

INTEGRACION Y ADAPTACION DE METODOLOGIAS DE EVALUACION DE RIESGO AMBIENTAL Y SU APLICACIÓN A UN ESTUDIO DE CASO

M. S. Sinkec^a, A. E. Ronco^b

^a CONICET (CIDCA, UNLP, Argentina)

^b CONICET (CIMA/Departamento de Química, UNLP, Argentina)
sinkec@quimica.unlp.edu.ar

Introducción

La Evaluación de Riesgo Ambiental se caracteriza por incluir en su metodología tanto al proceso de asignación de magnitudes que valoran los efectos adversos de actividades antrópicas, como al proceso de aceptabilidad de los mismos (manejo del riesgo). En la última década, agencias de protección ambiental de varios países (USEPA, Environment Canada, entre otras), han incorporado evaluaciones de riesgo ambiental como parte del proceso de manejo y remediación de sitios contaminados con residuos peligrosos. Con anterioridad las evaluaciones estuvieron orientadas a la evaluación de riesgos en salud humana. Existen en la bibliografía antecedentes acerca de sistemas de valoración cuali-cuantitativos, aunque con alta dependencia del criterio del evaluador. La USEPA ha adoptado un programa de evaluación de riesgos ambientales cuantitativo cuyo esquema general fue presentado por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (UNEP Industry and Environment, 1995; USEPA, 2002). El esquema de esta evaluación se inicia con la identificación del riesgo, la descripción del medio ambiente, la caracterización de las fuentes de riesgo, el análisis de exposición y efectos y el análisis de las dinámicas temporales y espaciales (USEPA, 1990; USEPA, 2000; USEPA, 2002).

Esta estrategia ha sido incorporada en forma relativamente reciente en la República Argentina en el marco de tres leyes: la Ley Nacional No. 25.612/2002 de gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios; la Ley 25.670/2002 de presupuestos mínimos para la gestión y eliminación de los PCBs; y la Ley general del Ambiente No. 25.675/2002. Las mismas incluyen entre sus requisitos a las evaluaciones de riesgo ambiental. Las empresas potencialmente contaminantes, o que pueden generar situaciones ambientales riesgosas deben evaluar los daños que pudieran causar al ambiente.

El objetivo del presente trabajo es integrar en una única metodología algunas de las estrategias de evaluación de riesgo existentes, basadas en sistemas de identificación y manejo de riesgos, de dispersión de contaminantes, de diagnóstico y valoración de peligros, de cuantificación del riesgo y la aplicación de la metodología integrada a un caso de estudio correspondiente a un sitio contaminado, Planta Petroquímica, obteniendo para cada sector, sus niveles de peligrosidad para diversos escenarios, condiciones de operación y funcionamiento y condiciones de cierre, clausura o abandono del sitio. Los resultados obtenidos proponen la metodología desarrollada como herramienta para la caracterización y categorización de pasivos ambientales, capaz de extenderse a otros sitios de país, con el propósito del establecimiento de prioridades nacionales para su intervención.

Materiales y Métodos

El estudio de caso es una planta petroquímica, cuyo objetivo es la producción de polímeros. El trabajo experimental y de recolección de datos se realizó durante la operación de Planta. La interpretación de resultados y análisis final se realizó a partir del año 2005. La planta se divide en las áreas de Producción (dos sectores), Usina y Mantenimiento para facilitar su evaluación. Se analizan los procesos realizados en cada una de ellas y se analizan las actividades que pueden generar riesgos asociados a los distintos caminos de migración. Se seleccionan y analizan los parámetros relevantes en lo referente a la evaluación ambiental del sitio y del área de influencia

La integración y adaptación de metodologías de evaluación de riesgo ambiental se realizó utilizando criterios de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU de Norteamérica (USEPA, 1991; USEPA, 2002), de la Agencia de Protección Ambiental Canadiense (Gaudet, 1994), entre otras (Wilson, 1991; IRAM-ISO 14000, 1996; Sinkec, 2008). Se realizó una revisión crítica de las metodologías lo que permitió centrar la valoración de los riesgos a un sistema actualizado. La propuesta metodológica de evaluación de riesgo del sitio contaminado es el resultado del análisis de los caminos de migración: agua profunda, agua superficial, suelo, atmósfera, contacto directo, fuego/explosión. Esta metodología está estructurada para proveer una evaluación independiente para cada camino de migración y una valoración final del sitio contaminado.

El proceso de evaluación incluyó: Fase 1 Evaluación preliminar y auditoría ambiental. Fase 2: Evaluación y valoración del sistema de riesgos (fuentes de riesgo, blancos y receptores, mecanismos de control primarios y secundarios, mecanismos de transporte). Análisis de exposición y efectos. Análisis de las dinámicas temporales y espaciales. Fase 3: Manejo del sistema de riesgos. Propuestas y acciones de remediación en base a la naturaleza y extensión de la contaminación evaluada.

Se realizan evaluaciones parciales teniendo en cuenta: A) características de la fuente de riesgo, en base a caracterizaciones químicas de las emisiones gaseosas, de los residuos sólidos, semisólidos y efluentes líquidos, además de las cantidades e información de peligrosidad asociada a los compuestos identificados, B) blancos o receptores, C) mecanismos de control primarios y secundarios. Los factores de toxicidad y cantidad de sustancias peligrosas presentes en la fuente son prioritarios para la valoración del riesgo asociado. Las evaluaciones parciales de cada compartimento ambiental se plantearon, como producto de 3 factores (posibilidad de una pérdida o contaminación PR, características de la contaminación WC, receptores expuestos T) normalizados por un factor de escala F. De esta manera, cada indicador se calculó a través de la siguiente expresión general

$$S_i = PR \times WC \times T/F \quad \text{donde } i = gw, sw, s, a.$$

Se consideran, para agua subterránea, la identificación de las formaciones geológicas presentes, si ha habido o se han observado pérdidas de sustancias peligrosas desde la fuente, usos y ubicaciones de los pozos de toma de agua para distintas categorías de distancias. Para agua superficial, la identificación de todos los cuerpos de agua superficial existentes, las sustancias peligrosas con factibilidad

de migrar y los lugares de ingreso de las mismas. Se evalúan las características del residuo. Para suelo, la identificación de las áreas contaminadas con sustancias peligrosas. Se analiza la población residente, el uso del suelo, los ambientes sensibles terrestres y la población cercana. Para atmósfera, la evaluación de todas las emisiones de contaminantes. Su modelización para el caso de fuentes puntuales, tales como los conductos o chimeneas, como para otros sectores tales como el área de tratamiento de efluentes y el área de almacenamiento de residuos semisólidos, considerados fuentes difusas caracterizadas por un área o volumen emisor de efluentes gaseosos. Para el camino por fuego / explosión: Se evalúa este riesgo considerando la población y el uso del suelo dentro de un radio de 3200 m. Para contacto directo: Se evalúa el factor población dentro de un radio de 1600 m de la fuente de riesgo.

El resultado del riesgo para el sitio se obtiene integrando entonces cada uno de los resultados parciales obtenidos para cada camino de migración en particular. La ecuación final que se utiliza para la evaluación del sitio es:

$$S_{\text{sitio}} = \{[(S_{\text{gw}}^{\text{sitio}})^2 + (S_{\text{sw}}^{\text{sitio}})^2 + (S_{\text{s}}^{\text{sitio}})^2 + (S_{\text{a}}^{\text{sitio}})^2]/4\}^{1/2}$$

Cada fuente identificada y evaluada, para cada camino de migración, contribuye al sitio de manera que:

$$S_{\text{gw}}^{\text{sitio}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{gw}}^{F_i}$$

donde F_i es cada fuente de riesgo

Resultados y Discusión

El nivel de riesgo asociado a la planta industrial fue de 62 puntos, en una escala de valor máximo de 100, indicativo de la necesidad de implementar acciones de remediación. El sitio presentó amenazas, vía los caminos de migración aire y agua subterránea, con índices de riesgo muy elevados, cerca del valor máximo de escala. Las fuentes que influyeron en los niveles de riesgo mencionados fueron sectores de almacenamiento de residuos semisólidos, sistema de separación de compuestos orgánicos volátiles y tanques de almacenamiento de combustibles. Para la primera fuente, se obtuvo un nivel de riesgo de 42. Los resultados parciales fueron 67, 49, 12 y 14 para aire, agua subterránea, suelo y agua superficial respectivamente.

En sector de separación de compuestos orgánicos volátiles se obtuvo el mayor riesgo relativo en aire (38), mientras que para agua subterránea y suelo se obtuvieron valores menores que 10.

En compresores, hornos, precalentadores y generadores el riesgo relativo de la fuente es de 9.5, y la contribución mayoritaria corresponde al camino de migración aire. La ponderación de este camino es significativamente menor que la contribución correspondiente de otras fuentes. Las diferencias observadas se deben en general a la toxicidad de los compuestos involucrados; y la estimación del número de receptores expuestos a los distintos niveles de contaminación. Factores que influyen decisivamente en la valoración del sistema de riesgo.

Se verifica que los riesgos relativos de las áreas donde no se manejan materiales peligrosos son poco significativos. Su único aporte corresponde al camino de migración aire con un nivel igual a 1. Respecto al área usina, los mayores niveles de riesgo se atribuyen a las fuentes emisoras de compuestos a la atmósfera –tales como calderas y generadores– con un nivel de 19, y tanques de almacenamiento de combustible con un valor de 38. Los niveles de riesgo obtenidos sobre los recursos suelo y agua subterránea no fueron significativos. Sobre los sectores de tanques enterrados y tambores con hidrocarburos se concluye que los riesgos, fundamentalmente, se encuentran sobre agua subterránea y aire. Si bien los valores no superan los 30 puntos –debido a las condiciones de contención existentes– sus niveles de riesgo pueden duplicarse si se considera que la capacidad de contención y la condición de control secundario (programa de mantenimiento y control) sea deteriorada o paralizada respectivamente.

Los resultados correspondientes a la valoración de los riesgos para el sitio, considerado como la totalidad de la planta, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1
Resultados del Sitio Estudio

Descripción	Camino de migración	Resultado	Resultado final
Sitio estudio	Aire	100	62
	Agua subterránea	73	
	Suelo	1	
	Agua superficial	6	

Cada resultado obtenido para cada camino de migración es considerado un indicador, con un valor mínimo de cero a un valor máximo de 100, mediante el cual puede medirse la calidad ambiental del camino evaluado. En sentido estricto representa una única variable, que en este caso es, o bien aire, o bien agua o bien suelo. El conjunto de indicadores mencionados, relacionados mediante la ecuación matemática propuesta (raíz cuadrática media) genera el denominado índice del sitio S_{sitio} . Este índice representa su condición ambiental. La formulación analítica propuesta ha sido sometida a pruebas a fin de analizar la sensibilidad del índice y su coherencia conceptual y matemática.

Si se establece una categorización o escala de resultados, por fuente, en función de los riesgos asociados, en orden decreciente de importancia, el mismo es el siguiente: Sectores de almacenamiento de residuos peligrosos, Sistema de separación de VOCs y tanques de almacenamiento de combustibles, calderas, hornos, generadores y compresores, tanques enterrados, tambores con HC, silos, molinos y tolvas. Desde este punto de vista, se sugiere la remediación y minimización del riesgo de los sectores de almacenamiento de residuos semisólidos, para luego continuar con la eliminación de los residuos de PCB contenidos en transformadores y contenedores.

Realizando esta categorización en función de los caminos de migración, se observa que, el mayor riesgo, corresponde al camino de migración aire, por lo que puede concluirse que la conducción de acciones tendientes a minimizar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de las fuentes más comprometidas es prioritaria.

El riesgo ambiental del pasivo ambiental de los residuos especiales remanentes fue evaluado teniendo en cuenta el grado de contención, cantidad, monitoreos y programas de verificación y control. Su nivel de riesgo permitió prever un impacto medio-alto sobre el aire y agua subterránea y medio sobre el agua superficial. Las medidas de mitigación fueron orientadas a la remoción, tratamiento y disposición final, dado el estado semiconfinado y a cielo abierto. Fue considerado imprescindible un monitoreo de alta frecuencia, y la adición de freáticos de acuerdo a la geometría del sistema de remediación a instalar.

El programa de mitigación asociado al pasivo proveniente del sistema de separación de VOCs se orientó hacia la reingeniería y adición de sistemas de lavado de gases.

Conclusiones

Fue factible aplicar la metodología integrada de riesgo ambiental a un sitio contaminado, planta petroquímica, obteniendo un resultado normalizado que indicó su nivel de peligrosidad. Ha sido posible su aplicación a diversos escenarios. Por un lado, un escenario con condiciones de operación y funcionamiento; por el otro, un escenario de cierre, clausura o abandono del sitio.

Se seleccionaron sectores para la realización de acciones de intervención y remediación. Las acciones de respuesta a fin de reducir los niveles de riesgo, fueron propuestas desde la reparación de sistemas, encapsulamiento, aislamiento y remoción, con niveles asociados de reducción de riesgos crecientes, respectivamente.

Esta metodología concita un interés particular para su aplicación en industrias y al análisis de sitios contaminados, como disciplina de valoración y para su aplicación en la toma de seguros ambientales por parte de las empresas y organismos.

Los resultados obtenidos proponen la metodología desarrollada como herramienta para la caracterización y categorización de pasivos ambientales, capaz de extenderse a otros sitios de país, con el propósito del establecimiento de prioridades nacionales para su intervención. Se propone la metodología integrada desarrollada para su implementación en el ámbito de un Programa Nacional de Gestión y Remediación de Sitios Contaminados como herramienta operativa para su gestión ambiental.

Bibliografía

- Gaudet C, 1994. *A Framework for Ecological Risk Assessment at contaminated Sites in Canada: Review and Recommendations*. Scientific series no. 199. Ecosystem conservation directorate. Evaluation and interpretation branch. Ottawa.
- Ley 25670, 2002. *Ley Nacional de Presupuestos Mínimos para la Gestión y Eliminación de los PCB's*. Boletín Oficial: 19.11.2002. Buenos Aires.
- Ley 25612, 2002. *Ley de Gestión Integral de Residuos Industriales y Actividades de Servicios*. Publicada bajo el N° 25.612, Boletín Oficial 30.7.02. Buenos Aires.
- Ley 25675, 2002. *Ley Nacional General del Ambiente*. Publicada bajo el N° 25675, Boletín Oficial 28.11.02. Buenos Aires. Argentina.
- Norma IRAM-ISO 14001, 1996. *Sistemas de gestión ambiental. Especificaciones y Directivas para su uso*. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires.

- Sindec M.S, 2008. *Integración y adaptación de metodologías de Evaluación de Riesgo Ambiental y su aplicación a un estudio de caso*. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional. Regional La Plata. Buenos Aires.
- UNEP Industry and Environment, 1995. *Environmental Management Tools*. Vol. 18, No.2-3.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1990 40 CFR 300 Apendix A. *Hazard Ranking System. Final Rule*. Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1991. *Guidance for Performing Preliminary Assessments Under CERCLA*. Office of Solid Waste and Emergency Response. Publication 9345.0-01A. Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency, 2000. *Improving Site Assessment: Integrating Removal and Remedial Site Evaluations*. Office of Solid Waste and Emergency response. Publication 9360.0-39FS. EPA-540-F-99-006., Washington D.C
- U.S. Environmental Protection Agency, 2002. *Cleanup Programs in Washington*. Final Report. EPA Region 10. Office of Solid Waste and Emergency response. Publication 9345.1-03FS. Washington D.C.
- Wilson A, 1991. *Environmental Risk: Identification and management*. Hazardous Materials Institute, Inc. Houston. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.