

Evaluación ecológica de riesgo en la gestión de los recursos naturales

Paloma del Carre, M^a Dolores Moreno, José R. Baragaño y Arturo Díaz Barrionuevo

Departamento de Ingeniería Forestal, ETSI Montes, Madrid

RESUMEN

La evaluación ecológica de riesgo es una herramienta predictiva que permite cuantificar la probabilidad de efectos adversos para los ecosistemas como consecuencia de la introducción en el medio ambiente de contaminantes asociados a la actividad humana. Su objetivo es, por lo tanto, sopesar en términos probabilísticos las consecuencias de la presencia de dichos contaminantes en el medio, a fin de alcanzar un equilibrio justificado o riesgo tolerable. La metodología de la evaluación ecológica de riesgo consta de cuatro etapas: 1) definición del riesgo, en la que se establecen las características principales del medio físico y ecosistema receptor de la actividad analizada, a fin de seleccionar justificadamente el efecto adverso cuya probabilidad se va a medir; 2) evaluación de efectos, que define cuantitativamente la magnitud de las consecuencias adversas en función de la concentración del contaminante y duración del contacto con los receptores ambientales; 3) evaluación de la exposición, para determinar los niveles de concentración ambiental del contaminante y evolución en el tiempo, bien mediante estudios experimentales o el uso de modelos de simulación que permitan predecir la concentración ambiental a partir de la fuente de contaminación; y 4) caracterización del riesgo, con la correspondiente obtención de la medida de la probabilidad de aparición de efectos adversos a partir de los datos obtenidos en las etapas anteriores. Los resultados de la evaluación ecológica de riesgo permiten la adopción informada y justificada de decisiones con posibles repercusiones medioambientales significativas, aunando criterios de protección medioambiental y de optimización de recursos.

P.C.: evaluación ecológica de riesgo, gestión del riesgo, evaluación de efectos, evaluación de la exposición

SUMMARY

Ecological risk assessment is a predictive tool to quantify the probability of occurrence of adverse effects to ecosystems as a consequence of the environmental presence of toxicants. The ultimate objective of the assessment is to balance the level of risk against the cost of risk reduction or against alternative risks, so that a justified and tolerable risk level can be attained. The risk assessment methodology comprises four stages: 1) hazard definition, including the description of the toxicant source, the receptor ecosystem and the choice of assessment endpoints; 2) effects assessment, or determination of the quantitative relationship between exposure to the toxicant and effects on the assessment endpoint; 3) exposure evaluation, or process of conversion of the source term into estimates of contact with the endpoint organism or system, based on either experimental data or, more frequently, modeling approaches; and 4) risk characterization integrating the exposure and effects assessment into quantitative measures of risk. Ecological risk assessment constitutes a solid foundation for environmental decision making, bringing forth both conservationist principles and resource optimization to environmental management.

K.W.: ecological risk assessment, risk management, effect assessment, exposure assessment

INTRODUCCIÓN, MATERIAL Y MÉTODOS:

La evaluación ecológica de riesgo se utiliza, en el ámbito de la Unión Europea, en el proceso de autorización de nuevas sustancias (Directiva 93/67/EEC) y de evaluación de sustancias existentes (Reglamento de la Comisión 1484/94). Ambas disposiciones se han transpuesto al ordenamiento jurídico interno español mediante el Reglamento de Sustancias Químicas, aprobado por Real Decreto 363/95.

Por su parte, la Ley 10/98, de Residuos, introduce el concepto de suelos contaminados y establece un régimen de responsabilidad objetiva del que puede derivarse la obligación de limpieza de los terrenos contaminados. Esta Ley introduce asimismo el concepto de evaluación de riesgo para la salud humana y el medio ambiente como criterio para valorar la gravedad de la contaminación de

suelos.

El objetivo de la evaluación ecológica de riesgo es la protección del medio ambiente mediante la evaluación sistemática y científica de los efectos ecológicos de las actividades humanas. Para alcanzar este objetivo, es fundamental definir, en primer lugar, qué se entiende específicamente por medio ambiente, y establecer procedimientos para caracterizar el estado actual de dicho medio ambiente y cuantificar sus futuras modificaciones. También es necesario desarrollar métodos adecuados para identificar modificaciones significativas y para evaluar las incertidumbres asociadas a la predicción de dichas modificaciones.

Las fases que intervienen en la evaluación ecológica de riesgo aparecen representadas en la figura 1. La primera etapa, definición del riesgo, consta a su vez de tres componentes diferenciados: 1) descripción del ecosistema; 2) selección de componentes sensibles del ecosistema y de los indicadores más adecuados para su medida; y 3) caracterización de la fuente de contaminación.

La descripción del ecosistema consiste en una identificación operativa del segmento medioambiental sobre el que se va a realizar la evaluación, sus componentes y las interacciones que se establecen entre ellos. La segunda subetapa de la definición del riesgo es la selección de los componentes sensibles del ecosistema y la identificación de indicadores adecuados para su medida, componente fundamental de la planificación de la evaluación ecológica de riesgo, de la que va a depender en gran medida la validez de las conclusiones y su utilidad práctica para la toma de decisiones.

La selección puede llevarse a cabo aplicando una combinación de metodologías, entre las que debe destacarse la construcción de matrices similares a las utilizadas en la evaluación de impacto ambiental, mediante las que se analiza de forma sistemática las posibles interacciones entre elementos de la actividad humana (vertido de un efluente industrial, fumigación con un pesticida o combinación de pesticidas) y los componentes del ecosistema receptor (plantas terrestres o acuáticas, protozoos acuáticos, peces, anfibios). Una vez completada la matriz, las interacciones pasan a evaluarse respecto a la intensidad prevista de la exposición para cada elemento y la susceptibilidad de cada uno de ellos a los contaminantes.

Otro procedimiento útil para la selección de componentes sensibles consiste en identificar, para cada compartimento ambiental (aire, agua subterránea, agua superficial, suelo), cuáles son sus componentes (comunidades, grupos tróficos, poblaciones y segmentos viales) con un mayor grado previsible de exposición al contaminante. También pueden utilizarse, como herramienta auxiliar para la selección de componentes sensibles, árboles de fallos o de sucesos, similares a los empleados en el análisis cuantitativo de riesgo[1].

Una vez seleccionados los componentes sensibles del ecosistema, sobre los que se centrará la evaluación de riesgo, es necesario establecer la forma más adecuada de medida, como la reducción porcentual en la población de una determinada especie o la probabilidad de que aparición de efectos adversos (por ejemplo, disminución porcentual en la supervivencia de embriones de peces hasta la eclosión) en función de la concentración en el medio ambiente del contaminante.

El tercer elemento de la etapa de definición del riesgo, la caracterización de la fuente de contaminantes, debe incluir una identificación completa de la actividad causante de la introducción en el medio ambiente de los compuestos químicos, la concentración de dichos compuestos y su variación en el tiempo. Como ejemplos de caracterización de la fuente de contaminantes se puede citar la descripción de un efluente industrial (concentración de los distintos posibles parámetros, fluctuaciones de carga y caudal en el tiempo, régimen operativo de la industria y posibles variaciones en el efluente asociadas a situaciones operativas anómalas o accidentes industriales), o de una fuente secundaria de contaminación de suelos (presencia de pesticidas en el subsuelo como consecuencia de un vertido incontrolado de residuos industriales).

La segunda etapa de la evaluación ecológica de riesgo es la evaluación de la exposición. El objetivo de esta etapa es determinar cuantitativamente, a partir de los datos que definen la fuente de contaminación, la concentración del contaminante y su evolución en el tiempo en el punto de contacto con el componente sensible del ecosistema. La evaluación de la exposición requiere que se identifiquen las rutas medioambientales mediante las que el contaminante, a partir de su punto de introducción en el medio ambiente, se moviliza y transforma para alcanzar al componente sensible.

Una vez identificadas las rutas medioambientales potenciales, se seleccionan las rutas medioambientales completas, que deben incluir los elementos siguientes: compartimentos

medioambientales (atmósfera, aire ocluido en la zona vadosa, agua superficial, etc) y mecanismos de transporte entre ellos (difusión, adsorción, volatilización); y vía de exposición o medio a través del cual se produce el contacto con el componente sensible del ecosistema (consumo de agua superficial, cadena trófica, inhalación). La cuantificación de las rutas medioambientales completas requiere normalmente el uso de modelos de simulación del transporte y transformación de contaminantes en el medio ambiente, así como de modelos de exposición que relacionen la concentración medioambiental con el tiempo de exposición, permitiendo así establecer cuantitativamente la dosis recibida por el componente sensible.

La siguiente etapa de la evaluación ecológica de riesgos, la evaluación de efectos, tiene por objeto describir cuantitativamente las consecuencias adversas sobre el componente sensible en función de la intensidad del contacto con el contaminante. La evaluación de efectos se basa generalmente en ensayos toxicológicos, bien realizados directamente sobre el componente sensible del ecosistema, bien sobre otras especies con la consiguiente extrapolación de los resultados experimentales obtenidos.

Los resultados de los ensayos toxicológicos se expresan mediante índices de toxicidad (como la LD50 o el NOAEL) y sirven como base para establecer la forma de la relación dosis-respuesta. En los casos en que es necesario extrapolar los resultados de los ensayos toxicológicos a distintas especies, se pueden hacer intervenir distintas metodologías auxiliares, como el uso de modelos toxicocinéticos o de ensayos de metabolismo. Aunque el organismo individual tiende a ser el sujeto habitual de la evaluación ecológica de riesgo, es necesario disponer también de herramientas que permitan realizar predicciones sobre los efectos para las poblaciones o el ecosistema completo. En los últimos años se han desarrollado distintos protocolos experimentales y procedimientos numéricos que han permitido mejorar el conocimiento de la dinámica de los ecosistemas, con las consiguientes aplicaciones a la evaluación de efectos [2].

Por último, la etapa de caracterización de riesgo consiste en la integración de los resultados obtenidos en la evaluación de la exposición y de los efectos para alcanzar una estimación de la magnitud y probabilidad de los efectos adversos previsibles en el ecosistema, representado por su componente o componentes más sensibles. A menudo, la caracterización de riesgo tiene por objetivo delimitar niveles umbral de exposición (concentración del contaminante y duración del contacto) por debajo de los cuales no es previsible la aparición de efectos adversos en el ecosistema.

El procedimiento descrito está afectado, en sus etapas de evaluación de la exposición y de los efectos, por distintas fuentes de incertidumbre que es preciso reconocer y delimitar. La evaluación de la exposición hace intervenir modelos de simulación que requieren el uso de distintos parámetros para describir el comportamiento medioambiental, cuyo valor exacto es imposible establecer. Por ejemplo, el movimiento de contaminantes en el subsuelo está influido por la permeabilidad del terreno, parámetro que puede adoptar un rango de valores en una determinada formación geológica, sin que sea en general factible determinar de forma precisa un valor único que represente exactamente el comportamiento del compartimento medioambiental. Por su parte, la etapa de evaluación de los efectos está afectada por incertidumbres que reflejan la variabilidad dentro de una misma especie y la frecuente necesidad de realizar extrapolaciones entre distintas especies, o de aplicar modelos para representar el comportamiento del ecosistema.

El tratamiento de la incertidumbre en la evaluación ecológica de riesgo puede realizarse mediante los procedimientos siguientes: a) cualitativo, con una descripción de las etapas y parámetros más afectados por incertidumbre, los rangos probables de cada parámetro y la fuente bibliográfica o experimental citada, y una valoración profesional de sus consecuencias para el resultado de la evaluación de riesgo; y 2) cuantitativa, mediante el uso de técnicas probabilísticas para la ejecución de los modelos y la interpretación y presentación de los resultados, como la simulación de Monte Carlo [3].

RESULTADOS

La evaluación ecológica de riesgo debe presentarse en un informe que describa pormenorizadamente el procedimiento utilizado, con objeto de facilitar su comprensión y la consiguiente toma de decisiones sobre actividades humanas con posible incidencia negativa sobre el medio ambiente. Según las recomendaciones de distintas entidades y organizaciones [4], el informe

de evaluación de riesgo debe contener la información siguiente:

1. Objetivos específicos de la evaluación ecológica de riesgo.
2. Descripción del riesgo: modelo conceptual, características del ecosistema, componentes sensibles identificados e indicadores de toxicidad, fuente de contaminación.
3. Discusión detallada de las fuentes principales de datos y procedimientos analíticos utilizados.
4. Relaciones dosis-respuesta manejadas y extrapolaciones realizadas.
5. Áreas principales de incertidumbre y enfoque utilizado para su manejo.
6. Discusión y justificación de las hipótesis usadas para resolver lagunas de información.

Los resultados de la evaluación ecológica de riesgo pueden, en términos generales, indicar que la actividad humana es compatible con el ecosistema, incompatible con el mismo, o que es necesario profundizar en el conocimiento del ecosistema receptor. En este último caso, el proceso realizado permite orientar el acopio adicional de resultados experimentales con la consiguiente optimización de recursos.

CONCLUSIONES

La ampliación del ámbito de aplicación de la evaluación ecológica de riesgos, desde su uso actual en el procedimiento de autorización de nuevas sustancias, a la valoración de la gravedad de la contaminación de terrenos, abre nuevas expectativas a una herramienta metodológica que ha demostrado su utilidad práctica en la adecuada planificación y gestión de los recursos naturales [5]. Entre estas aplicaciones a la gestión de recursos naturales destacan la concesión de autorizaciones de vertido, la ubicación de vertederos y la planificación de tratamientos plaguicidas en zonas forestales [6].

La metodología de evaluación ecológica de riesgo ofrece distintas ventajas para la gestión de los recursos: su carácter predictivo permite sopesar distintas alternativas, el tratamiento explícito de la incertidumbre facilita la identificación de vacíos de información hacia los que enfocar selectivamente la recopilación de nuevos datos, el proceso de evaluación proporciona una base consistente y sistemática para comparar, valorar y priorizar los riesgos. Por otra parte, la evaluación ecológica de riesgo constituye un excelente punto de partida para la presentación y comunicación pública de los riesgos asociados a las actividades humanas, permitiendo una exposición clara del origen de los riesgos identificados y de los costes implicados.

BIBLIOGRAFÍA

[1] AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, 1989. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, Center for Chemical Process Safety, Nueva York

[2] SUTER, G.W., II., 1993. A critique of ecosystem health concepts and indexes. Environ. Toxicol. Chem. 12: 1533-1539.

[3] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997. Guiding Principles for Monte Carlo Analysis. EPA/630/R-97/001

[4] SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC). 1994. Aquatic risk assessment and mitigation dialogue group. Final report. Pensacola, FL: SETAC Foundation for Environmental Education.

[5] GAUDET, C. (1994) A framework for ecological risk assessment at contaminated sites in Canada: review and recommendations. Ottawa, Canada: Environment Canada. 26

[6] BRODY, M.S.; TROYER, M.E.; VALETTE, Y. (1993) Ecological risk assessment case study: modeling future losses of bottomland forest wetlands and changes in wildlife habitat within a Louisiana basin. In: A review of ecological assessment case studies from a risk assessment

perspective. Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency; pp. 12-1 to 12-39. EPA/630/R-92/005.