

CI61Q

**CI61Q/CI71M
PRINCIPIOS DE REMEDIACION Y
RESTAURACION**

FUENTES DE CONTAMINACION

SEMESTRE PRIMAVERA 2006



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL



CI61Q

INTRODUCCION

FUENTES DE CONTAMINACION

CATEGORIAS DE FUENTES

CARACTERIZACION DE FUENTES

SITUACION EN EEUU (1994 - 2004)



CI61Q

El agua (H_2O) es una molécula fuertemente dipolar por lo que presenta marcadas propiedades solventes, es decir, el agua siempre disolverá algo de cualquier sólido o gas con el cual entre en contacto

Las aguas naturales siempre contienen iones disueltos los cuales provienen del contacto del agua con minerales tales como el limo, magnetita, yeso y sales.

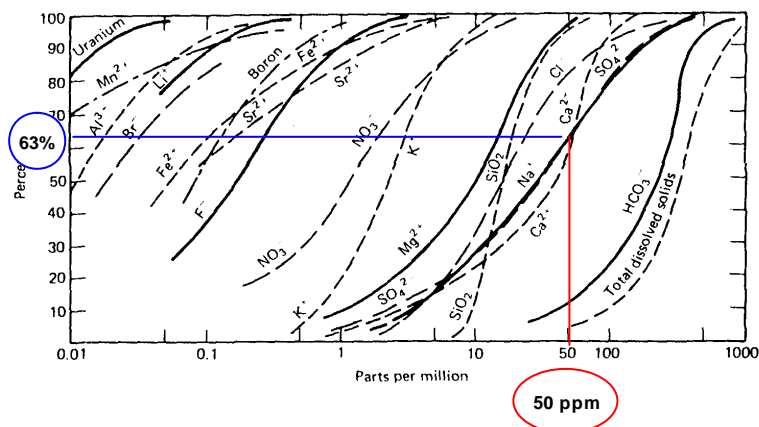
Los **cationes** más comunes encontrados en el agua natural son calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), y potasio (K^+).

Los **aniones** más comunes son los bicarbonatos (HCO_3^-), cloros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), y en menor cantidad nitratos (NO_3^-).



CI61Q

Distribución de Constituyentes en Aguas Terrestres



CI61Q

La composición química de las fuentes de **agua superficial** es reflejo de la geografía local, estacionalidad, escorrentía, procesos biológicos y actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca.

La calidad de un **agua subterránea** depende mucho de las condiciones del acuífero: de su litología, de la velocidad de circulación, de la calidad del agua de infiltración, de las relaciones con otras aguas o acuíferos y de las leyes del movimiento de sustancias transportadas por el agua.

El **agua natural**, como un nicho ecológico, contiene una variedad de microorganismos: bacterias, algas, hongos, protozoos, en armónico equilibrio.



CI61Q

Las **aguas subterráneas** tienen una mayor oportunidad de disolver materiales por las mayores superficies de contacto, lentas velocidades de circulación y mayores presiones y temperaturas a las que están sometidas y facilidad de disolver CO_2 del suelo no saturado. Por ello, sus concentraciones salinas son, en general, superiores a las de las aguas superficiales.

Constituyentes principales	
(rango de concentración 1.0 a 1000 ppm)	
Sodio (Na)	Bicarbonato
Calcio	Sulfato
Magnesio	Cloruro
Silice	
Constituyentes secundarios	
(rango de concentración de 0.01 a 10.0 ppm)	
Hierro	Carbonato
Estroncio	Nitrato
Potasio	Fluoruro
Boro	



CI61Q

Las condiciones físicas a que se hallan sometidas las **aguas subterráneas** suponen una reducción de las materias en suspensión y de la materia orgánica, debido esta última a la acción de los propios microorganismos del terreno. La mayoría de las aguas subterráneas no contienen materia suspendida y prácticamente ninguna bacteria. En general son claras e incoloras.

Constituyentes menores (rango de concentración de 0.0001 a 0.1 ppm)	
Antimonio	Litio
Aluminio	Manganeso
Arsénico	Molibdeno
Bario	Níquel
Bromo	Fosfato
Cadmio	Rubidio
Cromo	Selenio
Cobalto	Titanio
Cobre	Uranio
Germanio	Vanadio
Yodo	Zinc
Plomo	



CI61Q

INTRODUCCION

FUENTES DE CONTAMINACION

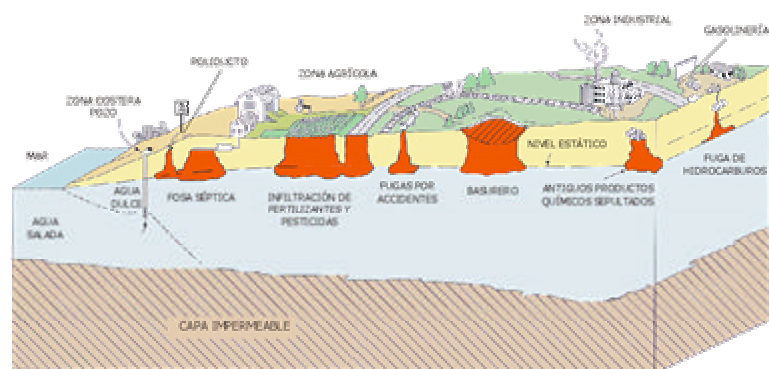
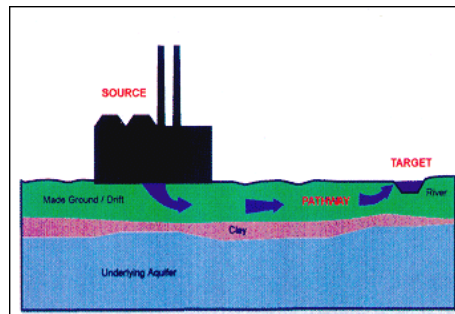
CATEGORIAS DE FUENTES

CARACTERIZACION DE FUENTES

SITUACION EN EEUU (1994 - 2004)

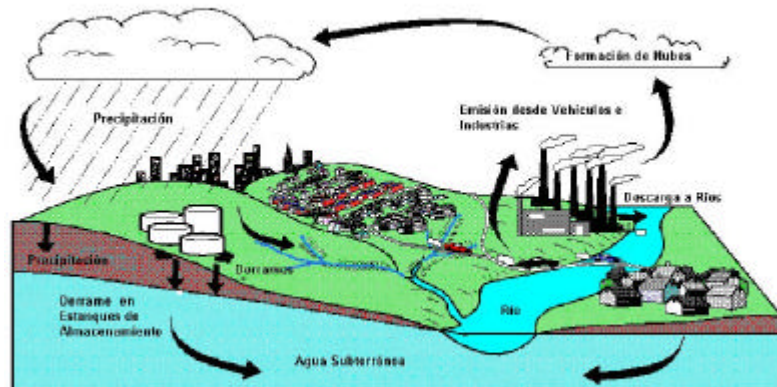


El sitio de origen de los contaminantes se denomina **fuentes**.



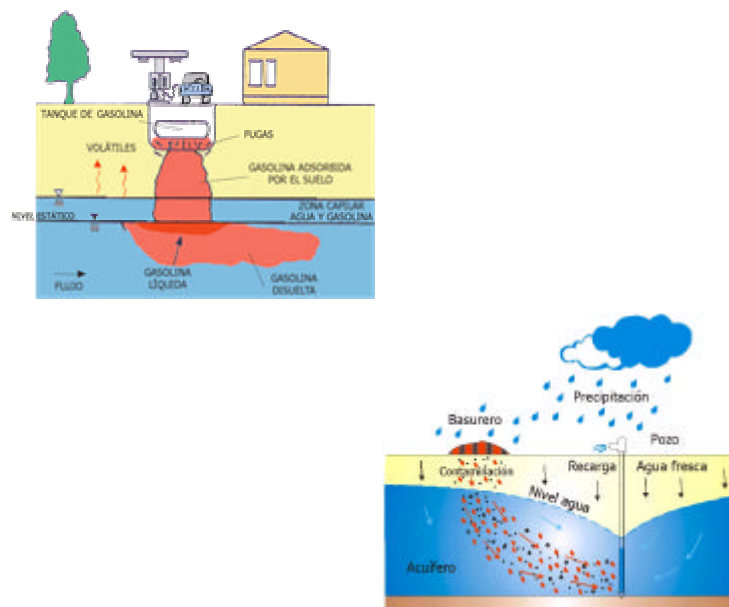
MODIFICATION: Fisher, 1993.

CI61Q FUENTES COMUNES DE CONTAMINACIÓN

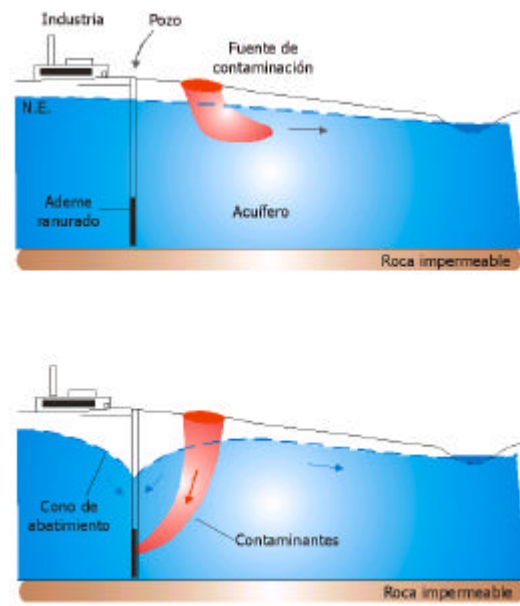


CICLO MTBE

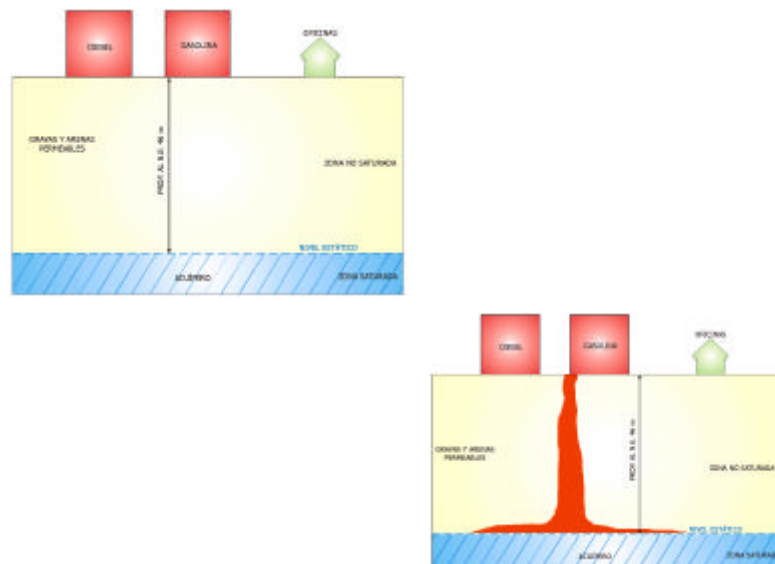
CI61Q

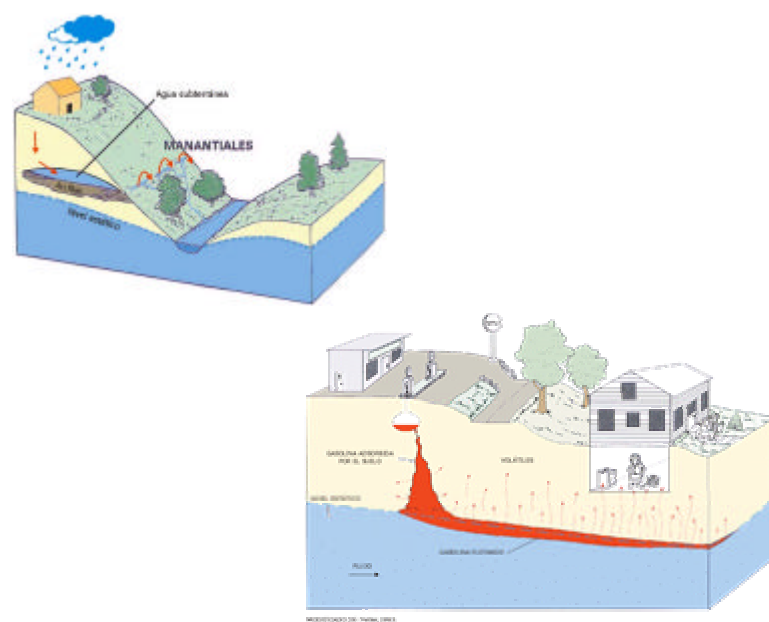
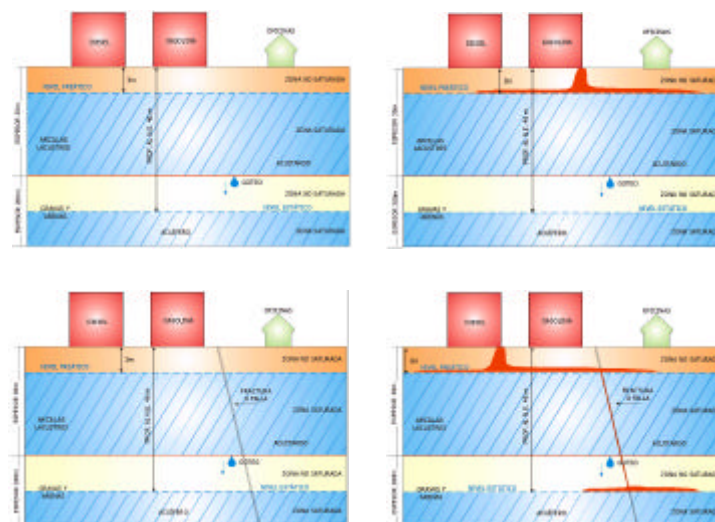


CI61Q

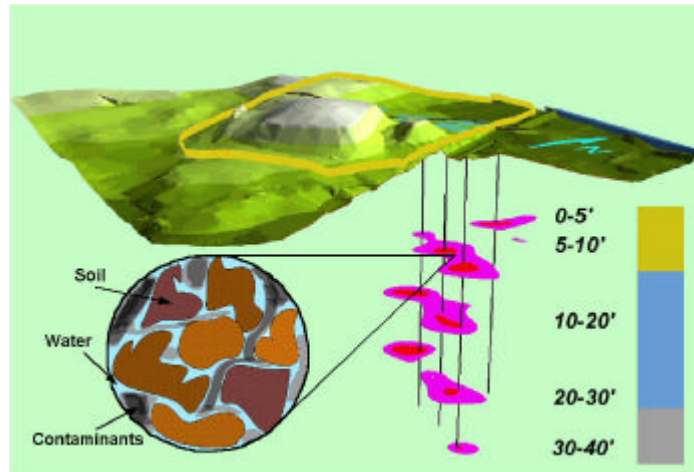


CI61Q

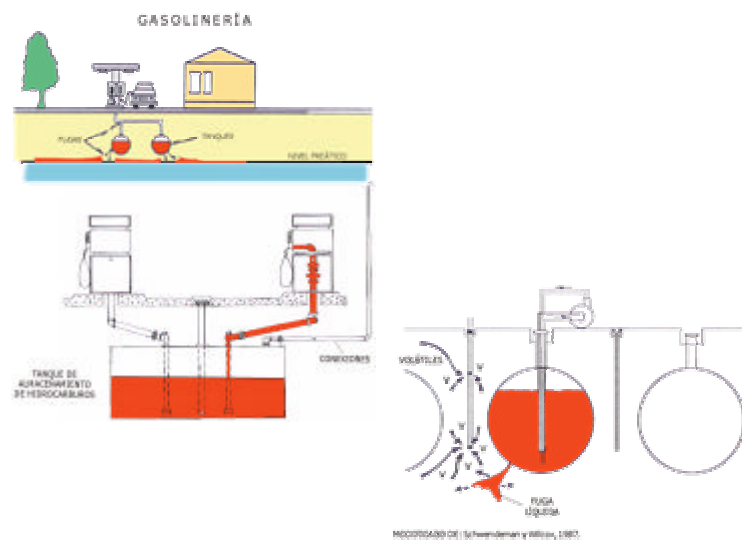




CI61Q FUENTES COMUNES DE CONTAMINACIÓN



CI61Q



CI61Q

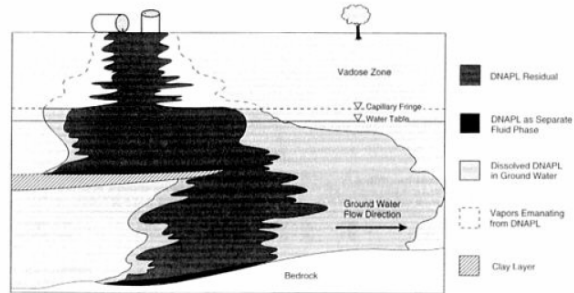


FIGURE 2-5 Conceptual diagram of DNAPL migration through the subsurface. As the diagram indicates, some DNAPL remains as an entrapped residual in the soils (indicated by the dark shading), some migrates as a separate fluid phase (indicated by the black areas), some dissolves in the ground water to create plumes (indicated by the light shading), and some vaporizes into the gas in the soil pores (indicated by white areas).

CI61Q

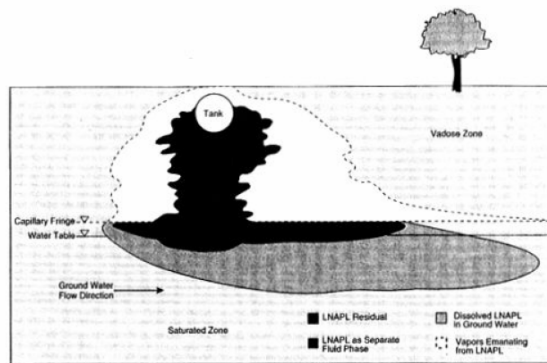


FIGURE 2-6 Conceptual diagram of LNAPL transport through the subsurface. As the diagram indicates, some LNAPL remains entrapped in the soil pores, some remains as a separate fluid phase near the spill source and on top of the water table, some vaporizes into the soil pores, and some dissolves in the ground water to form a plume. SOURCE: Modified from API, 1989.

CI61Q

INTRODUCCION
FUENTES DE CONTAMINACION
CATEGORIAS DE FUENTES
CARACTERIZACION DE FUENTES
SITUACION EN EEUU (1994 - 2004)



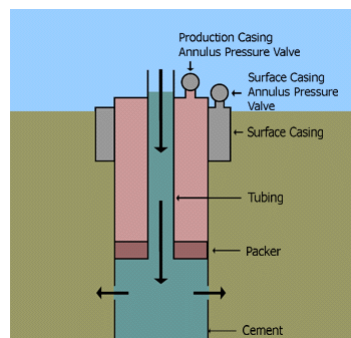
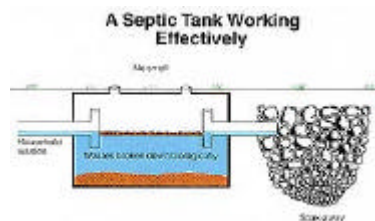
CI61Q

CATEGORIAS DE FUENTES DE CONTAMINACION

Categoría I.

Fuentes Diseñadas a la Descarga de Sustancias

Fosas sépticas, Pozos de inyección, y Aplicación al suelo.



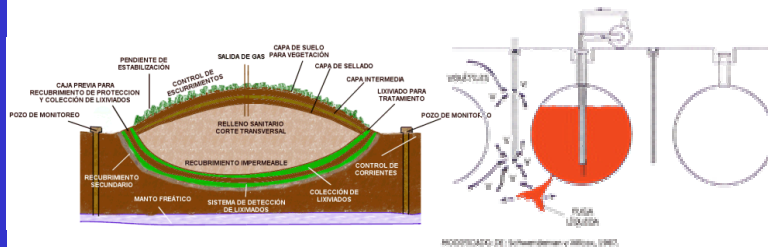
CI61Q

CATEGORIAS DE FUENTES DE CONTAMINACION

Categoría II.

Fuentes Diseñadas para el Almacenamiento, Tratamiento y/o Disposición de Sustancias

Relenos sanitarios, Basureros, Pozas o lagunas de almacenamiento, Desechos mineros, Cementerios, Estanques de almacenamiento sobre el suelo, Estanques de almacenamiento bajo el suelo, Contenedores.



CI61Q

CATEGORIAS DE FUENTES DE CONTAMINACION

Categoría III.

Fuentes Diseñadas para Retener sustancias durante Transporte.

Tuberías de alcantarillado, Transporte y Transferencia de Materiales



CI61Q

CATEGORIAS DE FUENTES DE CONTAMINACION

Categoría IV.

Fuentes que Descargan Sustancias como Resultado de Otras Actividades.

Riego, Aplicación de Pesticidas, Aplicación de Fertilizantes, Residuos Animales, Aplicación de Sales, Drenaje Urbano, Drenaje de Minas



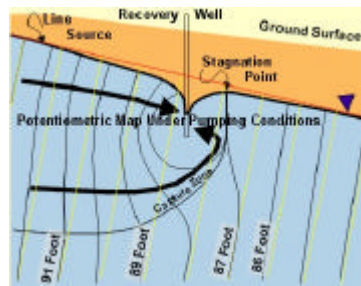
CI61Q

CATEGORIAS DE FUENTES DE CONTAMINACION

Categoría V.

Fuentes que proveen un Mecanismo para que Agua Contaminada entre al Acuífero.

Pozos de Producción, Pozos de Monitoreo y calicatas de exploración, Excavaciones



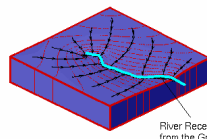
CATEGORIAS DE FUENTES DE CONTAMINACION

Categoría VI.

Fuentes de Origen Natural Cuyo Efecto es Aumentado por la Actividad Humana.

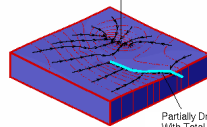
Interacción Agua Superficial y Subterránea, e Intrusión Salina

Natural Groundwater Flow

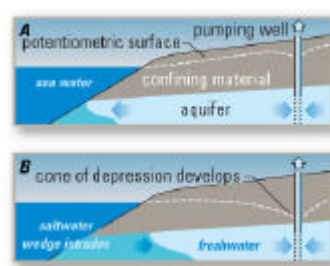


River Receives $Q=100$ Vs from the Groundwater

Groundwater Flow with Pumping Well



Partially Dry River With Total Outflow of 50 Vs



INTRODUCCION

FUENTES DE CONTAMINACION

CATEGORIAS DE FUENTES

CARACTERIZACION DE FUENTES

SITUACION EN EEUU (1994 - 2004)



CI61Q

El estudio de la contaminación de recursos hídricos subterráneos es de suma importancia tanto en lo que se refiere a las posibles fuentes de contaminación como a los procesos de transporte de estos contaminantes en sistemas acuíferos.

Aspectos importantes para distinguir fuentes de contaminación:

- (1) Localización
- (2) Historia
- (3) Tipos de contaminantes



CI61Q

LOCALIZACION

En la práctica, los términos "puntual" o "no puntual" describen la localización de la fuente.

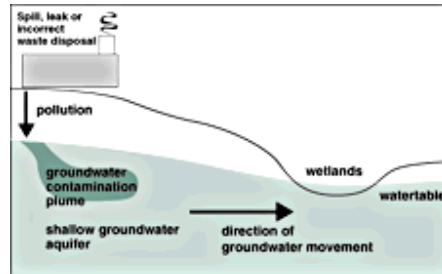
Una fuente puntual es caracterizada por la presencia de una fuente de pequeño tamaño, mientras que una fuente no puntual describe un origen difuso de la contaminación.

Una fuente "puntual" es caracterizada por la presencia de una fuente, pequeña y claramente identificable.

En el caso de fuentes no puntuales o difusas podemos incluir el caso de pesticidas y herbicidas que son aplicados a grandes extensiones de terreno.

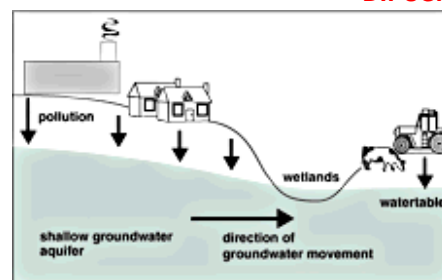


CI61Q



PUNTUAL

DIFUSA



CI61Q

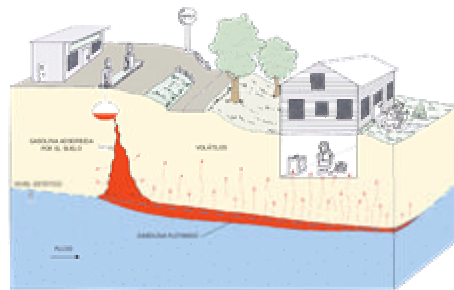
HISTORIA

La historia de la fuente se refiere principalmente a como se ha modificado la tasa de producción de contaminante a través del tiempo.

Un derrame es un ejemplo de fuente no continua, en la cual se produce un elevado nivel de contaminación superficial o subterránea por un corto tiempo.

A diferencia del anterior, un estanque de almacenamiento de combustible que esté vertiendo a través de fracturas o roturas es una fuente continua.

CI61Q



CONTINUO

DERRAME



CI61Q

TIPO DE CONTAMINANTE

Un enfoque que se ha utilizado es concentrarse en un grupo que muy comúnmente se encuentran en efluentes y en fuentes de agua potable, los que producen efectos adversos sobre la salud o que persisten a través de la cadena alimenticia.

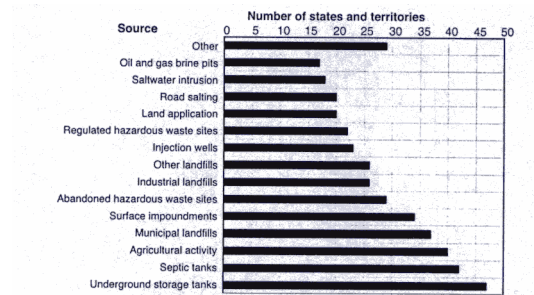


Figure 4.1 Frequency of various contamination sources considered by states and territories of the United States to be major threats to ground water quality.

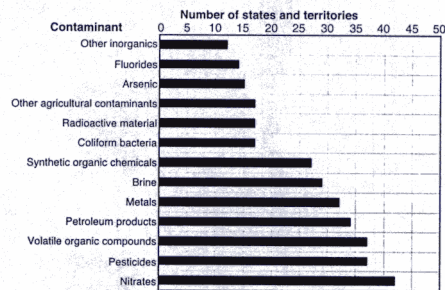


Figure 4.2 Frequency of various contaminants considered by states and territories of the United States to be major threats to ground water quality.



TIPO DE CONTAMINANTE

Otro ejemplo es el uso de listas. Un ejemplo de este tipo de caracterización de contaminantes lo constituye la información publicada por EPA, la que señala un total de 129 compuestos prioritarios, 114 de ellos orgánicos y 15 inorgánicos, principalmente metales.

Los compuestos de origen orgánico se separan comúnmente en cuatro categorías: volátiles, neutrales extractables, ácidos extractables y pesticidas.

CI61Q



TABLE 4.2. Environmental Protection Agency List of Priority Pollutants

Base-Neutral Extractables		
Acenaphthene	Diethyl phthalate	
Acenaphthylene	Dimethyl phthalate	
Anthracene	2,4-Dinitrotoluene	
Benidine	2,6-Dinitrotoluene	
Benzo[a]anthracene	Di-n-octyl phthalate	
Benzo[b]fluoranthene	1,2-Diphenylhydrazine	
Benzo[k]fluoranthene	Fluoranthene	
Benzo[ghi]perylene	Fluorene	
Benzo[a]pyrene	Hexachlorobenzene	
Bis(2-chloroethoxy) methane	Hexachlorobutadiene	
Bis(2-chloroethyl) ether	Hexachlorocyclopentadiene	
Bis(2-chloroisopropyl) ether	Hexachloroethane	
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	Indeno[1,2,3-cd] pyrene	
4-Bromophenyl phenyl ether	Isophorone	
Butyl benzyl phthalate	Naphthalene	
2-Chloronaphthalene	Nitrobenzene	
4-Chlorophenyl phenyl ether	N-Nitrosodimethylamine	
Chrysene	N-Nitrosodiphenylamine	
Dibenzo[a,h] anthracene	N-Nitrosodi-n-propylamine	
Di-n-butyl phthalate	Phenanthrene	
1,2-Dichlorobenzene	Pyrene	
1,3-Dichlorobenzene	2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin	
1,4-Dichlorobenzene	1,2,4-Trichlorobenzene	
3,3'-Dichlorobenzidine		
Pesticides		
Aldrin	Dieldrin	PCB-1016*
α -BHC	α -Endosulfan	PCB-1221*
β -BHC	β -Endosulfan	PCB-1232*
γ -BHC	Endosulfan sulfate	PCB-1242*
δ -BHC	Endrin	PCB-1248*
Chlordane	Endrin aldehyde	PCB-1254*
4,4'-DDD	Heptachlor	PCB-1260*
4,4'-DDE	Heptachlor epoxide	Toxaphene
4,4'-DDT		* not pesticides

Organic compounds are subdivided into four categories according to the method of analysis

CI61Q



TABLE 4.2. Environmental Protection Agency List of Priority Pollutants

Volatiles		
Acrolein	1,1-Dichloroethylene	
Acrylonitrile	trans-1,2-Dichloroethylene	
Benzene	1,2-Dichloropropane	
Bis(chloromethyl) ether	cis-1,3-Dichloropropene	
Bromodichloromethane	trans-1,3-Dichloropropene	
Bromoform	Ethylbenzene	
Bromomethane	Methylene chloride	
Carbon tetrachloride	Styrene	
Chlorobenzene	1,1,2,2-Tetrachloroethane	
Chloroethane	1,1,2,2-Tetrachloroethene	
2-Chloroethyl vinyl ether	Toluene	
Chloroform	1,1,1-Trichloroethane	
Chloromethane	1,1,2-Trichloroethane	
Dibromochloromethane	Trichloroethylene	
Dichlorodifluoromethane	Trichlorofluoromethane	
1,1-Dichloroethane	Vinyl chloride	
1,2-Dichloroethane	Xylene	
Acid Extractables		
p-Chloro-m-cresol	2-Nitrophenol	
2-Chlorophenol	4-Nitrophenol	
2,4-Dichlorophenol	Pentachlorophenol	
2,4-Dimethylphenol	Phenol	
4,6-Dinitro-o-cresol	2,4,6-Trichlorophenol	
2,4-Dinitrophenol	Total phenols	
Inorganics		
Antimony	Chromium	Nickel
Arsenic	Copper	Selenium
Asbestos	Cyanide	Silver
Beryllium	Lead	Thallium
Cadmium	Mercury	Zinc

CI61Q

TIPO DE CONTAMINANTE

Otra manera de agrupar compuestos es a través del tipo de reacción y modo de ocurrencia. En este sentido es común referirse a los siguientes grupos de compuestos:

- (1) materiales radioactivos,
- (2) metales pesados,
- (3) nutrientes,
- (4) otros inorgánicos,
- (5) contaminantes orgánicos, y
- (6) contaminantes de origen microbiológico.



CI61Q

INTRODUCCION
FUENTES DE CONTAMINACION
CATEGORIAS DE FUENTES
CARACTERIZACION DE FUENTES
SITUACION EN EEUU (1994 - 2004)



CI61Q

Otra forma de caracterizar las posibles fuentes de contaminación.

Aspectos importantes para distinguir fuentes de contaminación:

- (1) **ACTIVIDAD**: Potencial o Activa
- (2) **GEOMETRIA**: Lineal, Puntual o Difusa
- (3) **TEMPORALIDAD**: Continuas o Intermitentes
- (4) **ORIGEN**: Antropogénico y Natural



CI61Q

INTRODUCCION
FUENTES DE CONTAMINACION
CATEGORIAS DE FUENTES
CARACTERIZACION DE FUENTES
SITUACION EN EEUU (1994 - 2004)



CI61Q



TABLE 1-1 The 25 Most Frequently Detected Ground Water Contaminants at Hazardous Waste Sites

Rank	Compound	Common Sources
1	Trichloroethylene	Dry cleaning; metal degreasing
2	Lead	Gasoline (prior to 1975); mining; construction material (pipes); manufacturing
3	Tetrachloroethylene	Dry cleaning; metal degreasing
4	Benzene	Gasoline; manufacturing
5	Toluene	Gasoline; manufacturing
6	Chromium	Metal plating
7	Methylene chloride	Degreasing; solvents; paint removal
8	Zinc	Manufacturing; mining
9	1,1,1-Trichloroethane	Metal and plastic cleaning
10	Arsenic	Mining; manufacturing
11	Chloroform	Solvents
12	1,1-Dichloroethane	Degreasing; solvents
13	1,2-Dichloroethane, trans	Transformation product of 1,1,1-trichloroethane
14	Cadmium	Mining; plating
15	Manganese	Manufacturing; mining; occurs in nature as oxide
16	Copper	Manufacturing; mining
17	1,1-Dichloroethene	Manufacturing
18	Vinyl chloride	Plastic and record manufacturing
19	Barium	Manufacturing; energy production
20	1,2-Dichloroethane	Metal degreasing; paint removal
21	Ethylbenzene	Styrene and asphalt manufacturing; gasoline
22	Nickel	Manufacturing; mining
23	Di(2-ethylhexyl)phthalate	Plastics manufacturing
24	Xylenes	Solvents; gasoline
25	Phenol	Wood treating; medicines

NOTE: This ranking was generated by the Agency for Toxic Substances and Disease Registry using ground water data from the National Priorities List of sites to be cleaned up under CERCLA. The ranking is based on the number of sites at which the substance was detected in ground water.

CI61Q



Table 1-2 shows estimates of the number of sites in each of these categories as compiled from three different sources. As the table shows, the total number of sites where ground water may be contaminated is likely to be in the range of 300,000 to 400,000. However, it is extremely impor

TABLE 1-2 Number of Hazardous Waste Sites Where Ground Water May Be Contaminated

Site Category	Source of Estimate		
	EPA, 1993	Russell et al., 1991	Office of Technology Assessment, 1989
CERCLA National Priorities List	2,000	3,000	10,000
RCRA corrective action	1,500-3,500	NA	2,000-5,000
Leaking underground storage tanks	295,000	365,000	300,000-400,000
Department of Defense	7,300 (at 1,800 installations)	7,300	8,139
Department of Energy	4,000 (at 110 installations)	NA	1,700
Other federal facilities	350	NA	1,000
State sites	20,000	30,000	40,000
Total	330,150-332,150	NA	363,000-466,000

CI61Q

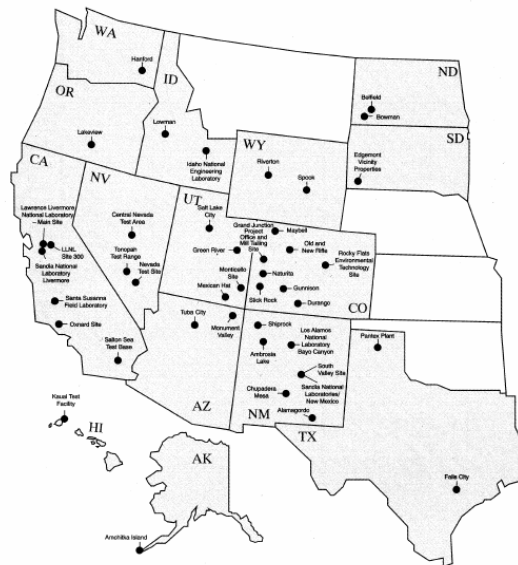


FIGURE 1-2 Contaminated facilities in the DOE complex. SOURCE: DOE, 1997.

CI61Q



CI61Q

TABLE 1-1 Contaminants and Volume of Groundwater, Soil, and Sediment to Be Cleaned up at Major DOE Installations

Installation	Examples of Contaminants of Concern	Estimated Groundwater Volume (m ³)	Estimated Soil and Sediment Volume (m ³)
Savannah River Site	TCE, PCE, aluminum, zinc, arsenic, cadmium, chromium, lithium, mercury, lead, tritium, strontium-90, cesium-137 and 139, cobalt-60	3.1×10^8	8.6×10^6
Hanford Site	Tritium, cobalt, strontium, cesium, technetium, plutonium, uranium, carbon tetrachloride, nitrates, iodine, chromium, mixed waste, transuranic waste	2.0×10^7	6.4×10^7
Oak Ridge Reservation	Asbestos, petroleum hydrocarbons, PCBs, radionuclides (uranium-235 and depleted uranium), mixed waste, strontium-90, cesium-137, cobalt-60, tritium, heavy metals, nitrates, organic solvents, beryllium compounds, mercury, cadmium	4.6×10^6	4.3×10^5
Rocky Flats	Plutonium, americium, uranium, VOCs, PAHs, beryllium (soils); nitrates, metals, solvents (groundwater); radionuclides, metals, VOCs, PCBs (surface water)	1.2×10^6	3.2×10^5
Idaho National Engineering and Environmental Laboratory	Heavy metals, PCBs, acids, asbestos, solvents, low-level radioactive waste, transuranic waste	7.6×10^5	6.5×10^5

NOTE: PAH = polycyclic aromatic hydrocarbon; PCB = polychlorinated biphenyl; PCE = perchloroethylene; TCE = trichloroethylene; VOC = volatile organic compound.

SOURCE: EPA, 1997.



CI61Q

TABLE 1-2 Geologic and Climatologic Variability Across the DOE Weapons Complex

Installation	Climate	Geology and Hydrogeology	Surface Waters	Depth to Groundwater (m)
Savannah River Site	Humid, subtropical	Atlantic Coastal Plain with clayey soils. The strata are deeply dissected by creeks, and most groundwater eventually seeps into and is diluted by the creeks.	Savannah River	~15
Hanford Site	Arid, cool; mild winters and warm summers; average annual rainfall 16 cm (6.3 in.)	Alluvial plain of bedded sediments with sands and gravels. Groundwater flows toward the Columbia River.	Columbia River	~50-100
Oak Ridge Reservation	Humid, typical of the southern Appalachian region; average annual precipitation 138 cm (54.4 in.)	Valley and Ridge province bordering the Cumberland Plateau. Porosity is low due to fractures. High clay content. Shallow water table.	Clinch River	~2
Rocky Flats	Temperate, semiarid, and continental temperatures; average annual rainfall just under 40 cm (15 in.)	Colorado Piedmont Section of the Plains Physiographic Province. Alluvial deposits cover the installation.	Five streams occur on or near the facility	~15
Idaho National Engineering and Environmental Laboratory	Semiarid with sagebrush-steppe characteristics located in a belt of prevailing western winds; average annual rainfall 22 cm (8.5 in.)	Near the northern margin of the Eastern Snake River Plain, a low-lying area of late Tertiary and Quaternary volcanism and sedimentation. Basalt covers three-quarters of its surface.		~50



CI61Q

TABLE 1-3 Metals and Radionuclides in Contaminated Groundwater and Soil at DOE Installations

Rank	Source of Information				
	EPA, 1997 ^a	SCFA ^b	INEEL, 1997 ^c	Riley and Zachara, 1992 ^d	
				Metals	Radionuclides
<i>Groundwater</i>					
1	Uranium	Technetium-99	Tritium	Lead	Tritium
2	Tritium	Chromium(VI)	Uranium	Chromium	Uranium-234, 235, 238
3	Thorium	Uranium	Strontium-90	Arsenic	Strontium-90
4	Lead	Tritium	Technetium	Zinc	Plutonium-238, 239, 240
5	Beryllium	Mercury	Chromium	Copper	Cesium-137
6	Plutonium		Cesium-137	Cadmium	Cobalt-60
7	Radium		Beryllium	Barium	Technetium-99
8	Mercury		Lead	Nickel	Iodine-129
9	Arsenic		Thorium	Mercury	
10	Chromium		Plutonium	Cyanide	
<i>Soil</i>					
1	Uranium	Cesium-137	Cesium-137	Copper	Uranium-234, 235, 238
2	Tritium	Uranium	Strontium-90	Chromium	Plutonium-238, 239, 240
3	Thorium	Strontium-90	Uranium	Zinc	Cesium-137
4	Lead	Plutonium	Plutonium	Mercury	Tritium
5	Beryllium	Radium	Cobalt-60	Arsenic	Strontium-90
6	Plutonium	Chromium(VI)	Americium	Cadmium	Thorium-228, 230, 232
7	Radium	Mercury	Tritium	Lead	Cobalt-60
8	Mercury	Thorium	Thorium	Nickel	Technetium-99
9	Arsenic		Lead	Barium	Iodine-129
10	Chromium		Chromium	Cyanide	

^aThe data set includes 86 DOE installations and other locations where characterization and assessment of groundwater and soil have not been completed. The data set does not make separate rankings of contaminants in groundwater and soil.



CI61Q

TABLE 1-4 Chemicals Present as DNAPLs in Contaminated Groundwater and Soil at DOE Installations

Rank	Source of Information	
	INEEL, 1997 ^a	DOE, 1992 ^b
<i>Groundwater</i>		
1	Trichloroethylene (TCE)	1,1,1-TCA
2	Dichloroethylene (DCE)	1,2-DCE
3	Perchloroethylene (PCE)	PCE
4	Vinyl chloride	1,1-DCA
5	Trichloroethane (TCA)	Chloroform
6	Chloroform	1,1-DCE
7	Dichloroethane	Carbon tetrachloride
8	Carbon tetrachloride	1,2-Dichloromethane
<i>Soil</i>		
1	TCE	TCE
2	Polychlorinated biphenyls	1,1,1-TCA
3	DCE	PCE
4	PCE	Dichloromethane
5		Carbon tetrachloride
6		Chloroform
7		Freon
8		1,2-DCA
9		1,1,2,2-Tetrachloroethane
10		Chlorobenzene

^a This data set is not inclusive across the weapons complex but includes the major waste units identified at about 60 sites in 1995 and 1996. The data were validated in 1997 through review of published references.

^b The data set includes 91 waste sites at 18 DOE facilities.

