

Tecnología de inmovilización de desechos peligrosos en Costa Rica

Maricruz Vargas Camareno¹
Luis Guillermo Romero Esquivel²

En nuestro país existe muy poca información sobre la cantidad de desechos peligrosos generados. No obstante, tomando en cuenta la cantidad de materiales peligrosos que se producen o importan, es claro que en el país el problema de los desechos peligrosos se debe considerar más seriamente.

Palabras clave

Desecho peligroso, tratamiento de desechos, inmovilización, estabilización, solidificación.

Resumen

En nuestro país existe muy poca información sobre la cantidad de desechos peligrosos generados. No obstante, tomando en cuenta la cantidad de materiales peligrosos que se producen o importan, es claro que en el país el problema de los desechos peligrosos se debe considerar más seriamente. En especial, si se considera que en el país no existe una política e infraestructura apropiada para el manejo y tratamiento de los desechos peligrosos.

Actualmente, en el país se realiza el tratamiento térmico de ciertos desechos (en la cementera), se exportan algunos desechos (según Convenio Basilea) y se permite la disposición en áreas especiales de los rellenos sanitarios de desechos ordinarios (Araya, 2002; *Informe de la Nación*; Ministerio de

Salud y Organización Panamericana de la Salud [OPS/OMS], 1999).

Es evidente que es necesario el desarrollo de una tecnología que permita el tratamiento efectivo de desechos peligrosos de una manera fácil y de bajo costo. La inmovilización resulta la tecnología más prometedora en estos aspectos; por lo tanto, se requiere desarrollar dicha tecnología en el país, aprovechando las ventajas que ofrece esta técnica y los recursos disponibles en el país.

Actualmente, el Instituto Tecnológico de Costa Rica, mediante el Laboratorio de Desechos Peligrosos, está desarrollando la metodología de inmovilización en algunos lodos residuales con metales pesados procedentes de procesos industriales y de laboratorios.

Situación de los desechos peligrosos en Costa Rica

En el país hay muy poca información sobre las cantidades de desechos peligrosos que

- 1 Maricruz Vargas Camareno. Profesora e Investigadora del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Correo electrónico: mvargas@itcr.ac.cr.
- 2 Luis Guillermo Romero Esquivel. Profesor e Investigador del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Correo electrónico: lromero@itcr.ac.cr.

Desafortunadamente, la mayoría de los desechos peligrosos no son manejados hasta su disposición final de una manera adecuada. Muchos de estos se mezclan con la basura tradicional y considerando que la recolección formal de los desechos en el país cubre alrededor del 70% del territorio en el mejor de los casos irán a un relleno sanitario, pero casi siempre sin considerar las regulaciones para la disposición de desechos peligrosos.

se generan (Consejo Nacional de Rectores –CONARE– Programa Estado de la Nación. 2004). Existen algunos datos aislados sobre los desechos y las importaciones o generación de productos que dan lugar a desechos peligrosos; por ejemplo: se estima en 40.000 ton/año la cantidad de lodos industriales generados (la mayoría contiene sustancias químicas orgánicas y metales pesados), se utilizan aproximadamente 500 ton/año de lámparas fluorescentes (contiene mercurio), 15.000 ton/año aceites usados y 30.000 ton de disolventes (composición variada) (ARAYA, 2002). La importación de baterías de plomo húmedas también representan una buena cantidad donde alrededor de 500 ton han sido importadas en los últimos 6 años (Soto, 2005).

Desafortunadamente, la mayoría de los desechos peligrosos no son manejados hasta su disposición final de una manera adecuada. Muchos de estos se mezclan con la basura tradicional y considerando que la recolección formal de los desechos en el país cubre alrededor del 70% del territorio en el mejor de los casos irán a un relleno sanitario, pero casi siempre sin considerar las regulaciones para la disposición de desechos peligrosos. En otros casos, terminan en botaderos, lotes baldíos, ríos o lagos. También algunos materiales como aceite usado y disolventes no clorados son empleados en reciclaje térmico en la empresa cementera Holcim (Araya, 2002). En el caso de los desechos radiactivos la Escuela de Física de la UCR administra una instalación dedicada al tratamiento de estos. Finalmente, gracias a que el país suscribió la Convención sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, conocida como Convenio de Basilea, se ha podido realizar la exportación de desechos peligrosos como solventes agotados, aceites dieléctricos (con PCB) y medicamentos vencidos (Consejo Nacional de Rectores –CONARE– Programa Estado de la Nación. 2004).

Tecnología para el tratamiento y disposición

Puesto que en el país no existe una planta de tratamiento de desechos especiales ni rellenos de seguridad, se establece como una posibilidad la disposición en rellenos sanitarios para desechos ordinarios en áreas especialmente acondicionadas; previa aprobación por parte de la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud (Ministerio de Salud y Organización Panamericana de la Salud [OPS/OMS], 1999).

Otra posibilidad para solucionar este problema es optar por alguna de las tecnologías disponibles para el tratamiento de desechos peligrosos, entre las que destaca descomposición térmica, fusión en plasma, inmovilización y relleno sanitario controlado. Todos los métodos mencionados, excepto inmovilización, requieren de una gran inversión inicial para construir la infraestructura requerida para llevar a cabo el tratamiento. Inmovilización requiere solo de una mezcladora de cemento como infraestructura principal y se puede hacer el tratamiento in situ, ex situ, en planta e incluso en planta móvil. Dicho método es aplicable al tratamiento de desechos que contienen metales pesados, otras especies inorgánicas y recientemente en algunas sustancias orgánicas. Además, posee la ventaja que el producto procesado puede tener un uso posterior; por lo tanto, sería una forma de reciclar los desechos peligrosos (Harada, 2005; Wiles, 1997).

Inmovilización: estabilización / solidificación

El término general, ‘inmovilización’ incluye métodos físicos y químicos tanto para solidificar como para estabilizar los residuos (Wilson *et al.*, 2002).

La estabilización es un término general para describir técnicas o métodos, mediante los cuales los residuos peligrosos son convertidos en una forma más estable (Wilson *et al.*, 2002). Normalmente, esto se logra mediante la adición de reactivos que mejoran el manejo y las características

El proceso de solidificación es relativamente simple porque consiste en la mezcla del desecho peligroso pulverizado, reactivos químicos y cemento. La mezcla produce sustancias no peligrosas y además pueden ser usados en materiales para la ingeniería civil porque son hechos a partir de cemento (Harada, 2005).

físicas del residuo, disminuyen la superficie a través de la cual se puede dar la liberación de los contaminantes, reduce o limita la solubilidad de cualquier contaminante presente en el residuo y, finalmente, reduce la toxicidad de los contaminantes (La Grega *et al.*, 1996).

La solidificación se refiere a las técnicas que inmovilizan los residuos en una masa sólida. Esta masa puede ser el residuo original o el residuo previamente estabilizado (Wilson *et al.*, 2002). La adición de reactivos permite la solidificación de dicha masa, con una mayor resistencia, menor compresibilidad y menor permeabilidad del residuo (La Grega *et al.*, 1996).

En el presente texto se utilizarán los términos inmovilizar, estabilizar o solidificar indistintamente, a menos que se especifique lo contrario.

Un proceso eficaz de inmovilización es aquel donde los potenciales agentes contaminantes son inmovilizados con éxito, en una estructura de residuos estabilizados o solidificada y aislados del medio ambiente, haciéndolos inadecuados para la lixiviación (Wilson *et al.*, 2002), donde la lixiviación es el proceso mediante el cual los contaminantes se transfieren de una matriz estabilizada a un medio líquido como el agua (La Grega *et al.*, 1996).

El proceso de solidificación es relativamente simple porque consiste en la mezcla del desecho peligroso pulverizado, reactivos químicos y cemento. La mezcla produce sustancias no peligrosas y además pueden ser usados en materiales para la ingeniería civil porque son hechos a partir de cemento (Harada, 2005).

Aplicaciones

Los procesos de inmovilización se aplican principalmente a tres campos (La Grega *et al.*, 1996):

- Eliminación en el terreno: estabilización de residuos, previo a su eliminación en vertederos de seguridad.

- Recuperación de terrenos: la recuperación de terrenos contaminados.
- Solidificación de residuos industriales: principalmente sustancias inorgánicas y lodos.

Esta tecnología está catalogada como la mejor tecnología demostrada disponible (en inglés Best Demonstrated Available Technology, BDTA) para el tratamiento de una selecta lista de desechos peligrosos de la Acta de Recuperación y Conservación de Recursos (Resources Conservation and Recovery Act, RCRA) de los Estados Unidos (Wiles, 1997). De igual manera, se podría utilizar en una larga lista de desechos, principalmente lodos industriales, que se encuentra en el Reglamento de Listado de las Características de Desechos de Costa Rica (Gobierno de la República de Costa Rica, 1998).

Generalmente, la aplicación de esta tecnología en el tratamiento de metales pesados ha sido aceptada; no obstante, su uso en el tratamiento de sustancias orgánicas es bastante controversial. Sin embargo, en los últimos años ha sido aplicada en el tratamiento de ciertos compuestos orgánicos y es considerada apropiada para ciertos desechos con compuestos orgánicos semivolátiles o no volátiles. Algunos ejemplos incluyen halogenados semivolátiles, no halogenados semivolátiles o no volátiles, PCB y otros (Wiles, 1997).

Mecanismos y tecnología de estabilización

Entre los mecanismos físicos y químicos básicos que controlan la eficacia de los reactivos de estabilización se encuentran (La Grega *et al.*, 1996):

- Macroencapsulación: los constituyentes del residuo quedan atrapados físicamente en una matriz estructural de mayor tamaño.
- Microencapsulación: los constituyentes del residuo peligroso quedan atrapados

Algunos de estos casos, la liberación de los contaminantes se puede llevar al momento en que se dé la degradación física (descomposición) del material estabilizado; esto, por ser una interacción meramente física (ejemplo, en macro y microencapsulación).

en el interior de la estructura cristalina de la matriz solidificada a nivel microscópico.

- Absorción: es el proceso por el cual los contaminantes son tomados por el sorbente en forma similar a como una esponja toma el agua. Esta se considera como una medida temporal para mejorar las características de manejo.
- Adsorción: fenómeno por el cual los contaminantes son ligados de manera electroquímica a los agentes de estabilización de la matriz.
- Precipitación: en este caso, los contaminantes del residuo precipitan y dan lugar a una forma más estable de los constituyentes dentro del residuo.
- Detoxificación: en el proceso de estabilización algunas de las reacciones químicas que tienen lugar pueden originar un residuo de menor toxicidad. Generalmente, se modifica un constituyente químico en otro (u otra forma del mismo constituyente) no tóxico o menos tóxico.

Algunos de estos casos, la liberación de los contaminantes se puede llevar al momento en que se dé la degradación física (descomposición) del material estabilizado; esto, por ser una interacción meramente física (ejemplo, en macro y microencapsulación).

La tecnología se puede describir mediante el estudio de los distintos tipos de aditivos (reactivos) utilizados. Así, se pueden agrupar en aditivos orgánicos, aditivos inorgánicos y una combinación de ambos (La Grega *et al.*, 1996; Wiles, 1997).

Entre los aditivos orgánicos utilizados, se encuentran materiales poliméricos termoplásticos asfalto, polietileno o polipropileno y termoestables, incluyendo monómeros reactivos urea-formaldehídos, fenolitos, poliéster, viniles y epóxidos. (Blackman, 2001; La Grega *et al.*, 1996;

Wiles, 1997). Los aditivos orgánicos se han usado para solidificar comercialmente desechos radiactivos y son aplicables a ciertos compuestos orgánicos que no pueden ser destruidos por procesos térmicos (Wiles, 1997).

Los aditivos inorgánicos han sido los más ampliamente usados, entre estos se encuentran el cemento y los materiales puzolánicos (material que reacciona con la cal para producir un material de cementación) o una combinación de ambos (La Grega *et al.*, 1996; Wiles, 1997). Estos materiales han demostrado eficacia en el tratamiento de oxidantes como: hipoclorito sódico, permanganato, ácido nítrico, dicromato de potasio; ácidos: clorhídrico y fluorhídrico; materiales radiactivos; metales pesados como plomo, sulfatos, haluros, nitratos y cianuros (La Grega *et al.*, 1996).

La combinación de aditivos orgánicos e inorgánicos como cemento y poliuretano se han utilizado en la estabilización de ciertos compuestos orgánicos (Wiles, 1997).

De los aditivos mencionados anteriormente, el cemento y los materiales puzolánicos son los más prometedores a escala nacional. Principalmente, porque son materiales de bajo costo y producidos en el país. Incluso la industria de cemento nacional (Holcim) produce cementos puzolánicos desde el descubrimiento de yacimientos de estos materiales en la zona de Llano Grande de Cartago (Romero, 1995).

Evaluación de la eficacia de estabilización

Una gran cantidad de ensayos físicos, químicos y de lixiviación es usada para evaluar el comportamiento de los materiales tratados. Para efectos de cumplir la legislación nacional en cuanto a desechos peligrosos, se utiliza el ensayo de Características de Toxicidad Procedimiento de Lixiviación (Toxicity Characteristics Leaching Test, TCLP) de la Agencia de Protección Ambiental

Actualmente, el Laboratorio de Desechos Peligrosos del Instituto Tecnológico de Costa Rica está desarrollando la tecnología de inmovilización de desechos peligrosos (en este caso residuos con metales pesados), mediante un proyecto de investigación en donde se está trabajando con lodos procedentes de procesos industriales y de laboratorios. Este proyecto, en su etapa inicial, contó con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), a través del Dr. Katsuhiro Harada, experto en desechos peligrosos.

de Estados Unidos (EPA), con el fin de determinar si los materiales tratados liberarán sus componentes peligrosos en las condiciones de un relleno sanitario. Este ensayo se encuentra como requisito para determinar si un desecho es peligroso en el Reglamento de Desechos Peligrosos (Gobierno de la República de Costa Rica, 1998). También los ensayos de resistencia física a la compresión son muy importantes, especialmente porque la destrucción del material puede liberar la especie peligrosa y si está pensando en la posibilidad de utilizar el material con fines estructurales.

Costo de solidificación y estabilización

El costo de implementar un sistema de solidificación dependerá de una serie de factores, incluyendo costo del aditivo usado, costos de transporte, requisitos de legislación objetivos del proyecto, requisitos de control de calidad, protección a los trabajadores y la comunidad, y una gran cantidad de factores específicos del lugar donde se realice el tratamiento. Los sistemas de solidificación, utilizando cemento y puzolanas, generalmente han sido considerados de menor costo que otras alternativas de tratamiento principalmente, por ser materiales de bajo costo y el uso de equipos disponibles de la industria de la construcción (Wiles, 1997). En los Estados Unidos se reporta el tratamiento con cemento *Pórtland* de suelos contaminados con arsénico con un costo inferior a cien dólares por tonelada (USEPA, 2002).

Aplicación de la tecnología de inmovilización en Costa Rica

En el país no se da una solución adecuada al manejo de los desechos peligrosos, donde la mayoría son liberados al medio ambiente: suelo, atmósfera y agua. En el mejor de los casos, algunos desechos son quemados en la industria de cemento, depositados en rellenos sanitarios y en algunos casos exportados para su tratamiento.

Es necesario desarrollar una tecnología barata y de fácil aplicación para el tratamiento de desechos peligrosos. La inmovilización, al utilizar materias primas baratas y aprovechar las herramientas de la industria de la construcción, resulta la más apropiada por desarrollar en el país.

Actualmente, el Laboratorio de Desechos Peligrosos del Instituto Tecnológico de Costa Rica está desarrollando la tecnología de inmovilización de desechos peligrosos (en este caso residuos con metales pesados), mediante un proyecto de investigación en donde se está trabajando con lodos procedentes de procesos industriales y de laboratorios. Este proyecto, en su etapa inicial, contó con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), a través del Dr. Katsuhiro Harada, experto en desechos peligrosos.

Bibliografía

- ASTM C-109, C-305 y C-230. *American Standard Test Methods*. ASTM. USA.
- Araya, W. 2002. *Reporte Nacional de Manejo de Materiales Costa Rica-2002*, PROARCA, USAID, CNP+L; Costa Rica.
- Blackman, W. 2001. *Basic Hazardous Waste Management*. 3.^a ed, Lewis Publishers. USA.
- Gobierno de la República de Costa Rica. 1998. "Reglamento del Listado de las Características de Desechos Peligrosos de Costa Rica." En: *La Gaceta* N.º 101, pp. 10-17. Costa Rica.
- Gobierno de la República de Costa Rica. 1998. "Reglamento de Desechos Peligrosos de Costa Rica". En: *La Gaceta* N.º 124, pp. 2-9. Costa Rica.
- Harada, K. 2005. *Waste Processing Technologies and Risk of Hazardous Wastes*. Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)-Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Costa Rica.
- Consejo Nacional de Rectores. (CONARE), Programa Estado de la Nación. 2004. *Décimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible Informe de la Nación*.
- La Grega, M., Buckingham, P. y Evans, J. 1996. *Gestión de Residuos Tóxicos: Tratamiento*,

- Eliminación y Recuperación de Suelos*. Vol. II. McGraw Hill. España.
- Ministerio de Salud y Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS). 1999. *Compendio de Cuatro Reglamentos. Costa Rica*.
- Quesada, H. y Salas, J. C. 2005. "Manejo de los Desechos Peligrosos en los Laboratorios del ITCR". III Fase del proyecto. Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Costa Rica.
- Quesada, H. *et al.* 2005. "Estrategias para el manejo de Desechos Industriales Peligrosos en Costa Rica: Plan Piloto en la Zona Industrial de Cartago". III Fase del proyecto. Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Costa Rica.
- Romero, L. 1995. *Método Rápido para Determinar la Actividad Puzolánica de los Materiales de la Industria Nacional de Cemento S.A. (INCSA)*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica.
- Soto, S. 2005. Comunicación personal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- USA-EPA. (2002) U.S. EPA/National Service Center for Environmental Publications (NSCEP) *Arsenic Report*. Disponible: http://www.epa.gov/tio/download/remed/542r02004/arsenic_report.pdf. (mayo, 2005).
- Wiles, C. 1997. Solidification and Stabilization Technology. En: Freeman, H. (Editor) 1997. 2.^a ed. *Standard handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*, McGraw-Hill, New York: pp 7.31-7.46.
- Wilson, D., Balkau, F. y Thurgood, M. (2002). Solidificación y Estabilización. *Manual de Formación en gestión de residuos peligrosos para países en vías de desarrollo*. Disponible: www.uneptie.org/pc/hazardouswaste/menu.htm. (mayo, 2005).