

# El programa RBCA aplicado a suelos contaminados por elementos traza. Ventajas e inconvenientes

EMILIO GALÁN HUERTOS, PATRICIA APARICIO FERNÁNDEZ (\*), ANTONIO ROMERO BAENA

Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química, Universidad de Sevilla. C/Prof. García González nº1, 41012 Sevilla

## INTRODUCCIÓN

El análisis de riesgos aplicado a emplazamientos potencialmente contaminados tiene como finalidad estimar la severidad y la probabilidad de que la exposición a uno o varios contaminantes presentes en el medio ambiente puedan producir, bajo unas circunstancias determinadas, efectos adversos en la salud humana y otros ecosistemas. En los suelos se aplican, normalmente, para sustancias que superan los niveles genéricos de referencia. La exposición se calcula por medio de modelos de predicción, desarrollados en diferentes softwares específicos, que se basan en la información recopilada sobre los escenarios y las vías de exposición. Algunos ejemplos de modelos cualitativos son: RBCA-Toolkit (EEUU), Risc Human (Holanda), CLEA (UK).

El RBCA Toolkit Kit for Chemical Releases, es uno de los más usados, y está basado en la metodología RBCA (Risk Based Correction Action) desarrollada por la American Society for Testing and Materials (ASTM). Aunque es una herramienta que se utiliza frecuentemente para tomar decisiones como la declaración de suelo contaminado, actuaciones de limpieza, sellado, etc., su aplicación directa para

el estudio de suelos contaminados por elementos traza puede generar, a veces, resultados alarmistas y sin sentido.

En este trabajo se valoran las ventajas e inconvenientes de la aplicación de RBCA a suelos contaminados por elementos traza.

## EL PROGRAMA RBCA

Para hacer el análisis de riesgos con el programa RBCA hay una serie de etapas bien diferenciadas: rutas de exposición, modelos de transporte, parámetros de suelo aire y aguas subterráneas, parámetros toxicológicos, etc. Los resultados calculados permiten visualizar los valores de riesgo individuales y los acumulados para cada ruta de exposición; así como los valores límites (SSTL) aplicables a cada elemento de acuerdo con las condiciones que se hayan establecido, por debajo de los cuales no habrá riesgo, y también se muestra si se superan o no estos valores.

## APLICACIÓN DEL PROGRAMA RBCA

### Influencia de las distintas rutas de exposición

Se parte del estudio de un suelo de la Cuenca del Guadalquivir, residencial,

cultivado y con concentraciones en elementos traza iguales al Fondo Geoquímico (FG) de este dominio (Tabla 1). Para aquellos elementos en los que no se tienen valores de fondo, Cd, Cr (VI) y Hg se han considerado concentraciones de 1, 10 y 0,5 mg/kg, respectivamente. Se trata por tanto de un suelo no contaminado.

El estudio se ha realizado para un receptor residencial, que es el más restrictivo, considerando los factores de exposición y parámetros químicos que vienen preestablecidos por el programa y las siguientes rutas de exposición:

- Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.
- Ingestión directa, contacto dérmico e ingestión de vegetales.
- Inhalación de aire ambiental por partículas.

Se han usado los modelos de transporte definidos por la ASTM y los parámetros del suelo, del agua subterránea y del aire preestablecidos en el programa. La tabla de riesgos obtenida (Tabla 1a) indica que no hay riesgos por exposición al aire exterior. Los valores "Tox?" indican que no se ha podido calcular el riesgo porque falta algún parámetro en la base de datos elegida. En cambio, los valores límite (SSTL) se exceden para

Elemento	RECEPTORES EN EL SITIO						
	Exposición a aire exterior:		Exposición a suelos:		Exposición a agua subterráneas:		
	Residencial		Residencial		Residencial		
	Riesgo aceptable: 1.00E-9	CP aceptable: 0.1E-9	Riesgo aceptable: 1.00E-9	CP aceptable: 0.1E-9	Riesgo aceptable: 1.00E-9	CP aceptable: 0.1E-9	
	Suelo (mg/kg)	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	
Arsénico	6,0E+0	7,3E-11	Tox?	1,5E-3	2,8E-1	9,9E+0	
Cadmio	1,0E+0	5,1E-12	Tox?		3,7E-2	1,8E-1	
Cromo (III) (cromo total)	6,8E+1	3,1E-9			2,8E-3	3,3E-7	
Cromo (VI)	1,0E+1	3,4E-10	6,6E-7		1,3E-1	2,4E+0	
Cobalto	9,0E+0	2,3E-10	9,9E-8		4,6E-1	9,0E+0	
Cobre	2,4E+1		Tox?		4,0E-2	2,0E-1	
Plomo (inorgánico)	1,7E+1		Tox?		Tox?	NC	
Mercurio	1,0E+0		7,1E-2		7,9E-2	8,7E-1	
Níquel	3,0E+1	4,1E-11	2,2E-6		4,9E-2	3,1E-1	
Zinc	5,6E+1		Tox?		5,7E-3	4,1E-2	
Valores acumulados		6,9E-10	7,1E-2	1,5E-3	1,1E+0	9,9E-4	2,2E+1

NC = No se calculó; \* indica que el nivel de riesgo excede el riesgo aceptable.

Elemento	Concentración en Suelo (mg/kg)	Rutas de contacto Directo: Ingestión, Contacto Dérmico, Consumo de Vegetales			SSTL aplicable	¿Se excedió el SSTL?	CRF requerido
		En sitio (0 m)					
		Ingestión	Suelo superficial a aire exterior	En sitio (0 m)			
		Residencial	Residencial	Residencial			
Arsénico	6,0E+0	6,1E-2	8,2E+5	4,1E-2	4,1E-2	1,5E+2	
Cadmio	1,0E+0	5,5E+0	>1,0E+6	2,7E+1	5,5E+0	<1	
Cromo (III) (cromo total)	6,8E+1	>1,0E+6	>1,0E+6	2,4E+4	2,4E+4	<1	
Cromo (VI)	1,0E+1	4,2E+0	2,9E+5	7,6E+1	4,2E+0	2,4E+0	
Cobalto	9,0E+0	1,0E+0	3,9E+5	2,0E+1	1,0E+0	9,0E+0	
Cobre	2,4E+1	1,2E+2	Tox?	6,0E+2	1,2E+2	<1	
Plomo (inorgánico)	1,7E+1	tox?	tox?	(Ing)Tox?	NC	NA	
Mercurio	1,0E+0	1,1E+0	>1,0E+6	1,3E+1	1,1E+0	<1	
Níquel	3,0E+1	9,6E+1	>1,0E+6	6,1E+2	9,6E+1	<1	
Zinc	5,6E+1	1,4E+3	Tox?	9,9E+3	1,4E+3	<1	

NA = No aplica; NC = No se calculó; \* indica que el nivel de riesgo excede el riesgo aceptable.

Tabla 1. Riesgos individuales y acumulados por varias rutas de exposición (a) de un suelo residencial de la Cuenca del Guadalquivir con concentraciones en elementos traza iguales al FG del Dominio Geotectónico y valores SSTL correspondientes (b)

**palabras clave:** RBCA, suelos contaminados, elementos traza **key words:** RBCA, polluted soils, trace elements

a)

Elemento	ID+CD+IV					
	USA		HOLANDA		UK	
	Residencial		Residencial		Residencial	
	Riesgo aceptable: 1.00E-5	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.00E-5	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.00E-5	CP aceptable: 01E+0
Concentración en suelo (mg/kg)	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro
Arsénico	1,6E+1	3,9E-3	7,4E-1	2,2E-1		7,4E-2
Cadmio	1,0E+1		3,7E-1	2,8E+0		2,8E+0
Cromo (III) (cromo total)	1,0E+2		4,2E-3	7,7E+1		1,5E+2
Cromo (VI)	2,0E+1		2,6E-1	4,2E+0		
Cobalto	1,7E+1		8,7E-1	1,9E-1		
Cobre	4,9E+1		8,2E-2	2,3E-2		
Plomo (inorgánico)	4,3E+1			3,4E-1		
Mercurio	5,0E+0		3,9E-1	3,7E-1		3,3E+0
Níquel	4,2E+1		6,9E-2	3,5E-1		1,8E+1
Zinc	8,9E+1		9,0E-3	7,7E-3		
Valores acumulativos		3,9E-3	2,8E+0	8,5E+1		1,7E+2

b)

Elemento	Concentración en suelo (mg/kg)	INGESTIÓN DIRECTA RESIDENCIAL		INGESTIÓN DIRECTA COMERCIAL	
		Riesgo aceptable: 1.00E-5	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.00E-5	CP aceptable: 01E+0
		Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro
		Arsénico	1,6E+1	4,2E-5	5,3E-1
Cadmio	1,0E+1		1,3E-1		4,9E-3
Cromo (III) (cromo total)	1,0E+2		8,5E-4		3,3E-5
Cromo (VI)	2,0E+1		8,5E-2		3,3E-3
Cobalto	1,7E+1		7,2E-1		2,8E-2
Cobre	4,9E+1		1,6E-2		6,0E-4
Plomo (inorgánico)	4,3E+1		1,5E-1		5,8E-3
Mercurio	5,0E+0		2,1E-1		8,2E-3
Níquel	4,2E+1		2,7E-2		1,0E-3
Zinc	8,9E+1		3,8E-3		1,5E-4
Valores acumulativos		4,2E-5	1,9E+0	3,3E-6	7,2E-2

**Tabla 2.** Riesgos individuales y acumulativos para suelos de la Cuenca del Guadalquivir con concentraciones de elementos traza iguales al p90 del Dominio Geotectónico. a) Comparación entre las bases de datos de USA, Holanda y UK para las rutas de exposición ingestión directa (ID), contacto dérmico (CD) e ingestión de vegetales (IV) conjuntas. b) Comparación para receptores residencial y comercial y exposición por ingestión directa.

As, Cr (VI) y Co, para las rutas suelo lixiviando a agua subterránea y contacto directo (Tabla 1b). Se destaca que el SSTL para As de tan sólo 0.041 mg/kg (Tabla 1b).

Estos resultados son alarmantes de forma injustificada porque se ha partido de suelos no contaminados.

**Exposición a suelos superficiales por ingestión directa. Influencia de la elección de la base de datos.**

En la tabla 2a se muestra una comparación usando las bases de datos de USA, Holanda y UK. De acuerdo con la base de datos de USA, el principal riesgo viene derivado de la presencia de As por ser considerado cancerígeno. En cambio para Holanda y UK no se consideraría el riesgo de cáncer por la presencia de As, pero sí se superan los cocientes de peligro para Cd, Cr(III) y Cr(VI) en Holanda, y Cd, Cr(III), Hg y Ni en UK. El cociente de peligro acumulado por exposición a los elementos tóxicos supera el valor límite establecido en los tres casos, pero con diferentes órdenes de magnitud.

Por tanto, la elección de una u otra base de datos para realizar el análisis de riesgos puede variar los resultados hasta dos órdenes de magnitud.

**Exposición a suelos superficiales por ingestión directa. Influencia del receptor y la biodisponibilidad**

Tomando como ejemplo el p90 de la Cuenca del Guadalquivir y exposición por ingestión directa para un receptor residencial, para As se supera el riesgo por sustancias cancerígenas (Tabla 2b), siendo el SSTL de 3,8 mg/kg, lo cual es bastante restrictivo para la mayoría de los suelos naturales no contaminados y,

por tanto, carece de sentido. Teniendo en cuenta la fórmula para calcular el SSTL, los factores que afectan son el receptor elegido (niño, adulto, comercial, etc.), el factor de pendiente (para elementos cancerígenos) o dosis crónica (para no cancerígenos) y la biodisponibilidad. Para un receptor residencial se supera el riesgo aceptable para As y el valor acumulativo (Tabla 2b). En cambio, para un receptor comercial no se superaría el riesgo para ninguno de los elementos seleccionados ni el valor acumulado, aunque el programa marque As (rojo) como que supera el riesgo aceptable (¿Es un error?). De hecho, el SSTL del As (49 mg/kg) es mayor al p90 de partida.

Teniendo en cuenta que tanto el factor de pendiente o el de dosis crónica vienen tabulados y difícilmente se disponen de valores propios, sólo el factor de biodisponibilidad puede ser modificado. Este factor es importante y muy restrictivo porque, por defecto, el programa considera que la biodisponibilidad de los elementos es total (1), excepto para el As (0,78), lo cual son valores bastante altos.

La biodisponibilidad de los elementos en los suelos suele ser del 10%, aunque varía bastante. Si no se tienen otros valores, se puede considerar como factor de biodisponibilidad la movilidad en agua o la cantidad extraída con EDTA, lo que daría un resultado aceptable sin ser alarmante. También puede resultar de interés aplicar los resultados de extracciones secuenciales.

Otras incongruencias parecidas se pueden citar cuando se estima la contaminación por la ingestión de vegetales o en el caso de contaminación de acuíferos, que hacen inviable la aplicación del programa.

**CONCLUSIONES**

El análisis de riesgos, usando programas informáticos como el RBCA, es una buena herramienta para valorar a priori el riesgo a la salud humana por exposición a sustancias cancerígenas o tóxicas. No obstante su uso debe realizarse de forma cautelosa, controlando los factores que afectan al riesgo, así como calculando y comprobando en todo momento que los resultados obtenidos son factibles y razonables para no sobrevalorar el riesgo y crear alarmas injustificadas.

Muchos de los parámetros tabulados como la biodisponibilidad, biotransferencia a plantas y factor de lixiviación pueden diferir mucho de los valores reales del caso de estudio. Se recomienda hacer los análisis como comprobación cuando sea necesario.

Para exposición por ingestión directa, pueden usarse los valores de movilidad en agua o los extraídos con EDTA para calcular la biodisponibilidad, si no se dispone de otros más apropiados.

En ningún caso debe realizarse un análisis de riesgo introduciendo las concentraciones de elementos en los suelos y tomando por defecto los parámetros y variables proporcionadas por el programa informático, ya que pueden obtenerse resultados alarmantes no justificados.

**AGRADECIMIENTOS**

Proyecto "Desarrollo de nuevos procedimientos para la tramitación de estudios de la calidad del suelo de emplazamientos potencialmente contaminados por metales pesados" (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía).