

La Evaluación de Riesgos en el contexto de la Educación Ambiental

Grima Olmedo, J. ⁽¹⁾; Mejía Gómez, J.A. ⁽²⁾ y Costilla Salazar, R. ⁽³⁾

⁽¹⁾ Instituto Geológico y Minero de España. j.grima@igme.es

⁽²⁾ Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. jangelmg@gmail.com

⁽³⁾ Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida del Campus Irapuato-Salamanca. roy1379@hotmail.com

Introducción

Los países de la Unión Europea afrontan el problema de una importante contaminación del suelo y los recursos hídricos debida a actividades industriales desarrolladas en el pasado. De acuerdo con la Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency, 2007), en los países miembros de la Unión (excepto Chipre, Polonia y Portugal), existen tres millones de emplazamientos en los que se han desarrollado actividades potencialmente contaminantes. De ellos, según las estimaciones realizadas, más de 250.000 (8%) se encuentran contaminados y necesitan tareas de recuperación.

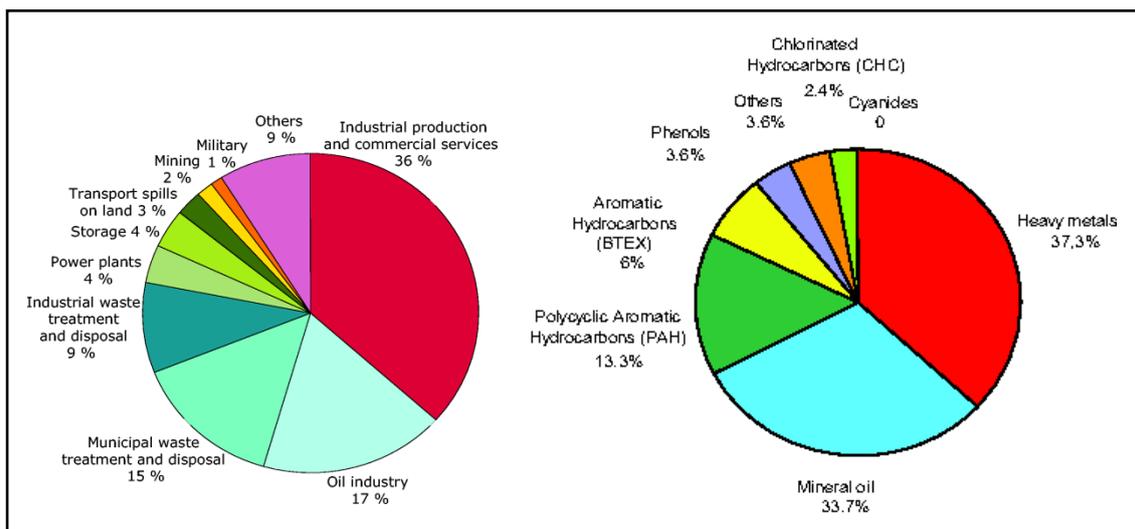


Fig. 1. Actividades económicas susceptibles de causar contaminación en la U.E. y principales contaminantes generados (EEA, 2007)

Por tanto, es necesario incrementar la información y conciencia pública en relación con los problemas ambientales, para que de este modo los sectores implicados puedan realizar una toma de decisiones basada en la información en lugar de la opinión.

La Educación Ambiental es una disciplina consolidada que tiene un papel esencial a la hora de afrontar los problemas ambientales que se producen en un paisaje social, tecnológico y ambiental en constante evolución. En este sentido, la solución no puede ser meramente tecnológica, sino que tiene que abordar de raíz la formación de la conciencia medioambiental de la sociedad. Para la consecución de este objetivo es preciso plantear aquellos aspectos relacionados con los riesgos ambientales que produce la actividad humana sobre el medio ambiente y la utilización del método científico para evaluar sus impactos.

El plan sobre Economía Circular de la Comisión Europea es la principal estrategia de la Unión Europea para crear un marco político que permita conseguir una economía sostenible en la que se realice un uso eficiente de los recursos. La minimización del impacto sobre el entorno es uno de los principios en los que se basa el plan.

De este modo, surge el concepto de riesgo. El análisis de riesgos se basa en el uso sistemático de la información existente para determinar la naturaleza y magnitud de dichos riesgos para la salud humana y los ecosistemas, derivados de la existencia de sustancias contaminantes en el medio ambiente. En España la legislación en vigor relativa a los suelos contaminados lo establece como instrumento para su declaración y gestión.

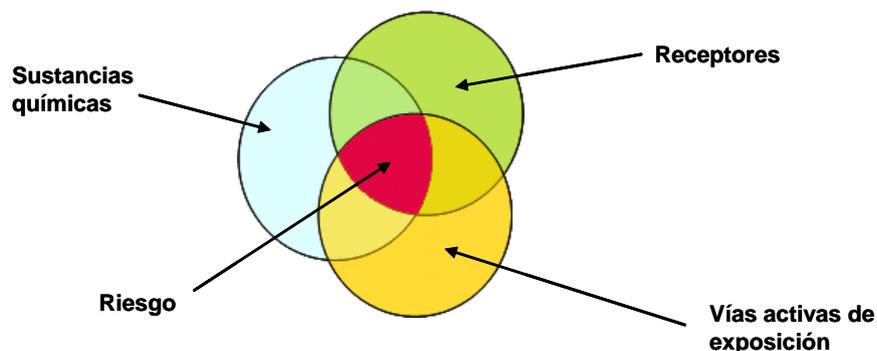


Fig. 2. Concepto de riesgo como concurrencia de factores

En relación con la educación ambiental es prioritario comprender que el medio físico es un tema bastante complejo para ser comunicado de manera sencilla. Por ello es preciso elaborar modelos, que son de hecho una representación simplificada de algunos

fenómenos del mundo real. Ello conlleva una serie de incertidumbres, asociadas tanto a factores naturales como antrópicos, que es preciso analizar y comunicar a todas las partes implicadas.

Marco legal

Los suelos contaminados se regulan expresamente por primera vez mediante la Ley 10/98, de 21 de abril, de Residuos, que establece en su título V los principios básicos de gestión, entre los que cabe destacar la asignación de responsabilidades y el establecimiento de la evaluación del riesgo como el mecanismo válido para la valoración de la contaminación del suelo.

En el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, se establece una relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. En él se da cumplimiento a lo establecido en la Ley 10/1998. Establece la evaluación del riesgo como el criterio en el que debe basarse la declaración de un suelo como contaminado y proporciona un procedimiento para la declaración de suelos contaminados.

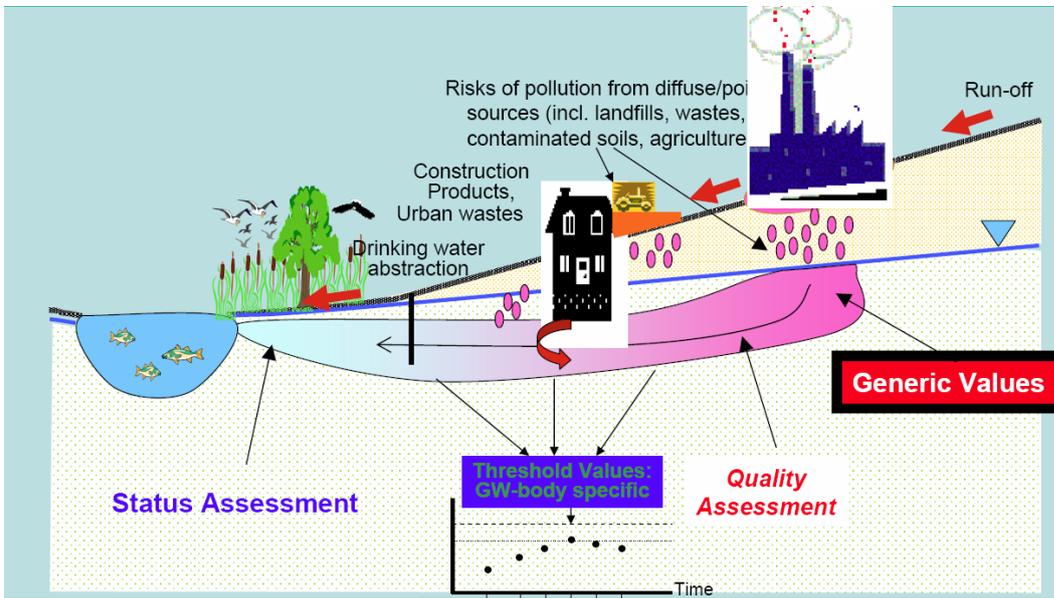
Asimismo, proporciona estándares (niveles genéricos de referencia) para ciertos compuestos orgánicos, tanto para la protección de la salud humana (Anexo V) como para la protección de los ecosistemas (Anexo VI). Establece los criterios para el cálculo de niveles genéricos de referencia para cualquier otra sustancia -orgánica o inorgánica- no contemplada en dichos anexos (Anexo VII) y una metodología básica para el análisis de riesgos (Anexo VIII).

Según esta norma, los emplazamientos serán declarados como contaminados mediante una resolución expresa si, de acuerdo con los criterios y estándares establecidos en la misma, el riesgo para la salud humana o los ecosistemas es considerado como inaceptable. La declaración de un suelo como contaminado implica la obligación de descontaminarlo hasta niveles aceptables para su uso actual y futuro. La desclasificación de un suelo como contaminado sólo será posible si el riesgo que presenta, una vez descontaminado, es admisible para el uso previsto y se dicta una resolución administrativa que así lo establezca.

La Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, deroga a la citada Ley 10/98, con objeto de regular la gestión de los residuos impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. Tiene asimismo como objeto regular el régimen jurídico de los suelos contaminados.

En la Directiva para la protección de las Aguas Subterráneas contra la contaminación y el deterioro se define el vertido indirecto como el resultado de una filtración a través del suelo hasta las aguas subterráneas, y se señala la obligación de los Estados Miembros de proponer medidas para su prevención y para la priorización de las acciones correctoras, de acuerdo a sus consecuencias medioambientales.

Igualmente se señala la obligación de realizar evaluaciones de la tendencia de



concentración de contaminantes en las masas de agua subterránea a fin de garantizar la ausencia de dispersión en la contaminación.

Fig. 3. Directiva de Aguas Subterráneas y evaluación de riesgos (Quevauvillier, 2005)

Concepto de riesgo

La contaminación de un suelo supone en sí misma una pérdida de un recurso natural, pero además los contaminantes pueden alcanzar determinados receptores produciendo efectos negativos en los mismos. Por tanto, es preciso definir el concepto de riesgo: probabilidad de que un contaminante presente en el suelo entre en contacto con algún receptor con consecuencias adversas para la salud humana o el medio ambiente (Real Decreto 9/2005, Art 2). El riesgo asociado a la contaminación de un suelo se evalúa a partir de la concurrencia de tres factores:

- concentración de sustancias tóxicas en el suelo
- migración de los contaminantes por diferentes vías hasta los puntos de exposición
- existencia de receptores que se vean expuestos a la contaminación.

De este modo, se plantea la siguiente expresión:

$$\text{Riesgo} = f(\text{Concentración}, \text{Exposición}, \text{Toxicidad})$$

Evaluación de riesgos

Los costes estimados de investigación y limpieza de tal número de emplazamientos superan con creces los recursos disponibles. Las autoridades ambientales se enfrentan con el reto de establecer prioridades en las tareas de descontaminación, con objeto de asegurar que los emplazamientos que constituyen el mayor riesgo para la salud humana y la de los ecosistemas son abordados en primer lugar.



Fig. 4. Etapas en el proceso de evaluación de riesgos

En España la legislación ambiental en vigor relativa a los suelos contaminados establece el principio “quien contamina paga”, estando obligados a realizar las tareas de limpieza y recuperación de un suelo contaminado los causantes de su contaminación. Igualmente se establece la evaluación de riesgos como la herramienta para la gestión de la contaminación del suelo el análisis del riesgo como instrumento para la declaración y gestión de los suelos contaminados. Este enfoque es el utilizado en la mayor parte de los países.

La elaboración de una metodología para la evaluación del riesgo (USEPA, 1992) debe considerar los diferentes niveles de conocimiento de un emplazamiento. En un análisis inicial pueden utilizarse criterios sencillos y conservativos, como la comparación de los datos proporcionados por el muestreo inicial con criterios de calidad o tablas de valores. En etapas posteriores debe realizarse una evaluación detallada de las características del emplazamiento.

Por medio de una metodología de este tipo es posible conseguir un balance entre la cantidad de información requerida y la elaboración de los datos obtenidos y la complejidad del modelo conceptual. Con ello, es posible mantener una proporcionalidad entre el

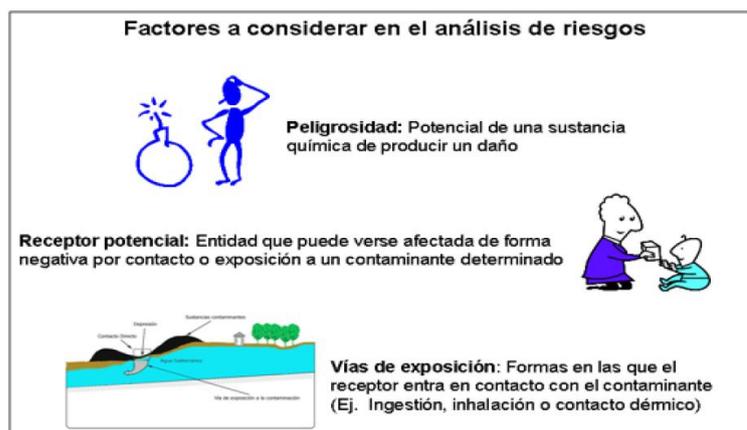


Fig. 5. Factores en el ACR

esfuerzo necesario y los riesgos asumidos. Cuando exista una cantidad limitada de datos debe aplicarse un procedimiento basado en un modelo conceptual simple, mientras que en cuando se encuentra disponible un mayor volumen de información un modelo conceptual más elaborado puede proporcionar conclusiones más precisas. De esta forma se produce una reducción en el nivel de conservadurismo pero el nivel de protección permanece.

Conceptualización del medio físico

Para conseguir una gestión efectiva de los recursos naturales, de acuerdo con los principios establecidos en los marcos normativos nacionales y europeos, es necesario realizar, de forma previa a cualquier análisis, un modelo conceptual del sistema suelo-agua subterránea. Las conclusiones basadas en un modelo conceptual erróneo pueden producir resultados en un sentido completamente diferente al esperado

La conceptualización de un sistema acuífero tiene como objetivo contribuir al mejor conocimiento de la masa de agua subterránea. Para ello es necesario integrar la información procedente de diversas fuentes. Para que un modelo sea fiable, debe incorporarse información obtenida de sondeos, campañas geofísicas y cartografía geológica entre otras.

Las masas de agua subterránea se encuentran en rocas permeables de diferente composición geológica, por lo que para convertir un modelo físico en un modelo funcional es preciso incorporar las características hidrodinámicas a escala regional y local. El flujo de agua subterránea se rige por las leyes de la dinámica, y las direcciones de flujo dependen del gradiente hidráulico. En algunas áreas la influencia de los sistemas de flujo regionales sobre determinados acuíferos locales es notable, por lo que la cuantificación de dicha influencia es uno de los objetivos del modelo. Igualmente, la identificación de zonas de recarga y las conexiones hidráulicas entre las masas de agua subterránea y las masas de agua superficial son aspectos relevantes a incluir en el mismo.

Dado que una masa de agua subterránea es tridimensional, la concentración de contaminantes y los niveles de fondo en la concentración de sustancias de origen natural pueden variar de forma significativa en dirección vertical y horizontal, extremo que debe ser considerado cuando se establezcan valores umbral y se realicen los análisis relativos al estado cualitativo y a la existencia de tendencias en la masa de agua subterránea.

La Directiva de Aguas Subterráneas proporciona las siguientes indicaciones para el

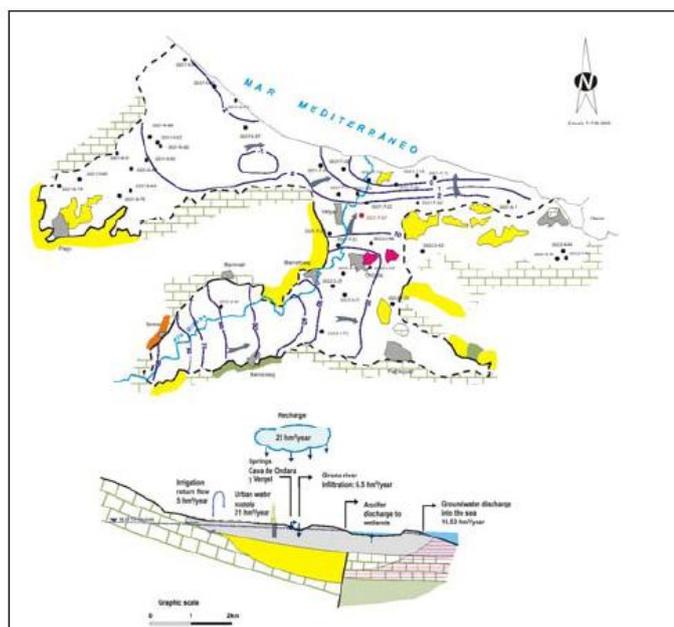


Fig. 6: Modelo conceptual y heterogeneidad del sistema agua-suelo en un emplazamiento de la costa Mediterránea (Ballesteros et al, 2001)

establecimiento de valores umbral en relación con el modelo conceptual definido:

- Deben basarse en el grado de interacción entre el agua subterránea y los ecosistemas acuáticos y terrestres dependientes
- Deben contemplar los usos actuales y potenciales del agua subterránea (por ejemplo abastecimiento o irrigación) y sus funciones (mantenimiento de ecosistemas, etc.)
- Debe determinarse valores umbral para todas las sustancias por la que el acuífero caracterizado se ha declarado en riesgo de no cumplir los objetivos fijados por la Directiva Marco del Agua en su artículo 4
- Deben incluir información basada en las concentraciones naturales, existentes como consecuencia de los procesos naturales hidrogeológicos e hidrogeoquímicos
- El proceso de derivación de los valores umbral debe incluir información relativa al origen de los contaminantes, su posible origen natural, sus propiedades toxicológicas y su potencial de dispersión, persistencia y bioacumulación
- Es necesario introducir las correcciones necesarias con respecto a la calidad de los datos y la precisión analítica en el proceso de cálculo de los valores umbral

En relación con la evaluación de tendencias (o de inversión de las mismas) el modelo conceptual juega un papel clave para la determinación de emplazamientos y frecuencias de muestreo, en el sentido de poder diferenciar las variaciones naturales de las tendencias sostenidas al aumento con un nivel adecuado de precisión y confianza.

El modelo conceptual resulta, pues, de la integración de los modelos físico y funcional. Los modelos conceptuales no son necesariamente modelos numéricos (European Commission, 2009), pero deben basarse en la comprensión de las características geológicas e hidrogeológicas del sistema estudiado. No obstante, si el modelo conceptual se ha definido con rigor se puede elaborar un modelo matemático con la capacidad suficiente para estimar parámetros y condiciones de contorno, y confirmar las hipótesis del modelo así como obtener escenarios realistas para la gestión cualitativa y cuantitativa del recurso.

Tanto la evaluación del riesgo como la selección de la red de control deben basarse en el modelo conceptual. Los datos obtenidos de las redes de control definidas en los programas desarrollados para el cumplimiento de las Directivas Europeas deben ser utilizados para comprobar, validar y refinar las hipótesis del modelo. Los datos relativos a tiempos de tránsito, tasas de flujo y transporte y distribución de edades también son útiles para la validación.

Agua subterránea como objetivo de protección

Las aguas subterráneas desempeñan un papel importante en el abastecimiento de ciertas áreas, especialmente en países áridos o semiáridos. Por ejemplo, dos de los países más desarrollados del mundo consumen 425 (USA) y 326 (Canadá) litros por habitante y día respectivamente (Baynes, 2004). En algunos casos, especialmente en algunas zonas rurales de los países del tercer mundo, el consumo origina el agua

directamente de pozos privados. Además, deben considerarse otros usos, entre los que se encuentran usos domésticos (limpieza y aseo), agrícolas e industriales. Por tanto, dado su papel el agua subterránea debe ser considerada como un objeto de protección.

En la Unión Europea las masas de agua subterránea representan un almacén enorme de abastecimiento, con porcentajes que representan aproximadamente el 70% del agua de consumo doméstico proveniente del agua subterránea (Foster and Chilton, 2003). A escala mundial, este porcentaje es de al menos el 50% (Zektser and Everett, 2004). De hecho, con una tasa de extracción global de 600–700 km³/año, el agua subterránea es la materia prima más extraída del mundo (Zektser and Everett, 2004).

Por tanto, uno de los mayores desafíos con respecto a una política ambiental sostenible se encuentra en la protección de las aguas subterráneas. En general, el término sostenibilidad se refiere a un determinado estado de un proceso, o estado, que es capaz de continuar o ser mantenido indefinidamente. Existe una definición más amplia, debida a la Comisión Brundtland de la Asamblea General de las Naciones Unidas (United Nations, 1987); un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades o que afecten negativamente a un entorno más amplio. Esta expansión de la definición de sostenibilidad es especialmente relevante en relación con las aguas subterráneas como vía para el transporte de contaminantes, ya que dicho proceso puede conducir a riesgos en lugares alejados de la fuente.

En el nuevo marco definido por las Directivas Comunitarias para la gestión y el uso sostenible de los recursos hídricos se incluyen técnicas como la reutilización y la recarga artificial de acuíferos, bajo la premisa de que no deben comprometer los objetivos de calidad especificados. En concreto, en la parte B del Anexo VI de la Directiva Marco del Agua se considera la aplicación de dichas técnicas como una medida para conseguir el objetivo del buen estado, aunque no especifica metodologías concretas para su aplicación. No obstante, diversos autores (Fernández Escalante, 2015) han abordado la cuestión, incluyendo aspectos adicionales como la laminación de avenidas y el fomento de la biodiversidad en ecosistemas terrestres dependientes.

Destino y transporte de contaminantes

Para que exista un riesgo los contaminantes liberados desde una fuente deben migrar hasta los puntos de exposición, donde entrarán en contacto con los receptores. A continuación se describe cómo se distribuyen las sustancias químicas en el suelo y cómo pueden migrar desde la fuente hasta los puntos donde entran en contacto con los receptores.

- Distribución de la concentración de los contaminantes en las distintas fases del suelo

El suelo puede considerarse como un sistema dinámico y abierto constituido por tres fases: La fase sólida, formada por la materia orgánica y los minerales del suelo; La fase líquida, que comprende el agua y las soluciones del suelo; La fase gaseosa, formada por los gases presentes en los poros del suelo no ocupados por el agua.

Cuando se produce la liberación de una sustancia contaminante al medio, la posible afección a los diferentes compartimentos ambientales viene determinada por las características físico-químicas de la sustancia vertida y por las propiedades del suelo. La masa total de contaminante en el suelo es la suma de la masa en cada una de las tres fases.

- Mecanismos de transporte de los contaminantes

El objetivo del análisis de los mecanismos de distribución y transporte consiste en identificar los procesos primarios que afectan a la migración de los compuestos químicos de interés y al destino final de dichos contaminantes. Los principales mecanismos implicados son los siguientes: Lixiviación y volatilización, Dispersión, Difusión, Advección, Sorción y Degradación

- Limitaciones a la migración de contaminantes

En el medio ambiente, donde suelo, agua y aire interactúan con las sustancias químicas, la máxima concentración de un compuesto químico en el suelo se encuentra limitada por la concentración de saturación. Ésta es la concentración en el suelo el suelo a la cual se han alcanzado el límite de solubilidad en el agua intersticial y el de saturación en el gas intersticial.

Desde el punto de vista de la salud humana, si la concentración de saturación proporciona valores de riesgo aceptables para determinadas vías de exposición que contemplen la partición entre medios diferentes (como inhalación de vapores o ingestión de agua contaminada), deben considerarse igualmente aceptables (para dichas vías de exposición) concentraciones en el suelo mayores que la de saturación, puesto que el flujo de contaminantes desde el suelo hacia el agua y el gas intersticial alcanzan un valor máximo, independientemente de la cantidad de sustancias químicas que se añada.

- Rutas potenciales de migración de contaminantes

En teoría, un compuesto químico puede desplazarse entre los diferentes compartimentos ambientales sin ningún tipo de restricciones. No obstante, en la práctica, predominan los mecanismos de lixiviado desde el suelo al agua subterránea y la volatilización desde el suelo a la atmósfera.

Metodologías deterministas versus probabilísticas

El análisis probabilístico de riesgos utiliza distribuciones de probabilidad con objeto de caracterizar la variabilidad e incertidumbre en el análisis de riesgos. En consecuencia, se definen una o más variables mediante una distribución de probabilidad en lugar de hacerlo con una cantidad fija. La salida es un rango o una distribución de probabilidades del riesgo experimentado por los receptores.

Educación ambiental

Puede considerarse la educación ambiental como un proceso que permite a las personas explorar los problemas ambientales, implicarse en su resolución y adoptar medidas para la mejora del medio ambiente. Los componentes de la educación ambiental son los siguientes:

- Toma de conciencia y sensibilización hacia la protección del medio ambiente y los desafíos ambientales
- Mejora del conocimiento del medio ambiente y sus desafíos
- Desarrollo de capacidades, actitudes de respeto hacia el medio ambiente y motivación para mejorar su estado
- Habilidades para identificar y resolver desafíos ambientales
- Participación en actividades cuyo objetivo sea la mejora del medio ambiente

De acuerdo con Fien, la educación para el desarrollo sostenible ha llegado a ser visto como un proceso de aprender a tomar decisiones que consideren el futuro a largo plazo de la economía, la ecología y el bienestar social de todas las comunidades. "La creación de capacidades para este tipo de pensamiento orientado hacia el futuro es una tarea clave de la educación (Fien, J. 2003).

Conclusiones

Uno de los objetivos fundamentales de la educación ambiental es mostrar la complejidad del medio natural, incluyendo la interacción entre los factores biológicos, físico-químicos, sociales, económicos y culturales

Debe desarrollarse una cultura de prevención efectiva mediante el fortalecimiento de la gestión del riesgo en todas las etapas de la educación ambiental

Es preciso combinar las estrategias de educación ambiental y de riesgos con objeto de sumar esfuerzos en el desarrollo de procesos de formación de los sectores implicados

Dado el carácter transfronterizo de los riesgos creados por la actividad antrópica, es precisa la colaboración internacional, con el objetivo adicional de facilitar las sinergias entre la comunidad científica

En la legislación española los límites máximos que aseguran que no existe riesgo para la salud humana son los valores genéricos de referencia (NGR). Por tanto, estos deben considerarse como los límites máximos de concentración que garantizan la ausencia de riesgo.

Una vez que se superan los NGR establecidos en el Real Decreto 9/2005, o, en el caso de los metales, los establecidos por cada comunidad autónoma, debe estimarse el nivel de riesgo asociado al emplazamiento para determinar si el suelo debe ser declarado como contaminado o no. Una vez que el suelo haya sido declarado como contaminado deben calcularse los valores objetivo específicos para el emplazamiento hasta los cuales realizar la descontaminación del emplazamiento.

Las interacciones suelo-agua son un elemento fundamental en la evaluación de riesgos, ya que de ellas depende la distribución de los contaminantes entre los diferentes compartimentos ambientales.

La evaluación de riesgos determinista proporciona un marco coherente de aplicación en cualquier emplazamiento y para cualquier contaminante, lo que permite gestionar un número elevado de emplazamientos. Facilita la asignación de prioridades para la descontaminación, información que puede ser utilizada para diferentes propósitos, incluyendo la asignación de recursos financieros.

Puede ser utilizado en los programas de descontaminación voluntarios acordados con la Comunidad Autónoma correspondiente, para conseguir valores determinados de riesgo, antes de que se declare el suelo como contaminado.

En cambio, no se cuantifica la incertidumbre de los valores de riesgo obtenidos, asumiendo que los valores objetivo o de intervención incorporan dicha incertidumbre y son conservativos.

El empleo de metodologías probabilísticas cuando los valores de riesgo proporcionados están cerca de los límites legales permite calcular porcentajes de población en riesgo de superar dichos límites, especialmente para los receptores más sensibles.

Referencias

1. Ballesteros, B.J., Rodríguez, L., López, J., Grima, J. García, O., Cobos, J.R., Gómez J.D. and De la Orden, J.A., 2001. Análisis y ordenación de recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante). Alternativas y Directrices. Vol II. Evaluación de recursos subterráneos. Instituto Geológico y Minero de España-Diputación Provincial de Alicante. Fondo documental IGME. 179 pp. Alicante.
2. Baynes S (2004) Water efficient toilets: a canadian perspective. Canada Mortgage and Housing Corporation (electronic version). Retrieved 16 Oct 2009
3. European Environment Agency (2007). Overview of economic activities causing soil contamination in some WCE and SEE countries (pct. of investigated sites). <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/overview-of-economic-activities-causing-soil-contamination-in-some-wce-and-see-countries-pct-of-investigated-sites>
4. Fernández Escalante, A.E., González Herrarte, F.B. y San Sebastián Sauto, J., 2015. Recarga gestionada de acuíferos: multifuncionalidad en la zona regable de Santiuste. XXXIII Congreso Nacional de Riegos Universitat Politècnica de València, Valencia 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.4995/CNRiegos.2015.1445>
5. Fien, John (2003). "Education for a Sustainable Future: Achievements and Lessons from a Decade of Innovation, from Rio to Johannesburg." International Review for Environmental Strategies, Vol.4, No.1
6. Foster SSD, Chilton PJ (2003) Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. Phil Trans R Soc Lond B 358:1957–1972. doi:10.1098/rstb.2003.1380
7. IGME, INIA y MARM (2007). Guía Técnica de aplicación del RD 9/2005 de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados

8. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. <http://www.boe.es/boe/dias/2011/07/29/pdfs/BOE-A-2011-13046.pdf>
9. Quevauvillier, P, 2005. Groundwater monitoring in the context of EU legislation. Reality and integration needs. Journal of environmental monitoring. Vol 7 pp 89-102
10. Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece una relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. BOE núm. 15 de 18 de enero de 2005, pp. 1833-1843.
11. Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Suelo. BOE num. 154 de 26 de junio de 2008, pp. 28482-28504.
12. United Nations (1987) Report of the world commission on environment and development, A/RES/42/187, 96th plenary meeting, 11 December 1987
13. U.S. Environmental Protection Agency (1992). Guidelines for Exposure Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, 600Z-92/001
14. Zektser IS, Everet LG (eds) (2004) Groundwater resources of the world and their use. UNESCO. IHP-VI Series on Groundwater No. 6