

# CARGA CONTAMINANTE Y PELIGROS A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Ricardo HIRATA<sup>1</sup>

## RESUMEN

Los programas modernos de protección de los recursos hídricos subterráneos tienen como base técnica la restricción de la ocupación del terreno con relación a la vulnerabilidad de los acuíferos y/o a perímetro de protección de pozos o manantiales (PPP). La decisión de la instalación o remoción de una actividad potencialmente contaminante debe considerar el peligro de la degradación del acuífero o del pozo/manantial, lo cual es determinado por la interacción de la probabilidad de geración de una carga contaminante con los diferentes grados de vulnerabilidad o PPP. Estudios de caso han mostrado que las cargas contaminantes son las que controlan la contaminación del acuífero, excepto en áreas de vulnerabilidad elevada o captaciones mal construidas. De esta forma, identificar, entender y clasificar las fuentes de contaminación es prioritario en programas de gestión de la cualidad de acuíferos. A pesar de que las actividades potencialmente contaminantes sean complejas, es posible dimensionar la probabilidad de geración de una carga poluidora, identificando las sustancias tóxicas manipuladas y/o almacenadas y la existencia de cargas hidráulicas asociadas a estos compuestos, en el proceso o en la destinación final de sus residuos. Esta técnica es conocida como *POSH*, que es un acrónimo de estas características: *Pollutant Origen e Hydraulic Surcharge*.

## ABSTRACT

Modern groundwater resource protection programs restrict the land occupation based on aquifer contamination vulnerability maps and/or wellhead protection areas. The installation or removal of a potentially contaminant activity must take into consideration the hazard to which the aquifer or the well are or will be submitted. The hazard is defined as the interaction of the contaminant load and both the above mentioned zoning tools. Groundwater contamination study cases have demonstrated that the contaminant loads themselves control the occurrence of aquifer degradation, except in areas where the vulnerability is high or the well is not properly constructed. In this way, the identification, understanding, and classification of the contamination are a priority for aquifer quality management programs. Although the potentially contaminant activities are complex, though the identification of the manipulated or stored toxic substances and the possible hydraulic surcharge associated to these activity, it is possible to estimated the probability of generation a contaminant load. This technique is known as *POSH*, which is an acronym of the following characteristics: *Pollutant Origin and Hydraulic Surcharge*.

**Palabras Claves:** acuífero; vunerabilidad; peligro de contaminación; carga contaminante; manejo.

### El concepto de peligro de contaminación de acuíferos

Una de las mayores dificultades de un programa de protección de las aguas subterráneas es establecer cuáles son las actividades antrópicas que requieren mayor atención ambiental. La gran cantidad y complejidad de actividades existentes en un

área, sumada a los elevados costos de investigaciones detalladas y del monitoreo hidrogeológico, obliga a los órganos de control ambiental a llevar a cabo una estrategia de identificación de actividades o zonas de mayor peligro de contaminación de los acuíferos.

FOSTER (1987) y FOSTER; HIRATA (1988), proponen un sistema sencillo para la

<sup>1</sup> Departamento de Geología Sedimentar e Ambiental. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. Rua do Lago, n.562 – Cidade Universitária – São Paulo (SP) – Brasil. CEP 05508-900. E-mail: rhirata@usp.br; Fax: (5511) 3091 4207

priorización de actividades (Fig. 1), donde el peligro es definido como la interacción entre la intensidad de la carga contaminante antrópica y la vulnerabilidad del acuífero. De manera análoga, el concepto de peligro puede también ser extendido para las manantiales de abastecimiento de agua potable, a partir de la interacción entre los perímetros de protección de pozo o manantial (PPP) y las cargas contaminantes, que estén ubicadas en las áreas más próximas de la captación.

Se entiende por vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero el conjunto de características intrínsecas que determinan su susceptibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante FOSTER (1987). Técnicas de cartografías de vulnerabilidad existentes y sus aplicaciones se encuentran bien descritas en varios artículos técnicos (FOSTER, 1987; ALLER et al., 1985; FOSTER; HIRATA, 1988; VRBA; ZAPOROZEC, 1994). Para el perímetro de protección de pozos, que es una estrategia dirigida al manantial, donde se establece un área en superficie en la cual las actividades deben ser restringidas, los trabajos que se citan son USEPA (1994); FOSTER et al. (2001).

Este artículo presenta algunas consideraciones con relación a las cargas contaminantes y describe una de las metodologías empleadas para su clasificación, el POSH (FOSTER; HIRATA, 1988; FOSTER et al., 2001).

## **LAS ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES**

La Tabla 1 muestra un resumen de las actividades potencialmente generadoras de carga contaminante al subsuelo y que pueden afectar los acuíferos. Es importante señalar que aquellas actividades de mayor potencial de generación están asociadas a la utilización o manejo de compuesto de gran toxicidad, persistencia y movilidad en los acuíferos, así como a importantes cargas hidráulicas impuestas como lagunas e irrigación, en el caso de actividades agrícolas.

Aunque se considera por la gran complejidad de las actividades potencialmente contaminantes, tendrían que ser estudiadas individualmente, un análisis de los casos de contaminación conocidos permite obtener algunas conclusiones importantes:

a) Una gran cantidad de actividades humanas es potencialmente capaz de generar importantes cargas contaminantes, aunque solamente unas pocas son responsables por la mayoría de los casos de contaminación de las aguas subterráneas (Tabla 2).

b) El volumen de sustancias químicas usadas en una actividad no tiene una relación directa con su presencia en los acuíferos. Esto ocurre debido al comportamiento de las mismas en subsuperficie. La Tabla 3 presenta los compuestos más comúnmente encontrados en acuíferos sobretodo en países de América del Norte y Europa.

c) La intensidad de la contaminación de un acuífero no es una función directa del tamaño de la actividad antrópica. Muchas veces pequeñas actividades, como talleres mecánicos y pequeñas industrias, pueden causar gran impacto en las aguas subterráneas. Las actividades grandes son más fáciles de identificar y localizar, manipulan los compuestos químicos de forma más controlada, lo que no ocurre con las pequeñas actividades, que muchas veces actúan clandestinamente, sin registros comerciales ni fiscalización de entidades de control ambiental y de salud pública.

d) En zonas urbanizadas, las pequeñas actividades son responsables por la mayoría de los casos de contaminación. Por la economía poco estable de los países en desarrollo es común la apertura y cierre de muchas actividades en pocos años. Esto dificulta la identificación de la actividad y también su acompañamiento. Se tiene conocimiento de muchas áreas industriales abandonadas que generaron contaminación a los acuíferos. La situación agravante en muchos casos es que esas áreas acaban teniendo otros usos, muchas veces incompatibles con el grado de contaminación existente en el suelo.

e) Pequeñas cantidades de compuestos químicos pueden generar grandes plumas de contaminación, sobretodo cuando el acuífero impactado presenta gran velocidad de circulación de agua y los compuestos son muy tóxicos, como los hidrocarburos halogenados (MACKEY; CHERRY, 1989).

Es posible, entonces, percibir que algunas actividades antrópicas, asociadas a ciertos tipos de contaminantes, tendrán mayor probabilidad de contaminar un acuífero. De esta forma, un inventario y una clasificación de fuentes de contaminación específica es un paso fundamental para la implementación de un programa de protección de las aguas subterráneas, sobretodo porque son las cargas contaminantes las que determinan si existirá o no una contaminación.

## **EL INVENTARIO DE FUENTES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES**

El inventario es una actividad que comprende la identificación, localización

espacial, período de funcionamiento y la caracterización de las prácticas utilizadas, de forma sistemática (WHO, 1982).

Una de las mayores dificultades en un inventariado es la obtención de la información. En muchos casos, una gran parte de los datos esta concentrada en organismos del gobierno, empresas estatales y privadas. Estudios anteriores, realizados con otros fines, son también importantes fuentes de información, así como los directorios telefónicos (incluyendo las páginas amarillas) y los registros de asociaciones y juntas comerciales de la ciudad. Fotografías aéreas antiguas o imágenes de satélite de gran escala pueden facilitar el mapeo del uso y ocupación del suelo, inclusive desde una perspectiva histórica.

Debido a los aspectos socio-económicos particulares en cada país o en una región, los inventarios deben tener características propias, aunque existan muchos puntos comunes. El inventario debe realizarse con criterios claros, mensurables y reproducibles, con el fin de que haya homogeneidad en los datos y que sea comparable con otros estudios que utilicen la misma técnica. Para esto, es preferible diseñar fichas estándar y listas con las principales preguntas y con las respuestas esperadas. Siempre que sea posible, deben incluirse preguntas que permitan una verificación cruzada de las informaciones suministradas.

#### **LAS LIMITACIONES PRÁCTICAS**

Desde un punto de vista teórico, es necesario establecer cuatro características semi-independientes de la carga contaminante para cada actividad antrópica (FOSTER; HIRATA, 1988):

- a) La clase de contaminante, definida por la tendencia a la degradación o transformación *in situ* de cada sustancia involucrada y por su retardamiento con relación al flujo de agua subterránea;
- b) La intensidad de la contaminación, definida por la concentración relativa de cada contaminante involucrado de acuerdo con los valores recomendados por la OMS para la calidad de agua potable y por la proporción en área de la zona de recarga del acuífero, afectada;
- c) El modo de disposición en el subsuelo, definido por la carga hidráulica asociada al contaminante y por la profundidad bajo superficie a que el efluente es descargado; y
- d) El tiempo de aplicación de la carga contaminante, definido por la probabilidad de que el contaminante sea descargado al subsuelo, que puede ser de manera intencional, incidental, o accidental, y por el período durante el cual se aplica la carga.

Dentro de una estrategia de protección de los recursos hídricos subterráneos, sería ideal poseer toda las informaciones mencionadas,

sobre todas las actividades potencialmente contaminantes del área de interés. Sería mejor aún, si fuera posible estimar las concentraciones y volúmenes de la carga contaminante que están llegando al suelo. Sin embargo, debido a la gran complejidad y diversidad de las fuentes de contaminación y a la gran densidad de actividades existente, los estudios detallados de todas ellas son impracticables. De esta forma, los datos teóricos idealmente requeridos no deberían perderse de vista ya que pueden constituir la base para futuros estudios detallados de la carga contaminante al subsuelo, que incluyan muestreo de efluentes, inspección de procesos, entre otras.

Frente a esas restricciones, cualquier técnica de inventario y clasificación de fuentes potencialmente contaminantes presentará imperfecciones y limitaciones, pues en la tentativa de abarcar una gran área de estudio, se perderán detalles sobre las actividades. Sin embargo, frente a la imposibilidad de controlar todas las actividades, es necesario un método que identifique aquellas que realmente presenten la mayor potencialidad de generación de cargas, permitiendo establecer prioridades en la gestión de los recursos hídricos.

#### **LA CLASIFICACIÓN DEL ACTIVIDADE POTENCIALMENTE CONTAMINANTE**

Algunos investigadores se han dedicado a establecer métodos para evaluar las cargas contaminantes al subsuelo y proponer clasificaciones (FOSTER; HIRATA, 1988; ZAPOROZEC, 2001; JOHANSSON; HIRATA, 2001; FOSTER et al., 2001), donde se define la mayor probabilidad de generación de cargas contaminantes hacia el acuífero. Algunos trabajos hacen esta clasificación de forma integral con mapeo de vulnerabilidad, programas de monitoreo o incluso estudios de detalle.

La clasificación de las actividades por tipos de ocupación del área, *dispersa* o *puntual*, permite visualizarlas más fácilmente en un programa de gestión. Las fuentes dispersas normalmente provocan plumas de contaminación con concentración más baja que las fuentes puntuales, aunque ocupan una gran área dificultando la determinación de su extensión y su monitoreo. Las fuentes puntuales producen plumas más intensas y en puntos específicos, facilitando su identificación. Sin embargo cuando estas actividades son pequeñas y están dispersas dentro del área urbana, acaban siendo de difícil localización, exigiendo un inventario de campo para su identificación.

También se deben analizar las actividades desde un punto de vista histórico, según la ocupación del terreno. Así, se clasificarían las actividades en *fuentes de contaminación*

*heredadas*, cuando al principio del estudio ya se conocen los casos y actividades que provocaron contaminación al acuífero; *fuentes existente*, cuando el estudio tiene que identificar y clasificar actividades potencialmente contaminantes ya instaladas; *futuras fuentes*, cuando no existe todavía una ocupación del terreno y se necesita planear su uso; y *fuentes abandonadas*, cuando la actividad potencialmente contaminante ya no existe, pero todavía hay peligro de generación de cargas contaminantes (HIRATA; REBOUÇAS, 1999).

Aunque los sistemas mencionados sean prácticos, es muy útil una clasificación relativa de las actividades, diferenciando las de mayor y menor potencial de generación de carga.

En un análisis simplificado, solamente existirá una carga contaminante si se suman dos factores: la presencia de sustancias que tengan persistencia y movilidad para llegar hasta el acuífero y la existencia de una carga hidráulica asociada que permita que el movimiento advectivo transporte los compuestos contaminantes. Estos datos muchas veces no están disponibles, implicando ciertas simplificaciones, como asociar la presencia de una sustancia contaminante a un tipo específico de actividad, o asociar la carga hidráulica al tamaño, consumo de agua o localización de la fuente potencialmente contaminante.

De esta forma, FOSTER; HIRATA (1988) y FOSTER et al. (2001) sugieren una clasificación de fuentes potencialmente contaminantes que considera: el **Origen** de la actividad o del **Contaminante** (Pollutant Origen) y la **Carga Hidráulica** asociada (Hydraulic Surchage), inferida por la cantidad de agua utilizada o disponible. El método **POSH** se enfoca en los datos más importantes como: la localización de la actividad; inicio y fin de funcionamiento (cuando fuera el caso); tipo de actividad y tamaño (definido a través del área ocupada, el número de funcionarios y/o su producción) y en el uso o disponibilidad de agua.

En las Tablas 4 y 5 se presentan el método de clasificación de fuentes dispersas o multipuntuales y fuentes puntuales más comunes, respectivamente. El método POSH clasifica el potencial de generación de una carga contaminante en tres niveles cualitativos, reducido, moderado y elevado. Cuando una evaluación involucre dos parámetros, deberá considerarse la clasificación de mayor grado.

## PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los datos de fuentes puntuales de contaminación deben representarse en mapas elaborados a la misma escala del mapa de vulnerabilidad de acuíferos o de la zonificación basado en PPP para que sean correlacionables

y permitan la identificación del peligro de contaminación de los acuíferos. Es importante que cada actividad sea identificada con un código y esté registrada en un banco de datos, con todas las informaciones disponibles sobre ella.

Para fuentes de contaminación multipuntual y dispersa, generalmente será más práctico delinear el área ocupada por estas actividades en el mapa de carga contaminante, con diferentes tonos que representen la intensidad relativa del índice de carga contaminante.

Para un mejor análisis, en el inventario puede utilizarse otra base cartográfica, a mayor escala (>1:50.000 en el caso de fuentes multipuntuales o dispersa y >1:10.000 para fuentes puntuales, p.ej.) que permitan localizar con más facilidad las fuentes potenciales de contaminación.

La ocupación del suelo por actividades antrópicas en países en desarrollo tiene una dinámica bastante rápida lo que dificulta la producción de mapas de carga contaminante actualizados. El gran avance de los computadores personales y la facilidad de impresión en formatos grandes y a colores ha permitido que los mapas de carga contaminante puedan ser actualizados e impresos con bastante rapidez. Los sistemas de información geográfica se prestan muy bien para este servicio, ya que correlacionan electrónicamente datos espaciales y permiten su manejo, incluyendo la correlación y realización de cálculos numéricos y lógicos de mapas con diferentes atributos.

## CONSIDERACIONES FINALES

La clasificación de cargas contaminante es una importante herramienta para identificar las actividades que presentan la mayor probabilidad de generación de importantes cargas contaminantes al acuífero. Es fundamental establecer prioridades para definir las actividades que deberán ser estudiadas más detalladamente, incluyendo monitoreo, investigaciones de campo y evaluación del riesgo ambiental y a la salud humana.

Aunque una actividad contaminante es bastante compleja, puede ser caracterizada sobre la base de dos factores fundamentalmente: i) del tipo de compuestos químicos utilizados o manejados y ii) de la carga hidráulica asociada. Esto es aplicable cuando el objetivo del estudio esta limitado a una escala de evaluación sistemática (típicamente 1:10,000 y 1:50,000). El método POSH (acrónimo de **P**ollutant **O**rigen; **H**draulic **S**urchage) establece, con base en estos factores, una clasificación de actividades en tres niveles, bajo, moderado y elevado.

Finalmente, es importante señalar que los métodos de clasificación de cargas contaminantes y de determinación de peligro de contaminación no sustituyen a los estudios de detalle, necesarios para la definición del riesgo real que la contaminación representa a la población y al ambiente.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHER, J.; PETTY, R. DRASTIC: a standardized system for evaluation groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. **USEPA Report** 600/2-85/018, 1985.
- FOSTER, S. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. **Proc. Interl Conf. "Vulnerability of soil and groundwater to pollutants"** Noordwijk, The Netherlands. April 1987.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. **WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual**, Lima, Peru. 81pp, 1988.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; Gomes, D.; D'Elia, M.; Paris, M. Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. **World Bank, GWMate**. Washington, 101p, 2001.
- HIRATA, R. REBOUÇAS, A. La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos. **Boletín Geológico y Minero**. Vol. 110, n. 4, p. 423-236, 1999.
- JOHANSSON, P-O.; HIRATA, R. Rating of groundwater contamination sources. In: Zaporozec, A. (editor) **Groundwater contamination inventory. A methodological guideline**. UNESCO. Paris. p. 87-105, 2001.
- MACKEY, D. ; CHERRY, J. Groundwater contamination: pump and treat remediation. **Environm. Sci Technology**. V. 23, p. 630-636, 1989.
- MILLER, D.; SCALF, M. New priorities for groundwater quality protection. **Ground Water**, v.12, p. 335-347, 1974.
- U.S. Environmental Protection Agency. **Guide for conduction contaminant source inventories for public drinking water supplies: technical assistance document**. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, USA. 570/9-91-014, p.22-23, 1991.
- U.S. Environmental Protection Agency. **Groundwater and wellhead protection. Handbook. EPA/625/R-94/001**. EPA. Washington. 269p, 1994.
- ZAPOROZEC, A. Contaminant source inventory. In: Zaporozec, A. (Ed.) **Groundwater contamination inventory. a methodological guideline**. UNESCO. Paris. 237p, 2001.
- VRBA, J; ZAPOROZEC, A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH. Heise. Hannover. **International Contrib. to Hydrogeology**. V. 16, 131p, 1994.
- World Health Organization. (WHO). **Rapid assessment of sources of air, water, and land pollution**. WHO Offset Publication. v. 62, 113 p, 1982.

Fig. 1. Niveles de prioridades de acción basados en las cartografías de vulnerabilidad de acuíferos y de perímetros de protección de pozos y la clasificación de la carga contaminante (Foster & Hirata 1988, Hirata & Rebouças 1999)

		VULNERABILIDAD DE ACUÍFERO			PERÍMETRO DE PROTECCIÓN DE POZO			
		BAJA	MOD.	ALTA	IV	III	II	I
CARGA CONTAMINANTE	REDUC.	3	3	2	3	3	1	1
	INTERM.	2	2	1	3	2	1	1
	ELEV.	2	1	1	2	1	1	1
		PRIORIZACIÓN			PRIORIZACIÓN			

3,2, y 1 son los niveles de prioridad para un programa de protección de calidad de acuíferos (del más bajo para el más elevado)

I, II, III, y IV son los perímetros: inmediato de protección (alrededor del pozo); bacteriológico, de productos químicos y de recarga del acuífero

BAJA, MODERADA y ALTA VULNERABILIDAD: susceptible a solamente muy móviles y persistentes compuestos en tiempo largo; a moderadamente móviles y persistentes, y por todos los compuestos, incluyendo bacteria y virus, respectivamente. REDUZIDO, INTERMEDIARIO, y ELEVADO se refieren a niveles de cargas contaminantes potenciales



Tabla 1. Resumen de actividades potencialmente generadoras de carga contaminante al subsuelo (Foster & Hirata 1988). Las letras en bold representan las actividades mas comunes en Latino América.

Actividad	Características de la Carga Contaminante			
	Categoría de Distribución	Principales Tipos de Contaminantes	Relativa Carga Hidráulica	Desvío de Suelo
<b>URBANIZACIÓN</b>				
<b>Saneamiento sin alcantarillado</b>	u/r P-D	n f o	+	*
Fugas de desagües (a)	u P-L	o f n	+	*
<b>Lagunas de oxidación de desagües (a)</b>	u/r P	o f n	++	*
Aplicación desagües al suelo	u/r P-D	n s o f	+	
<b>Descarga desagües al río</b>	u/r P-L	n o f	++	*
Lixiviación de rellenos/botaderos (a)	u/r P	o s h		*
Almacenamiento de combustibles	u/r P-D	o		*
Drenaje por sumideros	u/r P-D	s o	+	*
<b>INDUSTRIAL</b>				
Fugas de tanques/tuberías (b)	u P-D	o h		*
Derrames accidentales	u P-D	o h	+	
<b>Lagunas de efluentes</b>	u P	o h s	++	*
<b>Aplicación de efluentes al suelo</b>	u P-D	o h s	+	
<b>Descarga efluentes al río</b>	u P-L	o h s	++	*
Lixiviación de botaderos	u/r P	o h s		*
Drenaje por sumideros	u/r P	o h	++	*
Precipitaciones aéreas	u/r D	s o		
<b>AGRÍCOLA</b>				
<b>a. Cultivo del suelo</b>				
<b>con químicos agrícolas e irrigación</b>	r D	n o		
con lodos	r D	n o s	+	
<b>irrigación de aguas residuales</b>	r D	n o s f	+	
<b>b. Cría de ganado / procesos de cosechas</b>				
laguna de efluentes	r P	f o n	++	*
descarga efluentes al suelo	r P-D	n s o f		
descarga efluentes al río	r P-L	o n f	++	*
<b>EXTRACCIÓN DE MINERALES</b>				
Modificación régimen hidráulico	r/u P-D	s h		*
Descarga de agua del drenaje	r/u P-D	h s	++	*
Lagunas de rellaves	r/u P	h s	+	*
<b>Lixiviación de botaderos</b>	r/u P	s h		*

Tabla 2. Clasificación de tipos y fuentes de contaminación de suelos y aguas subterráneas en los Países Bajos, basado en 500 casos.

Fuente de Contaminación	Tipo de contaminante	N	Frec. (%)
Estación gasolinera	Hidrocarburo aromático, benceno, fenoles, CN	138	28
Basurero	Hidrocarburo aromático, benceno, alquilbenceno, metales, pesticidas	106	21
Contaminación por aceite	Hidrocarburos, Pb	77	8
Productos químicos en áreas de manejo	Hidrocarburos halogenados & alifáticos, alquilbenceno, metales	33	7
Industrias de galvanoplastia	Tricloroetileno, CN, metales	31	6
Industria de metales	Tricloroetileno, tetracloroetileno, hidrocarburo alifático, fenol, metales	31	6
Pintura	Alquilbenceno, hidrocarburo halogenado, metales	27	5
Garajes	Hidrocarburos	16	3
Limpieza de embarcaciones	Benceno, hidrocarburos aromáticos, halogenados & alifáticos, fenoles, metales	16	3
Industria maderera	Pentaclorofenol, hidrocarburos aromáticos, alifáticos, metales	10	2
Limpieza en seco	Tricloroetileno, tetracloroetileno	6	1
Textiles	Hidrocarburos, Pb, Cr	6	1
Manufactura de pesticidas	Hidrocarburos halogenados, fenol, As	5	1
Disposición de lodos	Hidrocarburos alifáticos, Pb, Zn	4	1
Trabajo de esmaltación	hidrocarburos aromáticos & alifáticos, tetracloroetileno	3	0.5
Curtiembre	Hidrocarburos	2	0.5
Otros tipos	Benceno, alquilbenceno, fenol, tricloroetileno, hidrocarburos alifáticos, Zn, Cd, Sn, Hg, Pb	26	5

Tabla 3. Compuestos más frecuentes en EUA en acuíferos reportados en todos los 562 casos de la National Priority List (NPL), hasta 1985

Compuesto	Número de casos
Tricloroetileno	(33)
Plomo	(30)
Tolueno	(28)
Benceno	(26)
PCBs	(22)
Cloroformo	(20)
Tetracloroetileno	(16)
Fenoles	(15)
Arsénico	(15)
Cadmio	(15)
Cromo	(15)
1,1,1 tricloroetano	(14)
Zn & compuestos	(14)
Etilbenceno	(13)
Xileno	(13)
Cloruro de metileno	(12)
Trans-1,2 –dicloroetileno	(11)
Mercurio	(10)
Cobre & compuestos	(9)
Cianuro (sales solubles)	(20)
Cloruro de vinilo	(8)
1,2 dicloroetano	(8)
Clorobenceno	(8)
1,1 dicloroetano	(8)
Tetracloruro de carbono	(7)

Tabla 4. Método POSH de clasificación de las cargas potencialmente contaminantes por fuentes dispersas y multipuntuales (FOSTER; HIRATA, 1988).

POTENCIAL DE GENERACION DE CARGA CONTAMINANTE	saneamiento in situ	agricultura
<b>ELEVADO</b>	Mínima cobertura de la red de alcantarillado (<25%) Media o alta densidad poblacional (>100 hab/ha)	Intensiva y moderna producción agrícola, con uso intenso de fertilizantes y plaguicidas, en suelos bien drenados (sitios de manipulación de estiércol se consideran fuentes puntuales)
<b>MODERADO</b>	Todas las demás	Todas las demás
<b>REDUCIDO</b>	Alta cobertura (>75%) Baja densidad poblacional (<100hab/ha)	Sistemas de cosechas tradicionales, áreas extensas de pastoreo, sistemas “ecológicos” y sistemas de irrigación por goteo o micro-aspersión en regiones de baja pluviosidad (<250mm/a)

Tabla 5. Método POSH de clasificación de las cargas potencialmente contaminantes por fuentes puntuales (FOSTER; HIRATA, 1988).

Potencial de generación de carga contaminante	Residuo sólido	Industria	Laguna de efluente	Fuentes puntuales urbanas	Actividad de minería y petróleo	Fuentes lineares	Otras fuentes
ELEVADO	Lluvia >1000mm/a o residuo de origen desconocida  Residuo de industria tipo 3	Tipo 3 Proces. de metales Ingeniería mecánica Refino petróleo / gas Productos plásticos Químicos orgánicos Químicos inorgánicos Farmacéuticos Curtiembres Plaguicidas Electro-electrónicos	Efluente de industria tipo 3  >5ha con efluentes de todos los orígenes, excepto residencial	Terrenos abandonados: considerar como en operación (utilizar el índice más elevado, cuando más de una actividad)	Campos de pozos de petróleo en perforación o exploración  Exploración de minerales no-inertes, incluyendo metales	Ríos contaminados influentes o efluentes con pozos que provoquen inversión de bombeo	Actividades que manipulen productos peligrosos en cantidades >100kg/día (incluyendo depósitos)
MODERADO	Lluvia >1000mm/a con residuos netamente residenciales; de industrias tipo 1 y agro-industrias  Todos los demás casos	Tipo 2 Metales no ferrosos Productos caucho Pulpa & papel Jabón y detergente Fáb. Textiles Fertilizantes Termo-eléctricas	Solamente residenciales con >5ha  Todos los demás casos	Estaciones gasolineras	Exploración de minerales inertes: (observar la vulnerabilidad y cambios en la hidráulica del acuífero)	Ferrocarril y carreteras con tráfico intenso de productos peligrosos, incluyendo locales de trasbordo de carga	
REDUCIDO	Lluvia < 200mm/a  Lluvia 200-1000mm con residuos solamente residenciales y industrias de tipo 1 y agro-industrias	Tipo 1 Materiales no metálicos Carpintería Alimentos y bebidas Azúcar y alcohol	< 1ha con efluentes de origen residencial-urbana y mixta urbana-industrial; minería no metalífera y agro-industria	Cementerios			