

# La prueba piloto:

## un elemento esencial en el diseño e implementación de sistemas de remediación de suelo y agua subterránea

*Jerjes Pantoja-Irys\*, Mark Wagner y Hugo Mújica-Sánchez*



En las últimas dos décadas México ha ganado gran experiencia en el tema de estudios de caracterización, definición volumétrica y remediación de suelo contaminado con hidrocarburos. Esto ha ocurrido como consecuencia de dos factores relevantes; el primero se debe a la gran cantidad de casos y eventos de derrames de hidrocarburos en el territorio nacional, dada la naturaleza productora de petróleo de nuestro país. El segundo va aunado a la incorporación de los principios constitucionales de sustentabilidad del desarrollo y la conservación de los recursos productivos y del medio ambiente.

La publicación en 1988, por parte del Ejecutivo, de leyes y reglamentos dedicados específicamente a la ecología y la protección del medio ambiente detonaron, así como la aparición posterior de instrumentos jurídicos, entre ellos, normas oficiales mexicanas como la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 (Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación) ayudaron a crear mayor certidumbre jurídica en el actuar “ambiental” de la industria y la sociedad.

Posteriormente en el año 2004, se publica la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, “que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio”.

Esto, a pesar de que el avance con respecto a la contaminación de suelo con metales ha sido más lento y limitado en cuestión de experiencias exitosas y documentadas.

Aún más lento ha sido el avance y obtención de experiencias positivas de recuperación de cuerpos de agua someros y acuíferos contaminados con cualquier tipo de compuestos contaminantes. Aunque en la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento se toca el tema de la contaminación y la responsabilidad ambiental del causante, no existen lineamientos más específicos que den certidumbre jurídica en el actuar.

Los aspectos mencionados con anterioridad resaltan al percibir la muy escasa publicación en revistas serias, de casos técnica y científicamente sustentados que describan los procedimientos de investigación y sus resultados aplicados a sitios contaminados en México. Esto ha creado una fuerte carencia de transmisión de conocimiento y experiencias exitosas de tecnologías y métodos que garanticen la aplicación de los sistemas de remediación necesarios en los sitios contaminados del país.

Ante este escenario, la prueba piloto para la aplicación de sistemas de remediación de gran escala, se vuelve una herramienta muy útil para garantizar que el sitio se podrá restaurar usando la tecnología óptima y económicamente eficiente, en un escenario geológico-hidrogeológico particular.



La confirmación de la posibilidad de usar tecnologías económicamente eficientes resulta en una ventaja competitiva para las empresas, precisamente por los ahorros que éstas pueden ofrecer. La implementación de la prueba piloto es una de varias etapas para atender los casos de contaminación de un predio, pero que implementada estratégicamente puede generar ahorros económicos considerables, al confirmar el uso de tecnologías “baratas” comparativamente.

En el Manual de Remediación de Sitios Contaminados con Petróleo (estrategia basada en riesgo) del Programa de la Fuerza Aérea de Estados Unidos para la Restauración Ambiental, elaborado por Parsons Engineering Science, Inc. (abril de 1998), se hace una breve descripción de los objetivos de una prueba piloto para diferentes tecnologías de remediación por hidrocarburos, entre las que se destacan: a) el bioventeo, b) la extracción de vapores, c) la inyección de aire, d) el bombeo y tratamiento, e) recuperación de producto en fase libre y, f) la excavación y tratamiento. En este manual se resalta la necesidad de la aplicación de la prueba piloto para sitios contaminados en donde existe incertidumbre acerca del uso de una tecnología por las condiciones geohidrológicas del sitio y la naturaleza del contaminante; así como también para obtener valiosa información específica que conlleve al éxito en la implementación de tecnologías de remediación en mayor escala.



## El Mundo de las Baterías

Acumuladores, baterías nuevas y usadas, montacargas, mantenimiento de montacargas, cargadores, UPS



Vida nueva a las baterías usadas

### RENUOVE SUS BATERIAS

Contribuya a reducir el calentamiento global

[www.mundodelasbaterias.com](http://www.mundodelasbaterias.com)

#### Ventajas

- Extiende el tiempo de operación de baterías usadas en un 100%.
- Reduce los tiempos de recarga de baterías almacenadas en un 30%.
- Aumenta la potencia de encendido, resultando en mayor cantidad de arranques antes de que sea necesaria la recarga.
- Aumenta el tiempo de descarga.
- Reduce gastos de operación.
- Reduce el desecho de baterías, contribuyendo así a la conservación del medio ambiente.
- Reduce significativamente la necesidad de adquirir baterías nuevas.
- Nuestro método es aplicable a todo tipo de baterías ácido-plomo.



\*\*Pregunte por nuestras promociones

#### Distribuidor Exclusivo

LTH Filtros Lubricantes Aceites Anticongelantes



## Mejoramos presupuestos

Venta y compra de plomo y baterías usadas

Centeotl #342 Fraccionamiento Industrial

San Antonio, México D.F.

Teléfonos: (01-55) 5347-1399 y (01-55) 5347-1790

[ventas@mudodelasbaterias.com](mailto:ventas@mudodelasbaterias.com)

### Aplicación práctica en México

Durante 2008 se llevaron a cabo tareas de investigación de contaminación de suelo y agua subterránea en un predio que se sospechaba podría estar contaminado. La existencia del pasivo ambiental, en la propiedad ubicada en la zona poniente de la ciudad de México, se debió a la dispersión de diesel en el suelo, a partir de un par de viejos tanques de diesel enterrados y su tubería de conducción. Estos tanques se removieron hacia más de 25 años y actualmente ésta es un área para estacionar vehículos al aire libre.

Con base en los resultados de campo y laboratorio se estableció un área de afectación de casi cinco mil metros cuadrados, con un volumen aproximado de ocho mil metros cúbicos y una concentración promedio de 40 mil mg/kg de hidrocarburos fracción media (muy por arriba de la norma nacional para suelos residenciales). La distribución de la contaminación abarcaba desde los cuatro metros con respecto a la superficie actual del terreno, hasta los 13.5 metros de profundidad en promedio, donde se presenta la franja capilar. La litología está constituida por una toba epiclástica no consolidada con una unidad arenosa entre dos unidades de suelo más compacto y de menor permeabilidad conformadas principalmente por arcilla y limo arcilloso con variaciones constantes de arena. La unidad más permeable es de tres a ocho metros de espesor con profundidades variables pero tendentes a manifestarse más a partir de los ocho o nueve metros de profundidad con respecto a la superficie.



Mediante la implementación del estudio de factibilidad inicial, cinco tecnologías fueron seleccionadas por su posible viabilidad técnica en el sitio, éstas fueron evaluadas y comparadas para satisfacer los requerimientos normativos nacionales, los recursos técnicos y económicos necesarios y las necesidades de uso futuro en el predio. De las cinco tecnologías evaluadas, una fue descartada por su inviabilidad técnica debido al tiempo que tardaría su implementación y al resultado muy incierto que podría arrojar —extracción de aire/volatilización física—; la segunda descartada fue la excavación y biopilas debido a que no se cuenta con el espacio suficiente en el predio para su implementación.

De las tres tecnologías restantes, dos de ellas tenían altas posibilidades técnicas de poder ser exitosas, variando en rango económico desde los 22 hasta los 26 millones de pesos. Sin embargo, la tercera tecnología tenía una probabilidad moderada de éxito, pero su costo era menor en más de un 50 por ciento con respecto a las otras dos; además de que ésta última es más “ambientalmente amigable” pues su proceso es *in situ* y aprovecha la biodegradación de las cadenas de los hidrocarburos medios y pesados. El tiempo de remediación tampoco era una limitante para la tecnología de biorremediación, pues no existían receptores en riesgo y el área está ventilada por ser abierta sin infraestructura.

Precisamente la implementación de una prueba piloto daría certidumbre en

la posibilidad de alcanzar las concentraciones de remediación estipuladas en la norma para suelos residenciales; así como también permitiría recopilar valiosa información del suelo para su implementación a gran escala, en caso de su viabilidad.

Con el esquema plasmado, el propietario del terreno decidió invertir un millón de pesos para aplicar la prueba piloto por un periodo de ocho meses y comprobar la eficacia de la tecnología de inyección de aire/bioviento. El sistema piloto de bioviento incluyó un pozo (IW-1) de inyección de aire y tres pozos de extracción de gas del suelo (EW-01, EW-02 y EW-03) orientados alrededor del pozo de inyección de aire a una distancia radial de 15 metros y ranurados desde los cuatro hasta los 13 metros debajo de la superficie de la tierra. Se instalaron tres puntos de monitoreo de gas del suelo (VMW-01, VMW-02 y VMW-03) en diferentes distancias desde el pozo de inyección de aire. Cada uno de los puntos de monitoreo de gas del suelo consta de tres intervalos ranurados establecidos discrecionalmente dentro de un solo pozo. Se ranuraron los intervalos de monitoreo de vapor de 4-5 m, 7-8 m y 10-11 m en el VMW-01 y el VMW-02, y de 4-5 m, 6-7 m y 8-9 m en el VMW-03.

El compresor mecánico bombeaba aire ambiental hacia el interior del pozo de inyección. Un soplador de vacío removió el gas del suelo de los pozos

de extracción. Los componentes del sistema adicional que son necesarios para el sistema de bioviento incluyeron un tanque condensador (knockout tank) para recolectar la condensación y una unidad de carbono granular activado a vapor (VPGAC, por sus siglas en inglés) para remover los compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés) antes de descargar el gas del suelo a la atmósfera. La unidad VPGAC se incluyó como una medida conservadora para mitigar emisiones mínimas del sistema. Los sopladores, controles y otros componentes del sistema se alojaron en un contenedor móvil de acero reforzado.

De esta forma, los índices de respiración de la prueba de apertura y cierre, las lecturas constantes de  $O_2$  VS  $CO_2$  durante la operación y los índices de degradación derivados de las muestras de suelo de campaña pre y post-remediación, indicaron la posibilidad de un margen de tiempo operacional a gran escala de aproximadamente cuatro años o menos.

Con base en los resultados de la prueba piloto, se recomendó implementar la tecnología de inyección de aire, bajo la modalidad de bioviento a gran escala para el tratamiento del suelo impregnado con diesel. Considerándose su viabilidad técnica y económica. Como inicialmente se estimó, la instalación, operación, muestreos confirmatorios y obtención de la liberación del sitio en los cinco años tendrán un costo de nueve millones pesos, más el millón de pesos de la implementación de la prueba piloto; es decir, un total de diez millones de pesos. Si el proyecto se observa desde una perspectiva de negocio, la implementación estratégica de un sistema de biorremediación *in situ*, a través de la confirmación técnica mediante la prueba piloto, le permitió a la empresa “ganar” entre 12 y 16 millones de pesos, considerando que las otras opciones eran mucho más caras y no eran “ambientalmente amigables”.

---

\* Director general de Corporación Ambiental de México



20

**portada**

## Un camino de claroscuros rumbo a Cancún

Hasta el momento existen pocas garantías de que se logre un acuerdo global durante la COP16 para frenar el calentamiento global, pero no todo está perdido, ya que según expertos, ningún tratado servirá de mucho si la población global no logra asumir el problema como una cuestión personal. Y mientras esto ocurre, los efectos del cambio climático parecen agudizarse en países como México.



42

## cultura verde ¿Qué hacer cuando la ley no funciona?

Los conflictos sociales derivados de la devastación ambiental han aumentado en los últimos años, de acuerdo con especialistas, quienes consideran que las pocas garantías que ofrece el Estado en cuanto al cumplimiento de la ley, dejan pocas opciones para los afectados ambientales más allá de la movilización social.



46

**ciencia**

## La importancia de la prueba piloto

Un ejemplo que ayuda a entender la enorme relevancia que tiene esta prueba dentro del proceso de remediación de suelos y agua subterránea.



50



**especies**

## Detener la invasión

Las especies invasoras son la segunda causa de pérdida de biodiversidad sólo después de la fragmentación del hábitat, razón por la cual, detener el flujo de especies invasoras resulta fundamental para la biodiversidad mexicana.

# teorema ambiental

REVISTA TÉCNICO AMBIENTAL



## Cambio climático

### Retos de la COP16 de Cancún

[www.teorema.com.mx](http://www.teorema.com.mx)

Detener a las especies invasoras

Causas de las inundaciones

El costo social de la devastación

Los problemas del agua embotellada

\$65.00