

INSTRUMENTACIÓN DE CAMPO PARA LA DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE METALES EN SUELOS

Jorge Loredó Pérez*

RESUMEN

En los estudios de la prospección de la contaminación de suelos, en contraste con un enfoque más convencional, se va imponiendo cada vez más la realización de análisis “in-situ” de los mismos, mediante equipos analíticos portátiles que suministran datos a tiempo real. El uso de estas técnicas permite la toma de decisiones directamente en el campo, en función de los resultados obtenidos, lo que suministra una gran flexibilidad al proyecto, y un considerable ahorro de tiempo y dinero. Los analizadores portátiles de fluorescencia de rayos X se presentan como una interesante alternativa a los equipos analíticos convencionales de laboratorio, ya que permiten obtener de forma casi simultánea y sin necesidad de preparación previa de la muestra de suelo, las concentraciones de un gran número de elementos, incluyendo metales pesados.

Palabras clave

Contaminación de suelos; metales; instrumentación de campo; fluorescencia de rayos X.

ABSTRACT

For the purposes of the exploration of pollution in soils, in contrast with the application of conventional techniques, the use of modern techniques of “in-situ” analyses by means of portable equipment giving real-time data imposes more and more. The use of these technologies allow to make important decisions on the field according of the analytical data, giving a great flexibility to the projects and substantial savings in time and budget. From these technologies the X ray fluorescence analyzers present as an interesting alternative to conventional analytical instruments, since they allow to obtain simultaneously concentrations of a lot of elements, including heavy metals, without previous preparation of soil samples.

Key words

Soils pollution; metals; field instrumentation; X ray fluorescence.

INTRODUCCIÓN

Los suelos son un medio natural de gran complejidad, con una capacidad limitada para soportar la intensidad creciente del impacto que sobre el mismo ejerce el hombre, y con unas propiedades que los convierten en blancos muy sensibles a la contaminación por metales. Esto es especialmente relevante en áreas industriales y mineras, en las que se realizaron operaciones potencialmente contaminantes, y que como consecuencia de esas actividades y procesos allí desarrollados durante años, independientemente de que se observen o no rastros evidentes de contaminación en los suelos, éstos, pueden haber resultado afectados en sus características, considerando un suelo como contaminado, tal como viene definido en la Ley 10/1998 de Residuos, de 21 de Abril.

La puesta en marcha en los últimos años, en los diferentes países, de un mayor número de medidas de control de la contaminación, ha puesto de manifiesto, en todos ellos, que existe un importante pasivo medioambiental asociado a antiguas actividades industriales y mineras, que se manifiesta en la existencia de una gran cantidad de terrenos potencialmente contaminados localizados, muchos de ellos, en zonas urbanas o periurbanas. Esto es evidente en muchos terrenos, hoy integrados dentro de los límites de la ciudad, en los que las ruinas industriales permanecen como herencia de un activo y floreciente pasado industrial. Por otra parte, el empuje expansivo de las ciudades hace que la demanda de suelo urbanizable sea cada vez mayor, y que terrenos ocupados por instalaciones industriales en estado de abandono o de semi-abandono, a medida que van quedando englobados dentro de los límites de la ciudad o en su proximidad, vayan adquiriendo un mayor interés para usos residenciales, comerciales y/o de ocio, y con ello sufran un importante valor especulativo. Dado que en estos casos, la presencia de

metales en los suelos es relativamente frecuente, la detección de éstos y la cuantificación de la contaminación y su valoración, cobra una especial importancia como paso previo a cualquier tipo de cambio de uso de los terrenos.

Una gestión adecuada de los suelos contaminados constituye por tanto un reto importante para las políticas medioambientales pero, previamente a cualquier tipo de gestión. Cuando nos encontramos con suelos con indicios racionales de estar contaminados ha de realizarse una prospección detallada, cuyo objetivo último es la caracterización y delimitación de la contaminación y la evaluación de los riesgos que ésta puede suponer para la salud humana y el medio ambiente, dado que los contaminantes, una vez en el suelo, puedan movilizarse a través de éste hacia la atmósfera, en el caso de aquéllos que son volátiles, y hacia las aguas subterráneas, en el caso de aquéllos que son solubles (Loredó et al, 2002a) y en función del resultado de éstos, un saneamiento de los terrenos.

En los estudios de caracterización de suelos contaminados, normalmente, se sigue una aproximación por fases, que partiendo de la recopilación de datos generales e históricos sobre el emplazamiento y su evolución con el paso del tiempo, y siguiendo con un reconocimiento detallado del terreno y estudio del medio físico, y sucesivas campañas de muestreo y análisis, permita establecer una clasificación por sectores y grado de contaminación. Para la caracterización y cuantificación de la contaminación, será de gran interés, como paso previo, la utilización de instrumentación analítica de campo, que permitirá la realización de análisis "in-situ", con equipos portátiles, que permitan definir, de una forma rápida, fiable y económica, la presencia de anomalías geoquímicas en los suelos y su delimitación.

EL PROBLEMA DE LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

Con el objetivo de optimizar los recursos técnicos, humanos y económicos disponibles, para un estudio de la prospección de suelos potencialmente contaminados se suele seguir una aproximación por fases, que partiendo de la recopilación de datos relevantes sobre el emplazamiento y los procesos industriales allí desarrollados a lo largo del tiempo, y mediante etapas sucesivas de muestreo y análisis, en las que cada etapa constituye la base para el diseño de la siguiente, se pueda llegar a caracterizar, delimitar y cuantificar la contaminación existente. De esta forma, la metodología normalmente utilizada se apoya en las siguientes fases (IHOBE, 1994):

- Investigación preliminar, basada fundamentalmente en un estudio histórico y de reconocimiento del terreno, que tiene como objetivo confirmar los indicios que puedan indicar una posible contaminación del suelo.
- Investigación exploratoria. Su objetivo fundamental es confirmar la hipótesis de contaminación, así como proporcionar datos relevantes que permitan el diseño óptimo de la siguiente fase de investigación. Pretende:
 - ▶ Determinar la presencia de contaminación.
 - ▶ Establecer la lista de contaminantes, facilitando para cada uno de ellos unos valores aproximados de concentración media y de heterogeneidad de reparto espacial.
 - ▶ Distinguir subáreas o estratos diferenciables dentro de la zona de estudio.
- Investigación detallada. Cuando la concentración de algunos de los

contaminantes detectados supera unos niveles establecidos como referencia, se procede a una investigación más detallada, cuyo objetivo es el de recabar la información necesaria en cuanto a caracterización y distribución espacial de la contaminación para una evaluación y valoración de riesgos.

En esta aproximación por fases, la metodología clásica de prospección se basa fundamentalmente en la realización de campañas sucesivas de muestreos superficiales de suelos y realización de calicatas y sondeos para la toma de muestras más profundas, seguido de análisis químicos de las muestras en laboratorios especializados "off-site". Esto puede alargarse un tiempo excesivamente grande para los fines de la investigación, ya que entre las diferentes fases de muestreo existirá un periodo de tiempo más o menos largo, y entre la toma de muestras y la recepción de los resultados de los análisis químicos, para cada una de las fases, también existirá un periodo de tiempo que en algunos casos puede ser más largo de lo requerido. Esta diferencia entre el tiempo de toma de la muestra y la obtención del resultado analítico, trae consigo la necesidad de analizar un elevado número de muestras (en las diferentes fases sucesivas de muestreo, será función del presupuesto del proyecto y de los resultados que se van obteniendo en las fases anteriores), muchas de las cuales no van a aportar ningún tipo de información fundamental para el proyecto, y sin embargo sí va a necesitar que personal asignado al proyecto realice un elevado número de visitas al terreno objeto de estudio. Todo esto prolonga los estudios de caracterización de la contaminación, alargando innecesariamente la duración del proyecto, y elevando significativamente los costes, lo que repercute negativamente en la realización del proyecto.

Frente a este enfoque clásico de toma de muestras y análisis en laboratorios “off-site”, la utilización de técnicas modernas de análisis “in-situ”, mediante equipos analíticos portátiles que nos suministran datos a tiempo real o próximo a un tiempo real, se va imponiendo cada vez más, ya que permiten la toma de algunas decisiones, directamente en el campo, y reduce considerablemente el tiempo necesario para la realización del proyecto.

LAS TÉCNICAS ANALÍTICAS DE CAMPO EN LA PROSPECCIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

En muchos casos de ruinas industriales o antiguas áreas mineras la contaminación se debe fundamentalmente a la presencia de concentraciones elevadas de metales pesados en los suelos, que exigen estudios detallados de caracterización y valoración. La magnitud de los proyectos a acometer exigen, en muchos casos, estudios rápidos para los que las técnicas analíticas convencionales resultan poco operativas, especialmente para las fases iniciales del proyecto, en las que se necesita delimitar la anomalía más que tener un conocimiento exacto de las concentraciones de los contaminantes. Para ello los equipos de análisis portátiles, con medidas a tiempo real, se manifiestan como una herramienta de gran utilidad (Loredó et al., 2002b).

Una caracterización “in situ” de los suelos de un emplazamiento potencialmente contaminado viene determinada por una adquisición de datos sobre tipos de contaminantes y sus concentraciones, en condiciones próximas a un tiempo real, de forma que se pueda realizar una primera valorización de resultados directamente en el campo. Independientemente de cualquier tipo de muestreo y determinaciones analíticas que se

realicen, la determinación de medidas “in-situ” de los valores de pH y conductividad, aguas arriba y aguas abajo del emplazamiento considerado, así como en el entorno del emplazamiento constituye una aproximación sencilla y de gran interés para hacerse una idea de la magnitud del problema y seleccionar puntos con problemas relevantes (puntos calientes).

Si con la realización de análisis convencionales en laboratorio el tiempo que transcurre entre la toma de muestras y la obtención de los resultados analíticos puede variar de una a varias semanas, mediante la realización de análisis “in-situ” se pueden obtener los resultados del análisis en varios minutos. Esto es importante ya que el disponer de los resultados escasos minutos después de solicitar el análisis, permite modificar la metodología de muestreo previamente diseñada, en función de los resultados que se van obteniendo, así como una toma de decisiones rápida sobre nuevos puntos a muestrear o selección de zonas. Estos aspectos pueden tener una importancia considerable en el desarrollo del proyecto y en su presupuesto, ya que permiten que algunas decisiones puedan ser tomadas directamente en el campo por el personal especializado desplazado. En una jornada normal de trabajo se puede realizar un importante número de análisis, que en cada caso será dependiente de las distancias entre puntos de muestreo y otras características del terreno. Además de poder realizar duplicados de los análisis sobre el mismo punto de muestreo, para asegurar la bondad de los datos, los equipos analíticos de campo más modernos ya incorporan programas que permiten realizar cierto control sobre la calidad de los datos. Estas técnicas proporcionan una gran flexibilidad en las fases de muestreo de los proyectos, permitiendo acortar significativamente el tiempo necesario para la realización del proyecto, con repercusiones importantes sobre el coste final.

Un enfoque de este tipo permite un muestreo dinámico que solamente tiene por objetivo detección de anomalías o selección de áreas de interés, y al permitir una toma de decisiones, directamente en el campo, en función de los datos obtenidos, reduce en gran medida las visitas a realizar al emplazamiento a estudiar, disminuyendo con ello los costes atribuidos a personal, desplazamientos, analítica, etc., y por tanto al proyecto en su conjunto, contribuyendo tanto a ahorrar costes asociados como a una caracterización y remediación más rápida. En estas circunstancias, la instrumentación analítica de campo se revela como una herramienta potente y de gran utilidad para disminuir el tiempo necesario para la ejecución de un proyecto y el coste, y hace más eficaz la caracterización de emplazamientos y los procesos de remediación, al permitir manejar un mayor número de datos analíticos con el mismo presupuesto. La utilización de estos equipos es particularmente interesante en los estudios preliminares de caracterización del emplazamiento, ya que en estas fases es donde será verdaderamente útil, ya que nos permitirán disponer de suficientes datos y de suficiente fiabilidad para estar capacitados, para poder seleccionar, directamente en el campo, y en las primeras visitas al terreno, las zonas donde será necesario realizar muestreos detallados para enviar las muestras a analizar a laboratorios certificados.

El utilizar análisis de campo reduce los recursos analíticos "off-site" requeridos para analizar muestras que no conducen directamente a los objetivos del proyecto, y por tanto, reduce en gran medida el número de muestras a enviar a laboratorios para análisis "off-site", ya que solamente se requerirá enviar a los laboratorios muestras de contraste y muestras finales para definir y cuantificar con mayor exactitud las anomalías. El uso de una tecnología analítica "in situ" de campo puede reducir bastante los

gastos al analizar de forma muy rápida, un mayor número de muestras individuales, dando al usuario de los datos una mejor distribución espacial de los contaminantes, directamente en el terreno, sin necesidad de esperar a los resultados de laboratorio. Por otra parte, dado que la distribución de metales en los suelos tiende a ser heterogénea, la gran cantidad de datos puntuales que se pueden obtener utilizando técnicas analíticas "in-situ", pueden suministrar de una forma rápida, precisa y económica, la delimitación de la contaminación, con una buena definición.

Si bien, como se ha venido enumerando, las técnicas analíticas "in-situ" presentan numerosas ventajas frente a las técnicas analíticas convencionales, también hay que tener en cuenta ciertos requerimientos de estas técnicas, y que en algunos casos concretos pueden limitar en gran medida su aplicabilidad a un proyecto determinado. Estas técnicas, para que sean verdaderamente útiles, requieren un mayor conocimiento previo del emplazamiento y de los tipos de contaminantes presentes en el mismo, para seleccionar la técnica analítica más adecuada. El conocimiento de las características geológicas e hidrogeológicas del emplazamiento es importante, para conocer las posibles interferencias y evaluar el potencial uso de los equipos analíticos. También requieren una mayor capacitación para el personal que maneja los equipos en el campo, ya que el uso efectivo de los resultados analíticos requiere que el personal tenga una cierta experiencia en la caracterización y cuantificación de la contaminación en los suelos, ya que en función de estos datos que se van obteniendo se deben tomar decisiones, directamente en el campo, que pueden influir de forma notable en el desarrollo del trabajo.

A pesar de que la tecnología de instrumentación analítica portátil ha experimenta-

do notables desarrollos en los últimos años, la precisión que se puede esperar de los resultados sigue siendo menor que la que se puede obtener cuando se utilizan técnicas analíticas de laboratorio, y además en las técnicas analíticas “in-situ” los límites de detección de los equipos, si bien son cada vez más bajos para poder cumplir los requerimientos oficiales, siguen siendo más elevados que los de los equipos analíticos convencionales de laboratorio. La calidad de los resultados se puede asegurar mediante la utilización de patrones de referencia y la duplicidad de análisis. Una cuestión importante a plantearse siempre que se pretende utilizar este tipo de técnicas es en qué medida el nivel de incertidumbre estimado para este tipo de tecnologías es aceptable para los fines de la investigación (Taylor y Ramsey, 2002), teniendo en cuenta la fase del proyecto en la que nos encontramos. En la tabla I se comparan algunas de las principales características, de cara a su aplicación en la prospección de suelos potencialmente contaminados, de las tecnologías de análisis de metales “in-situ” frente a las tecnologías “ex-situ” en laboratorio.

De entre las muchas aplicaciones de los equipos analíticos portátiles que se pueden

mencionar, para la detección y cuantificación de metales en los suelos, se pueden considerar:

- La identificación, de forma rápida, de la fuente de la contaminación. Con análisis de campo, se puede realizar a la vez o con muy poco intervalo de tiempo, la identificación de la fuente y la caracterización de la contaminación del suelo.
- Definición de la magnitud y extensión de la contaminación, minimizando el tiempo de utilización de determinados equipos o maquinaria (retroexcavadoras, máquinas de sondeos, etc.). Identificación de puntos de muestreo esenciales para una correcta definición de la magnitud y extensión de la contaminación. Los resultados de los análisis “in-situ” permiten seleccionar muestras estratégicas para análisis en un laboratorio “off-site”.
- La monitorización en tiempo real durante las operaciones de descontaminación, para ir controlando “in-situ” la eficacia de las mismas, y durante las fases de seguimiento posterior. Una monitorización a tiempo real permite controlar de forma continua las acciones de eliminación de contaminantes, sin pausas para la

Tabla I. Comparación entre tecnologías “in-situ” y tecnologías “ex-situ”

TECNOLOGÍAS “IN- SITU”	TECNOLOGÍAS “EX- SITU”
No es necesaria una toma de muestras, se puede realizar el análisis directamente sobre el suelo	Es necesaria toma de muestras y preparación de las mismas, previamente al análisis
Obtención de resultados en varios minutos, directamente en el campo	El tiempo transcurrido entre la toma de muestras y la obtención de resultados analíticos puede ser largo
Depende del tipo de análisis que se haga, pero en general la muestra de suelo no se puede archivar para posteriores análisis	La muestra se puede archivar para posteriores análisis
Límites de detección más elevados y menor precisión de los resultados	Límites de detección más bajos y mayor precisión de los resultados
Depende del tipo de análisis que se haga, pero en general solamente se pueden analizar muestras individuales	Se pueden analizar tanto muestras individuales como muestras compuestas

permite restringir la movilización exclusivamente a materiales considerados peligrosos.

- La monitorización de acciones de movilización “on-site” disminuye costes al reducir la necesidad de pérdidas de tiempo del contratista de la movilización, debida a retrasos en la obtención de los resultados analíticos, y minimizando el tiempo de utilización de determinados equipos o maquinaria (retroexcavadoras, máquinas de sondeos, etc.).

CARACTERIZACIÓN “IN SITU” MEDIANTE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Si bien existen en el mercado diferentes equipos analíticos portátiles para la detección y cuantificación de concentraciones de metales en suelos, los analizadores de fluorescencia de rayos X se presentan, como una alternativa eficaz a los métodos analíticos convencionales, tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista económico. Se trata de equipos de pequeñas dimensiones y pequeño peso, entre 1 y 2 kg incluida batería, según el modelo de que se trate, y con suficiente autonomía para poder realizar una jornada completa de trabajo en el campo (Figura 1).



Figura 1. Equipo Fluorescencia Rayos X portátil

Los analizadores de fluorescencia de rayos X han venido siendo utilizados para caracterizar metales en suelos desde hace más de 20 años, ya que uno de los principales usos de la energía dispersiva de fluorescencia de rayos X (EDXRF) es detectar metales (y otros elementos como arsénico y selenio) en suelos y sedimentos. Generalmente los elementos de número atómico comprendido entre 16 (azufre) y 92 (uranio) se pueden identificar y cuantificar, con mayor o menor precisión, con un analizador de fluorescencia de rayos X portátil (de campo). En su aplicación a los estudios medioambientales, algunos de los principales elementos de interés que pueden ser identificados son: arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, selenio, plata y zinc. Se trata de equipos portátiles, que permiten realizar de forma rápida y sencilla, análisis multielementales. Se pueden realizar entre 50 y 100 análisis multielementales en un día, sin generar residuos (técnica de análisis no destructiva), y sin necesidad de una toma de muestras convencional, ya que el equipo se puede situar directamente sobre el suelo para realizar el análisis, que tiene lugar a través de una pequeña ventana de medida.

Los analizadores de fluorescencia de rayos X actualmente en el mercado, vienen equipados con diferentes fuentes de radioisótopos (^{109}Cd , ^{241}Am y ^{55}Fe) que inducen la generación de rayos X y permiten obtener, de forma casi simultánea, las concentraciones de un gran número de elementos (si bien la exposición radiactiva para el operario es mínima, en todo caso estos equipos están sometidos al control de la Junta de Energía Nuclear para su control y manejo). Cada fuente permite analizar un grupo de elementos en tiempo de escasos minutos, en función de la resolución que se quiera obtener. El cambio de fuente es automático, con lo que en menos de 10 minutos se puede tener un análisis completo de la muestra. Las principales interferencias o



Figura 2. Lectura análisis muestra

que se pueden presentar en la realización de los análisis están relacionadas con el contenido en humedad del suelo, las características físicas de la matriz del suelo (tamaño de grano y homogeneidad), las características químicas del suelo (tipo de suelo) y las interferencias espectrales entre algunos elementos. El equipo no necesita calibración para cada tipo de suelo, ya que un

complicado software corrige automáticamente las variaciones en el tipo de muestra a analizar, siempre dentro de unos rangos que van desde suelos estándar a suelos arenosos.

El equipo del que dispone la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Oviedo, permite analizar 24 elementos (Ag, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mo, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V, Zn, Zr), en conformidad con la metodología EPA 6200. En las figuras 1 y 2 se presenta la foto de un equipo de estas características (NITON XL-700S) y una tabla incluyendo los límites de detección en función de los tiempos de medida y para distintos tipos de materiales de referencia. Los límites de detección son función del tiempo de medida y de la matriz del suelo, y en todo caso son suficientemente bajos para que los equipos puedan ser utilizados no solamente para detectar anomalías, sino también durante las acciones de tratamiento, para ir controlando “in- situ” la eficacia del mismo. En la tabla 2 vienen indicados los límites de detección teóricos para un

Tabla 2. Límites de detección teóricos para distintos tipos de suelos y para distintos tiempos de medida para un determinado modelo de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X.

Fuente radiactiva	Elemento	Tiempo medida: 60 sg		Tiempo medida: 120 sg	
		Suelo arenoso	Suelo Estándar	Suelo arenosa	Suelo Estándar
¹⁰⁹ Cd	Cr (ppm)	220	420	150	300
	Mn (ppm)	220	700	150	500
	Fe (ppm)	280	560	200	400
	Co (ppm)	120	380	80	270
	Ni (ppm)	100	210	70	150
	Cu (ppm)	70	100	50	60
	Zn (ppm)	40	70	25	50
	As (ppm)	20	25	10	15
	Se (ppm)	20	25	10	15
	Pb (ppm)	20	30	10	20
	Hg (ppm)	25	40	15	25
	Rb (ppm)	10	15	7	10
	Sr (ppm)	8	12	5	8
	Zr (ppm)	8	12	5	8
Mo (ppm)	12	15	8	10	
²⁴¹ Am	Cd (ppm)	35	50	25	35
	Ag (ppm)	190	190	130	130
	Ba (ppm)	35	45	25	30
	Sn (ppm)	140	150	100	100
	Sb (ppm)	65	75	45	50
⁵⁵ Fe	V (ppm)	120	-	90	-
	Ti (ppm)	350	-	250	-
	Ca (%)	0,15	-	0,10	-
	K (%)	0,35	-	0,25	-

determinado modelo de equipo portátil de fluorescencia de rayos X, para dos tipos de suelos y para distintos tiempos de medida.

Los análisis "in-situ" mediante técnicas de fluorescencia de rayos X no requieren una recolección física de las muestras. El equipo analítico se sitúa directamente sobre el suelo y realiza directamente el análisis, sin necesidad de ningún tipo de movilización ni preparación del suelo. Cuando se utilizan tecnologías analíticas "in situ", solamente se pueden analizar muestras individuales del suelo, que es la porción de éste sobre la que se sitúa el equipo. Las técnicas analíticas "in-situ" tampoco permiten archivar la muestra para posteriores análisis. Estas técnicas presentan una mayor dificultad para la homologación de los datos por los organismos competentes, y además la aceptación de los datos será dependiente de las comparaciones con análisis "off-site" realizados en laboratorios homologados. Finalmente, si bien los equipos son costosos, y no se prevé una amortización de los mismos para decidirse a su adquisición, se pueden contratar los servicios de empresas que dispongan de este tipo de instrumentación.

La precisión de los resultados, si bien son dependientes de los factores mencionados anteriormente (características físicas y químicas del suelo e interferencias espectrales) es suficientemente buena para las tareas para las que está enfocada, como son las fases iniciales de prospección, y en muchos casos también es suficiente para fases de cuantificación y monitorización, especialmente si se utilizan como analizadores "on-site" u "off-site", con lo que se puede llegar a mejorar mucho la precisión de los resultados. Estos equipos, pueden ser utilizados de una forma sencilla como analizadores "on-site" (directamente en el campo) u "off-site" (en laboratorio), utilizando una rápida prepara-

sitar directamente el equipo sobre el suelo objeto de análisis. Esta forma alternativa de análisis alarga un poco más los tiempos necesarios para la obtención del resultado analítico, pero en todo caso son sencillos de realizar, no tienen por qué emplear más de 10-15 minutos por muestra, en función de la habilidad del personal que lo maneja, y los resultados y el límite de precisión pueden mejorar considerablemente con respecto a la modalidad de análisis directo sobre el suelo, sin extracción de la muestra. Cuando los análisis se realizan "ex situ", se pueden utilizar muestras tanto individuales como compuestas, aunque la preparación de este tipo de muestras alargaría más el tiempo necesario para la obtención de resultados.

Recientemente han salido al mercado equipos que utilizan un tubo de excitación de rayos X, que elimina la necesidad de utilizar varias fuentes y sobre todo reduce los controles de seguridad por parte de los organismos competentes.

CONCLUSIONES

En suelos contaminados por la presencia de metales, frente a un enfoque clásico de la prospección consistente en etapas sucesivas de toma de muestras y análisis de las mismas en laboratorio, la utilización de técnicas modernas de análisis "in-situ", mediante equipos portátiles que nos suministran datos a tiempo real o próximo a un tiempo real, se van imponiendo cada vez más, ya que permiten la toma de decisiones directamente en el campo, proporcionando una gran flexibilidad en los proyectos, y permitiendo acortar el tiempo para la realización del proyecto y en consecuencia rebajar el coste del mismo.

Dentro de las técnicas analíticas de campo, los analizadores de fluorescencia de rayos X se presentan, para las fases de

caracterización y delimitación de anomalías, como una alternativa eficaz frente a los métodos analíticos convencionales, tanto desde el punto de vista técnico como económico. La instrumentación de campo suministra una gran flexibilidad a los proyectos. Este enfoque permite datos en tiempo real para guiar el proyecto, suministrando una mejor ocasión para alcanzar los objetivos del proyecto. Por tanto, en los estudios preliminares de caracterización del emplazamiento es fundamental el disponer de equipos que nos permitan realizar análisis "in-situ" de forma que se puedan seleccionar directamente, en las primeras visitas al terreno, las zonas donde realizar muestreos detallados. Hay que tener en cuenta que si bien en cualquier medida estimativa de los valores de la concentración de contaminantes en un suelo siempre hay una incertidumbre, ésta será mayor cuando se utilizan equipos analíticos portátiles para obtener los resultados directamente sobre el terreno a tiempo real.

Estos equipos, al no necesitar una preparación previa de la muestra de suelo a analizar, permiten realizar análisis multielementales de una forma sencilla y rápida, permitiendo reducir considerablemente el número de visitas a realizar a la zona de estudio, y el número de muestras a enviar a analizar en laboratorios "off-site". Los límites de detección y la precisión de los resultados, si bien son dependientes de varios factores, de los cuales el más importante es el tipo de suelo, permiten deducir la presencia de anomalías geoquímicas y delimitar éstas con suficiente detalle. En muchos de los casos también permiten cuantificar con bastante precisión la importancia de la contaminación. Esto permite que los analizadores portátiles de fluorescencia de rayos X puedan ser ién

utilizados no solamente para detectar anomalías, sino también durante las acciones de excavación de suelos contaminados, para controlar los niveles de fondo de los materiales que quedan sin excavar y por tanto para movilizar solamente aquellos suelos que sobrepasan unas determinadas concentraciones previamente establecidas.

BIBLIOGRAFÍA

- BOE. 1998. Ley 10/1998 de Residuos de 21 de Abril de 1988.
- IHOBE. 1994. Guía metodológica de estudio histórico y diseño de muestreo. Gobierno Vasco. 68 pp.
- Loredo, J., Menéndez, M.A., Ordóñez, A., Pereira, A. y Pendás, F. 2002. Ruinas industriales en Asturias: De la prospección de la contaminación a la descontaminación. En: Desarrollo Sostenible en el siglo XXI. XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia. pp. 418-420. Tiasa Gráfica. Barcelona.
- Loredo, J., Ordóñez, A., Gallego, J.L., García Iglesias, J. y Pendás, F. 2002. Interest of field analytical technologies for brown-fields characterization. En: Heavy metal contamination and the quality of life. SEGH 20th European Conference, Abstracts Volume, p.67, Debrecen. Hungría.
- Taylor, P. y Ramsey, M. 2002. The balance between uncertainty and cost for the "in-situ" analysis of contaminated land. En: Heavy metal contamination and the quality of life. SEGH 20th European Conference, Abstracts Volume, p.41, Debrecen. Hungría.