

Juan J. Rodríguez Jiménez  
*Universidad Autónoma de Madrid*

# *La contaminación de los suelos. La herencia que no cesa*

## Introducción

El interés y la preocupación por la contaminación del suelo y su tratamiento se han desarrollado con un notable retraso en relación con los otros dos grandes compartimentos ambientales. Sin embargo, en los últimos 25-30 años se ha venido dedicando una atención creciente al tema, particularmente en los países más desarrollados, de forma que en la actualidad la descontaminación de suelos constituye uno de los campos más activos dentro de la Ingeniería Ambiental. Una actividad que precisa de la colaboración interdisciplinar, de la participación de especialistas de distintos campos, dada la complejidad de los problemas a tratar, derivada de la propia del suelo como sistema. Esta circunstancia, unida al hecho de que los procesos de contaminación del suelo presentan una evolución más lenta y sus consecuencias resultan menos evidentes, más difíciles de percibir de forma directa, explica, en parte, el aludido retraso con que se ha desarrollado el interés por la contaminación de los suelos y su tratamiento.

La Carta Europea del Suelo, de 1972, declaraba a éste como uno de los activos más preciados de la humanidad, pero, han de pasar casi 10 años para que se emprendan algunas acciones de carácter más decididamente ejecutivo. “El suelo, fundamento y límite de nuestro desarrollo, uno de los documentos resultantes de la Conferencia Europea de Ordenación del Territorio, de 1988, supone un reconocimiento oficial de la importancia del mismo como compartimento ambiental y más recientemente, la Comisión Europea aprobó el documento “Hacia una estrategia temática para la protección del suelo”, en un contexto en el que ya se considera al mismo como un recurso esencial para un desarrollo sostenible. Su carácter de recurso no renovable, su vulnerabilidad y su interconexión, tanto con la atmósfera, como con las aguas superficiales y subterráneas, son factores que hacen del suelo un sistema de extraordinaria importancia e interés medioambiental, cuya protección constituye una tarea ineludible. En los países más desarrollados parece haberse instalado ya una clara conciencia en este sentido, que se ha venido materializando en leyes y planes de actuación.

### Magnitud e importancia del problema

Como se ha señalado, el tratamiento de los problemas de contaminación de suelos ha adquirido un protagonismo creciente en el campo de la Ingeniería Ambiental en las tres últimas décadas. Diversas causas, como la incorrecta gestión de los residuos peligrosos, pérdidas en conducciones y depósitos de hidrocarburos y productos químicos, derrames accidentales y vertidos ilegales, han dado lugar a una situación que requiere, particularmente en los países industrializados, actuaciones urgentes, con dedicación de importantes recursos técnicos y económicos. Episodios especialmente graves, como el de Love Canal, en EEUU, han puesto de relieve las peligrosas consecuencias que pueden derivarse de un problema de contaminación de suelos y han alertado a la población y a las administraciones sobre la necesidad de abordar la limpieza de los enclaves afectados. El número y la diversidad de éstos, junto con las dificultades asociadas a las características del suelo como sistema, exigen el desarrollo de técnicas adecuadas, que deben combinar altos niveles de eficacia y facilidad de aplicación al menor coste posible.

La magnitud de los problemas de contaminación de suelos, en particular en los países industrializados, ha obligado a articular leyes y reglamentos y a desarrollar planes de limpieza, cuyas previsiones presupuestarias alcanzan cifras muy elevadas. EEUU, Holanda, Alemania y Dinamarca pusieron en marcha iniciativas muy importantes, ya en la primera mitad de los 80. El primero de estos países puede considerarse como el pionero en materia de acciones de descontaminación de suelos. En 1992 contaba ya con más de 32.000 enclaves inventariados como suelos potencialmente contaminados, 1.200

de los cuales estaban incluidos en la Lista Nacional de Prioridad (NPL). En Europa, Dinamarca aprobó en 1983 la primera ley, junto con un plan de actuación en este campo. En un territorio relativamente pequeño, como el de Holanda, se habían identificado, a mediados de los 80, unos 1.600 enclaves con problemas de contaminación del suelo y en la antigua República Federal de Alemania, la cifra superaba los 35.000, a un 15 % de los cuales se atribuían niveles de riesgo elevados. Basten estos datos para situar la gravedad de la herencia histórica en materia de suelos contaminados.

En España, se aprobó, en 1995, el Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados y con posterioridad se han venido aprobando, en distintas Comunidades, planes regionales de actuación en esta materia. El citado Plan Nacional parte de un inventario, concluido en 1994, que cifraba en más de 4.500 el número de suelos potencialmente contaminados, avance que hoy cabe considerar ciertamente optimista. Los objetivos del Plan Nacional se han cubierto sólo parcialmente, con notables desajustes con respecto a las previsiones iniciales. Desde su aprobación se ha actuado sobre poco más de 250 enclaves, no siempre de forma completa y mediante soluciones definitivas, pero una implicación más directa y decidida de las Administraciones Regionales en el problema cabe esperar que contribuya a mejorar la situación en un futuro a corto/medio plazo.

### Causas y efectos de la contaminación de los suelos

Son diversas las causas de los problemas de contaminación de suelos, algunas de las cuales resultan difícilmente controlables y escapan a una clasificación sistemática, como los derrames accidentales de sustancias peligrosas y los vertidos ilegales efectuados de forma clandestina. Por su significación cuantitativa, cabe destacar entre los focos más importantes de contaminación de suelos, los vertederos de residuos industriales mal acondicionados o abandonados, las conducciones y los depósitos de hidrocarburos y sustancias químicas en general y las actividades minerometalúrgicas. Esto por lo que se refiere a la contaminación de carácter localizado. La contaminación difusa, con el ejemplo típico de los suelos agrícolas, constituye otro ámbito del problema, diferente tanto por sus características como por la naturaleza de sus posibles soluciones, circunscritas básicamente al ámbito de la prevención, dada la inviabilidad técnico-económica de la aplicación de soluciones correctivas

Los efectos negativos de la contaminación del suelo se manifiestan por distintas vías, que determinan el acceso de los contaminantes a la población y los compartimentos ambientales colindantes. Estas se materializan a través del contacto directo con el suelo contaminado; por el aire, previa evaporación de los contaminantes; por arrastre de los

mismos a las aguas superficiales o por percolación con invasión de acuíferos subterráneos. Estas vías de transmisión constituyen, precisamente, la base para la evaluación del riesgo asociado a un problema de contaminación de suelos.

### Caracterización de un problema de contaminación de suelos

La definición de suelo contaminado figura, en España, en la Ley 10/1998, de Residuos, que señala como tal “todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los estándares que se determinen por el gobierno. Cabe señalar que esta definición, dentro de un texto legal, es posterior a la aprobación del Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados. Por otra parte, en cuanto a los estándares a los que hace referencia, su establecimiento se ha producido sólo en fecha reciente, con un notable retraso con respecto a la propia definición en la que se alude a los mismos, así como en relación con el Plan Nacional y los primeros planes regionales.

Tipificar un problema de contaminación de suelos constituye una tarea compleja, en la que han de considerarse, tanto la naturaleza de los contaminantes, su concentración y distribución, como las características del medio, a fin de poder evaluar los riesgos derivados de la presencia de aquellos y su evolución en el suelo.

La caracterización del suelo presenta dificultades importantes, derivadas de la complejidad y heterogeneidad del mismo. Desde un punto de vista técnico, en relación con las posibilidades de aplicación de soluciones técnicas para su descontaminación, el suelo puede considerarse como un conglomerado de partículas sólidas fundamentalmente de arena y arcilla, en proporciones variables, acompañadas, en menor cuantía, de algunos otros minerales y materia orgánica. Las partículas que integran el suelo presentan una distribución granulométrica generalmente amplia, que condiciona la porosidad del mismo. Cabe distinguir dos regiones; la inferior, situada inmediatamente encima de la capa impermeable, es la región insaturada y en ella los huecos entre partículas están completamente ocupados por agua. En la superior, o zona insaturada, los huecos están sólo parcialmente ocupados por agua, siendo el resto aire. La fracción del volumen de huecos ocupada por agua mide el grado de saturación. Entre ambas regiones se sitúa la capa freática.

La información sobre las características de los contaminantes y del suelo constituye la base sobre la que se establece la estimación de los riesgos potenciales para la población y el ecosistema.

La estimación del riesgo sirve para fijar las prioridades de limpieza, pero no resulta sencillo arbitrar un procedimiento universalmente válido. Se han propuesto distintos métodos, ninguno de ellos exento de debilidades, por lo que constituye éste un campo en el que caben aportaciones tendentes a mejorar las herramientas actuales. Un método que ha sido muy utilizado, sobre todo en EEUU, país en el que se desarrolló, ya en 1982, es el conocido como HRS (Hazard Ranking System), cuyo concepto se ha venido utilizando con frecuencia, en ése y otros países, con distintas variantes y adaptaciones.

### Técnicas para la descontaminación de suelos

El desarrollo de técnicas para el tratamiento de suelos contaminados constituye en la actualidad uno de los campos más activos de la Ingeniería Ambiental. Existe ya una gama relativamente amplia de procedimientos aplicables en función de las características concretas del problema a tratar. Las técnicas empleadas van desde procesos físicos hasta procedimientos químicos o biológicos, como arrastre con aire, desorción térmica, lavado/extracción, electrorremediación, deshalogenación, incineración, inmovilización/estabilización, vitrificación y biorremediación. Todas ellas han sido aplicadas, con distintas variantes a nivel industrial o de campo.

La limpieza de un suelo contaminado puede llevarse a cabo en una planta de tratamiento, a la que se transporta el mismo una vez excavado. Esta forma de actuación (*off-site*) puede presentar algunas ventajas técnicas y económicas, derivadas de la posibilidad de integrar en una misma instalación operaciones de distinta naturaleza, que pueden aplicarse, tanto para la descontaminación de suelos, como para el tratamiento de residuos peligrosos, en general, lo que aumenta la versatilidad de estas plantas. Por otra parte, se benefician del efecto de la economía de escala, por el que el coste relativo de las instalaciones resulta más bajo cuanto mayor es el tamaño de las mismas. No obstante, en contra de las plantas de tratamiento de carácter fijo actúan la necesidad de transportar a las mismas el suelo excavado, que constituye un residuo peligroso, y el rechazo que encuentra la construcción de las mismas entre la población de las inmediaciones. Debido a estos inconvenientes, el empleo de instalaciones fijas para la descontaminación de suelos ha disminuido drásticamente en la última década, siendo substituidas por plantas móviles o transportables, que permiten efectuar la limpieza sobre el propio enclave, en lo que se denominan actuaciones *on-site*. Esta modalidad de plantas se diseñan y construyen con una estructura modular, que permita su traslado al lugar, su montaje y el desensamblaje de sus componentes una vez concluidas las tareas de limpieza. Ejemplos típicos de esta modalidad de sistemas son las plantas de incineración, desarrolladas en distintas versiones especialmente adaptadas para el tratamiento de suelos contaminados.

La tendencia con mayor futuro se orienta hacia el empleo de soluciones aplicables *in situ*, sin excavación del suelo contaminado. Se ha desarrollado una diversidad de técnicas para su aplicación por esta vía, varias de las cuales están comercialmente implantadas desde hace años, con resultados muy satisfactorios en cuanto a eficacia, operabilidad y coste.

La selección de la técnica más apropiada y su forma de aplicación, en cada caso, viene determinada por la naturaleza de los contaminantes, su concentración y distribución, las características del suelo, el volumen del mismo contaminado y su distribución en superficie y altura, la posible generación de residuos secundarios, el destino del suelo tratado y, desde luego, la economía del sistema en las condiciones particulares de cada caso. Un aspecto de gran importancia es el que se refiere al propio carácter de la técnica como método de destrucción, evacuación o simplemente inmovilización o inertización de los contaminantes presentes en el suelo. En este sentido, ha de tenerse en cuenta que los métodos que implican la aglomeración del suelo, como la cementación o la vitrificación del mismo, suponen una modificación radical de sus características, que lo inhabilita para usos futuros, por lo que su empleo debe restringirse al tratamiento de suelos irrecuperables como tales y sin interés utilitario, cuando, por las características del problema, deba evitarse la movilización de los contaminantes que acompañaría a la aplicación de otras técnicas, por el alto riesgo que ello pudiera suponer.

La generación de residuos secundarios, como consecuencia de la aplicación de una determinada técnica de limpieza, constituye una consideración muy importante, que puede resultar determinante desde un punto de vista técnico-económico. En efecto, la descontaminación de un suelo debe necesariamente abordarse con un criterio integral y no basada en la simple transferencia de contaminantes a otros medios. Las soluciones técnicas y el coste de las mismas deben incluir, por tanto, el tratamiento de las corrientes líquidas y gaseosas, así como los residuos sólidos que pudieran derivarse de las operaciones de limpieza.

### Perspectivas de la descontaminación de suelos

La magnitud y gravedad de los problemas de contaminación de suelos, en regiones con una alta densidad industrial, obliga, no ya a mantener, sino a incrementar la atención a los mismos, al menos en la próximas dos décadas. La implantación de tecnologías cada vez más eficaces y a costes más asequibles, constituye un reto ineludible, para hacer frente al cual se requiere la dedicación de importantes recursos a actividades de investigación, desarrollo e innovación.

La línea prioritaria de desarrollo, en la actualidad, y la que marcará la evolución en el futuro próximo, se orienta decididamente hacia las soluciones aplicables *in-situ*. Algunas de éstas técnicas, como el arrastre con aire o la biorremediación, han demostrado ya sus posibilidades a escala comercial y la experiencia adquirida ha permitido optimizar las condiciones de trabajo, aunque siempre cabe esperar futuras aportaciones que mejoren su posición tecnológica. Otras, como el lavado in-situ (*flushing*) o la electrorremediación exigen todavía un notable esfuerzo para conseguir su implantación comercial definitiva. Finalmente, surgirán tecnologías emergentes que permitirán abordar problemas particularmente complejos, a costes cada vez más asequibles.

En países como EEUU, Holanda y Alemania, la limpieza de suelos ha supuesto la apertura de un campo con perspectivas de expansión crecientes en las áreas de la ingeniería ambiental y de procesos, en general, y con un importante potencial de desarrollo tecnológico. La actividad en este campo registra cifras ciertamente considerables, teniendo en cuenta que todavía no supera las tres décadas de existencia.

En España, la puesta en marcha, del Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados y de Planes Regionales, en diversas Comunidades Autónomas, ha supuesto la movilización de recursos en este campo, política que debe potenciarse de forma mucho más decidida en un futuro a corto plazo, para hacer frente con suficientes garantías a los problemas de contaminación de suelos existentes.

Junto a la necesidad de hacer frente a la herencia histórica, en materia de suelos contaminados, el futuro pasa necesariamente por el establecimiento de políticas preventivas que impidan los errores del pasado y traten de minimizar los impactos negativos sobre el suelo de la actividad humana en general y de la industria en particular.