma (para situaciones de exposición al contaminante exclusivamente en la zona fuente - por ejemplo, trabajadores en el área contaminada o visitantes de la misma - el punto de exposición coincide con la localización de la fuente de contaminación y no se consideran vías de migración en el modelo: exposición on site).

Evaluación toxicológica

Una sustancia tóxica es aquella que es dañina para los organismos vivos debido a sus efectos perjudiciales sobre tejidos, órganos o procesos biológicos (Manahan, 1994). Estos efectos son función del grado de exposición o dosis del agente tóxico, y el daño que eventualmente se produzca dependerá, además, de

la capacidad del organismo expuesto para absorber (a través de la piel, el sistema respiratorio, el tracto gastrointestinal, etc.), distribuir, acumular, degradar y eliminar (en orina, heces y bilis, acompañando al sudor, la leche materna, etc.) la sustancia peligrosa.

La evaluación toxicológica arranca desde la fase de identificación de peligros, en la cual se pretende determinar la naturaleza de los posibles efectos adversos en los receptores por exposición a los agentes químicos presentes, y prosigue con la evaluación de la "relación dosis-respuesta": la relación entre la magnitud de la exposición y el incremento de la probabilidad de aparición o de la seriedad de los efectos dañinos previamente especificados (Ontario Ministry of Environment and Energy, 1996; U.S. Environmental Protection Agency, 1989b). Esta relación dosis-respuesta se evalúa para cada una de las tres rutas de exposición que se toman en consideración (ingestión oral, inhalación y contacto dérmico) y, a efectos de su expresión numérica, las sustancias tóxicas se dividen en dos grandes categorías: contaminantes cancerígenos y contaminantes no cancerígenos (es importante señalar que una misma sus-

tancia puede provocar, tanto respuestas cancerígenas, como no cancerígenas).

En el caso de las sustancias tóxicas no cancerígenas, se admite que existe un rango de magnitudes de exposición, desde cero hasta un valor umbral, que puede ser tolerado por el organismo sin que se manifieste significativamente el efecto tóxico. Para estos elementos o compuestos es posible, por tanto, estimar un nivel de exposición diaria, para cada ruta de exposición y generalmente promediado a lo largo de una vida (dosis crónica), por debajo del cual se asume que no existe riesgo para la salud humana. A esta dosis de exposición se le denomina "dosis de referencia" (RfD, Reference Dose).

Para los agentes cancerígenos, al contrario de lo expuesto anteriormente, se considera que no existe un nivel de exposición que no lleve aparejada una probabilidad finita, por pequeña que sea, de desarrollar una respuesta cancerígena. En este caso, la expresión de la potencia tóxica del contaminante se realiza a través del "factor de pendiente" (SF, Slope Factor) o "potencia de cáncer", que indica el incremento en la probabilidad de desarrollar un cáncer, a lo largo de una vida, por exposición crónica a una dosis unitaria del contaminante. Consecuentemente, la probabilidad de un receptor de desarrollar un cáncer a lo largo de su vida, se calcula como el producto del factor de pendiente y la dosis diaria de exposición crónica.

La información toxicológica relevante para la evaluación de riesgos ambientales se encuentra recogida en diferentes bases de datos de libre acceso. La Agencia de Protección Ambiental Estadounidense, U.S. EPA, mantiene y

actualiza la base *IRIS*, *Integrated Risk Information System*, (U.S. Environmental Protection Agency, 2003), que sirve como primera referencia para las evaluaciones de riesgos ambientales en los Estados Unidos. Información similar o complementaria puede consultarse en otros departamentos de la propia U.S. EPA, como las *Health Effects Assessment Summary Tables*, *HEAST*, o en las bases de datos compiladas por otras agencias, como la *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, *ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2002)*.

Evaluación de la exposición

El propósito de esta fase de la evaluación de riesgos es estimar el tipo y magnitud de la exposición de receptores, actuales o futuros, a los contaminantes de interés, presentes en o migrando desde un emplazamiento (U.S. Environmental Protection Agency, 1989a). La manera más común de expresar la magnitud de la exposición es en forma de dosis diaria, con unidades de masa de contaminante contactada (o absorbida, en el caso de exposición por contacto dérmico) por kilogramo de peso corporal y día. Para la evaluación de la exposición

se toman en consideración tres rutas de exposición: inhalación (de vapores y partículas en suspensión), ingestión (de suelo y polvo, de agua potable, de alimentos) y contacto dérmico (con el suelo y con agua durante el baño).

La evaluación de la exposición se lleva a cabo para cada agente tóxico y por cada vía de exposición completa, y requiere recopilar y combinar información acerca de dos tipos de variables de exposición independientes: En primer lugar, es necesario determinar o estimar las concentraciones de las sustancias tóxicas en los distintos medios (aire, agua, suelo, alimentos, etc.) con los que puede entrar en contacto el receptor en el punto de exposición. En segundo lugar, se han de caracterizar aquellas variables que describen a las poblaciones expuestas y que permiten calcular las dosis de exposición, conocidas las concentraciones en los distintos medios: tasa de contacto con el agente tóxico, frecuencia y duración de la exposición, peso corporal y tiempo de promedio. La fórmula genérica de cálculo de las dosis diarias de exposición toma la siguiente forma:

$$I = \frac{C \leftrightarrow CR \leftrightarrow EF \leftrightarrow ED}{BW \ AT}$$

Muros
Silueta de una
ave marina en la
costa.





Algunas manchas son de difícil limpieza al ser arrastradas por la marea hacia calas de complicado acceso.

donde:

- I: Ingesta – cantidad de contaminante en la frontera de intercambio con el organismo (mg kg^{-1} peso corporal día^{-1}).
- C: Concentración de contaminante – promedio de concentración contactado durante el período de exposición (mg kg^{-1} , mg L^{-1} , etc.).
- EF: Frecuencia de la exposición (días año^{-1}).
- ED: Duración de la exposición (años).
- BW: Peso corporal (kg) – peso corporal medio durante el período de exposición.
- AT: Tiempo de promedio – período sobre el cual se promedia la exposición (días). Para contaminantes no cancerígenos, se considera, por defecto, que $\text{AT} = 365 \times \text{ED}$; para contaminantes cancerígenos, el tiempo de promedio se considera que es una vida completa (70 años, por defecto), es decir, $\text{AT} = 365 \times 70 = 25.550$ días.

El término de concentración puede determinarse mediante medidas directas en el punto de exposición o, en caso de no ser éstas posibles o - más comúnmente - de perseguirse la caracterización de una exposición futura, puede

estimarse a partir de los resultados de modelos: de destino y transporte ("fate and transport models"), de bioconcentración y bioacumulación (para riesgos ecológicos), de exposición en el hogar (modelo de **Ettinger-Johnson**), etc. Cuando la concentración en el punto de exposición se establece tras la realización de una campaña de medidas, el término numérico que se emplea en la fórmula de cálculo de la ingesta es el límite superior del intervalo de confianza en torno a la media para un nivel de confianza del 95%, en el supuesto de que constituye una estimación de la exposición más elevada que se puede esperar que razonablemente aparezca en dicho lugar (RME, Reasonable Maximum Exposure). Si la serie de datos de concentración es corta, puede ocurrir que el límite de confianza mencionado resulte superior al valor máximo de dicha serie; en este caso, la U.S. EPA, recomienda emplear como RME, en la ecuación de cálculo de la ingesta diaria, el valor máximo de la serie.

Los valores que toman las variables de la población, especialmente la tasa de contacto y la frecuencia y duración de la exposición, son fuertemente dependientes del uso pre-

sente o previsto del terreno. A efectos del establecimiento de valores de exposición por defecto, se suelen considerar los siguientes tipos de uso posible del terreno: residencial, agrícola, industrial y comercial (los dos últimos son, en ocasiones, agrupados en una única categoría). Con los escenarios de exposición genéricos establecidos para dichos usos del terreno, pueden establecerse niveles (concentraciones) genéricos de referencia, fundamentados en criterios de riesgo para la salud de receptores humanos o ecológicos (en contraposición a los establecidos a partir de valores de fondo naturales), que sirvan como guía para la investigación preliminar de emplazamientos potencialmente contaminados (U.S. Environmental Protection Agency, 1991; **Canadian Council of Ministers of the Environment**, 1999).

Por último, las características de las variables que intervienen en la evaluación de la exposición y los modelos que se emplean en la misma difieren según dicha exposición tenga lugar directamente a la fuente de contaminante (exposición on site) o, tras un proceso de transporte, en un punto de exposición distante de la misma (exposición off site), y según la exposición se produzca dentro del hogar (indoor exposure) o fuera del mismo (outdoor exposure).

Caracterización del riesgo

La etapa final de la evaluación del riesgo ambiental consiste en la caracterización cualitativa y cuantitativa del mismo a partir de la integración de la información aportada por las etapas de evaluación toxicológica y de la exposición. Esta integración difiere según el contaminante investigado sea cancerígeno o no y, como primera aproximación, se lleva a cabo inde-

pendientemente para cada sustancia tóxica y para cada vía de exposición.

El riesgo para la salud que supone la exposición a una sustancia no cancerígena se caracteriza cuantitativamente mediante el Índice de Peligro (HI, Hazard Index), en el que se compara el nivel de exposición al contaminante y la Dosis de Referencia para la ruta de exposición y el período de exposición correspondientes:

$$HI = \frac{E}{RfD}$$

donde:

E: Nivel de exposición (mg kg⁻¹ peso corporal día⁻¹).

RfD: Dosis de Referencia (mg kg⁻¹ peso corporal día⁻¹).

Se considera que existe un riesgo inaceptable para la salud por exposición a un contaminante no cancerígeno cuando el Índice de Peligro supera la unidad. La magnitud del riesgo es tanto mayor cuanto mayor sea el valor numérico de este cociente.

El riesgo para la salud que supone la exposición a una sustancia cancerígena se caracteriza cuantitativamente como la probabilidad incremental de desarrollar un cáncer a lo largo de una vida, que resulta de combinar la exposición al agente cancerígeno, promediada para una vida, y la potencia cancerígena del mis-

mo, evaluada mediante el factor de pendiente (descrito en un apartado anterior). Para niveles de riesgo bajos (por debajo de 0.01) la ecuación de cálculo del riesgo cancerígeno es:

$$\text{Risk} = \text{CDI} \leftrightarrow \text{SF}$$

donde:

Risk: Probabilidad de desarrollar un cáncer a lo largo de una vida.

CDI: Dosis diaria de exposición crónica (mg kg⁻¹ peso corporal día⁻¹).

SF: Factor de Pendiente (mg kg⁻¹ peso corporal día⁻¹)⁻¹.

El riesgo resultante de la exposición a un agente cancerígeno se considera inaceptable si el producto (I x SF) supera un nivel subjetivo, generalmente establecido entre 10⁻⁴ y 10⁻⁶ (es frecuente emplear 10⁻⁶ como referencia para exposiciones a un único compuesto, y 10⁻⁵ para el riesgo conjunto correspondiente a más de una sustancia).

Para los contaminantes cancerígenos, los valores de exposición empleados en la fórmula anterior se promedian siempre a lo largo de una vida completa. En el caso de sustancias tóxicas no cancerígenas, sin embargo, las exposiciones inferiores a una vida no deben convertirse a exposiciones crónicas para poder ser comparadas con valores

de toxicidad crónica, sino que han de ser confrontadas con la información toxicológica correspondiente (sub-crónica, aguda, etc.) (U.S. Environmental Protection Agency, 1989c).

Aunque existen numerosas consideraciones que deben tenerse en cuenta a la hora de aplicarse, se acepta el principio general de la aditividad de riesgos individuales (U.S. Environmental Protection Agency, 1986 a y b), tanto para compuestos individuales (en el caso de mezclas) por una vía común de exposición, como para el riesgo conjunto por varias vías de exposición.

Por último, si en esta fase de caracterización del riesgo se concluye que el valor del mismo es superior a los niveles establecidos como admisibles, pueden determinarse, mediante un cálculo inverso con las expresiones del Índice de Peligro y del Riesgo cancerígeno, las concentraciones de contaminante ("concentraciones objetivo") hasta las que habría que descender (en una operación de descontaminación) para alcanzar los límites acordados como aceptables.

Evaluación probabilística del riesgo

La evaluación de riesgos ambientales suele llevarse a cabo a partir de estimaciones puntuales de las variables que intervienen en el cálculo de la ingesta (PERA, *Point Estimate Risk Assessment*). El valor puntual que se asigna a estas variables pretende reflejar la exposición máxima razonable que cabe esperar en el punto de exposición. El término de concentración es específico de cada emplazamiento y, como se ha expuesto previamente, la manera de reflejar en el mismo la exposición máxima razonable, cuando se ha determinado a partir de medidas directas en el

Voluntarios venidos de toda España limpian el petróleo en las rocas de "A Pedriña", en la costa de Muxía.



punto de exposición, es mediante el límite superior del intervalo de confianza en torno a la media de dichas determinaciones para un nivel de confianza del 95%. Para las variables que caracterizan la población, se puede trabajar con los resultados de encuestas específicas en el emplazamiento (y calcular valores máximos o percentiles elevados de las distribuciones obtenidas) o se pueden emplear directamente los valores correspondientes a la exposición máxima razonable calculados por agencias gubernamentales a partir de estadísticas nacionales. La Tabla 1 presenta algunos valores por defecto sugeridos por la Agencia de Medioambiente Norteamericana para un escenario de exposición residencial (U.S. Environmental Protection Agency, 1997).

Sin embargo este procedimiento no permite evaluar de forma estricta la variabilidad y la incertidumbre de los resultados obtenidos en la caracterización del riesgo. Por variabilidad se entiende la heterogeneidad o diversidad intrínseca de la población bajo estudio y es, por tanto, una propiedad inherente a dicha población que no puede eliminarse ni reducirse. Por el contrario, el concepto de incertidumbre alude a la falta de fiabilidad de las estimaciones de las variables que intervienen en el modelo o de la estructura del modelo en sí, y puede disminuir si se emplea más o mejor información. El desconocimiento de la incertidumbre asociada a los valores de riesgo determinados para un emplazamiento (y a los parámetros que intervienen en su fórmula de cálculo), supone un grave problema a la hora de decidir si se acometen o no medidas de mitigación del riesgo cuando los valores del mismo están próximos al límite legal correspondiente (por ejemplo,

Variable	RME
Tasa ingestión agua potable	2 L día ⁻¹
Tasa ingestión suelo	100 mg día ⁻¹
- adulto	200 mg día ⁻¹
- infantil	15 m ³ día ⁻¹
Tasa inhalación- adultos (interior)	350 días años ⁻¹
Frecuencia exposición (residencial)	30 años
Duración exposición (residencial), ED	(6 niño + 24 adulto)
Peso corporal	70 Kg
- adulto	15 Kg
- infantil	25.550 días
Tiempo de promedio	ED x 365 días año ⁻¹
- Cancerígenos	
- No cancerígenos	

Tabla 1. Ejemplo de valores por defecto empleados por la U.S. Environmental Protection Agency para el cálculo de la exposición.

HI = 1 o Risk = 10⁻⁵). Dadas las enormes implicaciones económicas, en el caso de decidirse adoptar acciones correctoras, (o potencialmente) para la salud humana, en caso de tomar la decisión contraria, sería deseable contar con una medida de la fiabilidad de los resultados de una evaluación del riesgo, si el valor obtenido para el mismo es, por ejemplo, HI = 0.97 o Risk = 1.2 x 10⁻⁵.

La alternativa para solventar este inconveniente es la evaluación probabilística del riesgo (PRA, *Probabilistic Risk Assessment*), en la cual una o más de las variables que intervienen en el cálculo del riesgo quedan definidas mediante distribuciones de probabilidad, con el fin de caracterizar la variabilidad o la incertidumbre de las estimaciones del riesgo. En la evaluación probabilística del riesgo, las variables que intervienen en la fórmula de la exposición se muestrean repetidamente mediante algoritmos como el método de Monte Carlo o el Hipercubo Latino, de manera que el producto final de la fase de caracterización del riesgo es una distribución de resultados de riesgo individuales (Figura 3). Este enfoque permite realizar análisis de sensibilidad para determinar qué variable(s) en un modelo de riesgo influencia(n) más fuertemente el re-

sultado final. En caso de obtenerse valores de riesgo cercanos a los límites que implican actuaciones correctoras, un análisis de sensibilidad permite identificar la(s) variable(s) sobre las que debe recogerse más y mejor información, a fin de disminuir su incertidumbre y, consecuentemente, la incertidumbre de la estimación del riesgo.

Las distribuciones de probabilidad que se utilizan en la fórmula de cálculo del riesgo pueden determinarse a partir de los datos obtenidos en un muestreo específico para el emplazamiento de interés, a partir de los datos contenidos en estadísticas regionales, nacionales, etc., o puede recurrirse a distribuciones de probabilidad previamente caracterizadas en otras investigaciones similares y disponibles en la literatura científica. Una vez introducidas dichas distribuciones en la fórmula de cálculo del riesgo, el resultado final es, a su vez, una distribución de valores de riesgo cuya interpretación se realiza mediante juicio experto. Como norma general, las decisiones administrativas se fundamentan sobre el análisis de la cola superior de la distribución de riesgos, y se utiliza, comúnmente, el percentil 95 de tal distribución como punto de partida del proceso de comparación con los valores límites legales.

Implicaciones legales y para la gestión del riesgo

La evaluación de riesgos ambientales no sólo permite poner en perspectiva de efectos para la salud humana (o los ecosistemas) un problema de contaminación, sino que tiene fuertes implicaciones en el establecimiento de niveles reguladores de sustancias tóxicas en el medio natural y en las actuaciones de investigación y gestión de emplazamientos contaminados. La posibilidad de relacionar la probabilidad de aparición de efectos adversos, o la magnitud de los mismos, con valores de concentración de compuestos químicos en un medio permite calcular niveles de dichas sustancias para los cuales el riesgo resultante es aceptable. En el caso de evaluaciones de riesgo para emplazamientos específicos, estos valores de concentración constituyen las concentraciones objetivo que deben alcanzarse tras las actuaciones de descontaminación correspondientes.

Si, por el contrario, se establecen escenarios estándar de exposición en función del uso presente o previsto de un terreno, las concentraciones obtenidas mediante un cálculo inverso como el que acaba de mencionarse, constituyen niveles guía o de referencia de aplicación genérica. La legislación ambiental de varios países incluye ya niveles establecidos de esta manera, como límites normativos para la definición de contaminación en suelos. Si en un emplazamiento se superan estos valores de referencia genéricos, las actuaciones de descontaminación que vendrían obligadas pueden ser obviadas, si una rigurosa evaluación del riesgo, específica para el terreno en cuestión, demuestra la ausencia de riesgo para la salud de los receptores implicados. Finalmente, la evaluación de riesgos ambientales introduce posibilidades de gestión del

riesgo diferentes de las actuaciones técnicas de tratamiento y que, sin provocar una disminución de las concentraciones de contaminantes, eliminan el riesgo o lo reducen hasta niveles aceptables, al prevenir la exposición: controles institucionales (restricción de acceso a emplazamientos contaminados, prohibición de uso de pozos de agua potable afectados, etc.) y técnicas de aislamiento y contención.

Bibliografía

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2002): Toxicological Profile Information Sheet. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html>.

Canadian Council of Ministers of the Environment (1999): Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. Summary of A Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines. http://www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/English/Pdf/soil_protocol.pdf.

Manahan, S.E. (1994): Environmental Chemistry, 6th Edition. CRC Press. Boca Raton, Fl. (U.S.A.).

Ontario Ministry of Environment and Energy (1996): Guidance on Site Specific Risk Assessment for Use at Contaminated Sites in Ontario. <http://www.ene.gov.on.ca/environ/gp/326701e.pdf>.

U.S. Environmental Protection Agency (1986a): Carcinogen Risk Assessment. 51 Federal Register 33992.

U.S. Environmental Protection Agency (1986b): Guidelines for Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. 51 Federal Register 34014.

U.S. Environmental Protection Agency (1989a): Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Part A. Chapter 6: Exposure Assessment. <http://www.epa.gov/oerrpage/superfund/programs/risk/ragsa/ch6-1.pdf>.

U.S. Environmental Protection Agency (1989b): Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Part A. Chapter 7: Toxicity Assessment. <http://www.epa.gov/oerrpage/superfund/programs/risk/ragsa/ch7.pdf>.

U.S. Environmental Protection Agency (1989c): Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Part A. Chapter 8: Risk Characterization. <http://www.epa.gov/oerrpage/superfund/programs/risk/ragsa/ch8.pdf>.

U.S. Environmental Protection Agency (1991): Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I – Human Health Evaluation Manual (Part B, Development of Risk-based Preliminary Remediation Goals). EPA/540/R-92/003. <http://www.epa.gov/oerrpage/superfund/programs/risk/ragsb>.

U.S. Environmental Protection Agency (1997): Exposure Factors Handbook. U.S. EPA. Office of Research and Development. Washington, D.C. EPA/600/P-95/002Fa. August.

U.S. Environmental Protection Agency (2003): Integrated Risk Information System, IRIS. <http://www.epa.gov/iris>.

A Coruña
Fue en la playa
de As Lapas.

