

SECCIÓN 2

EVALUACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Hojas de trabajo A, B, C y D

Las hojas de trabajo A, B, C y D están diseñadas para evaluar los residuos y seleccionar las tecnologías de tratamiento más apropiadas. En la sección 3 de este volumen se presenta un ejercicio de aplicación referido al laqueado de utensilios de madera.

HOJA DE TRABAJO A IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES RESIDUOS INDUSTRIALES

La hoja de trabajo A presenta un procedimiento para identificar residuos de una amplia variedad de industrias que afectan potencialmente la salud y el ambiente. Este procedimiento continúa en las hojas de trabajo B, C y D. La figura A-1 diagrama el flujo del procedimiento e indica dónde emplear estas hojas de trabajo. El esquema de clasificación industrial de residuos que se incluye es una adaptación del Documento Técnico Número 93 del Banco Mundial (*The safe disposal of hazardous wastes: The special needs and problems of developing countries*. R. Batstone; J.E. Smith; D. Wilson, eds. 1989).

A.1 PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICAR LOS PRINCIPALES RESIDUOS INDUSTRIALES

El procedimiento descrito emplea los cuadros A-1 al A-13 para identificar rápidamente los principales residuos relacionados con una o varias industrias de interés. Esta información puede emplearse posteriormente en la identificación de contaminantes de interés para fines de vigilancia ambiental, muestreo, caracterización de residuos e identificación de las opciones potenciales de tratamiento.

Los residuos generados por una fuente industrial o grupo específico de fuentes en la misma subcategoría industrial pueden ser sumamente específicos. Se requiere un perfil industrial más detallado que identifique los residuos específicos generados por una fuente industrial como parte de un estudio de factibilidad para instalar una planta común de tratamiento de efluentes (PCTE) o una planta de tratamiento de residuos peligrosos (PTRP). Sin embargo, el procedimiento descrito es un paso preliminar para realizar el estudio de la factibilidad. En caso exista un perfil industrial más detallado, se puede omitir la hoja de trabajo A-1 y completar la hoja de trabajo B-1. La hoja de trabajo B-1 se usa para identificar las opciones potenciales de tratamiento de residuos.

Use la hoja de trabajo A-1 para facilitar el procedimiento descrito a continuación:

- Paso 1. Use el cuadro A-1 para identificar el código de la industria principal a la que pertenece la actividad industrial o comercial. En la parte superior de la hoja de trabajo A-1 ingrese el nombre de la actividad de la empresa y el código. Observe si la subcategoría se refiere al cuadro A-11.
- Paso 2. Ubique la columna encabezada por el código en el cuadro A-2 e identifique los principales *grupos de residuos (I-VI)* relacionados con la industria. La "x" indica los principales grupos de residuos relacionados con el código de la industria y la columna del lado derecho indica el cuadro que contiene una lista más detallada de residuos relacionados con actividades industriales específicas. Para cualquier actividad referida al cuadro A-11 en el paso 1, revise este cuadro para una lista más extensa de los contaminantes relacionados con esta actividad. Coloque una marca en la columna media de la hoja de trabajo A-1 para todos los grupos de residuos identificados en los cuadros A-2 y A-11.
- Paso 3. Identifique los principales residuos en cada grupo relacionado con el código de la industria de los cuadros A-3 a A-10. Una manera rápida de encontrar la lista pertinente es remitirse a la columna del lado derecho y verificar todas las entradas del código de la actividad industrial. Ingrese todos los residuos pertinentes en la parte inferior de la hoja de trabajo A-1.

Una vez identificados los principales residuos de una actividad industrial, se deben clasificar como peligrosos o no peligrosos. Para determinarlos, se puede requerir la ayuda de un especialista en química de materiales de desecho. En este documento, el término "residuo peligroso" se emplea para designar cualquier desecho cuya concentración puede inhibir los procesos de tratamiento biológico en una PCTE. Cualquier sustancia enumerada en los cuadros A-3 a A-13 puede identificarse como peligrosa dependiendo de su concentración.

Para los residuos acuosos no peligrosos, use las hojas de trabajo y procedimiento descritos en la hoja de trabajo para evaluar las opciones de tratamiento para una PCTE. Si los residuos son identificados como peligrosos, complete la hoja de trabajo B-1.

A.2 REFERENCIAS

Batstone, R.; Smith, J.E. Jr.; Wilson, D. 1989. *The safe disposal of hazardous wastes: the special needs and problems of developing countries*. Washington, DC: World Bank. (World Bank Technical Paper No. 93) 3 v.

Department of the Environment. 1977. *Tarry and distillation wastes and other chemical-based residues*. Londres: Her Majesty's Stationery Office. Waste Management Paper No. 13. Anexo 3.

Department of the Environment. 1977. Londres: Her Majesty's Stationery Office. Waste Management Paper No. 14. Anexo 1.

Department of the Environment. 1977. *Halogenated organic wastes*. Londres: Her Majesty's Stationery Office. Waste Management Paper No. 15. Anexo 2.

Shineldecker, C.L. 1992. *Handbook of environmental contaminants*. Chelsea, MI: Lewis Publishers.

Environmental Protection Agency. 1993. *Guide to pollution prevention: municipal pretreatment programs*. EPA/625/R-93/006.

Environmental Protection Agency. 1994. *Handbook ground water and wellhead protection*. EPA/625/R-94/001.

Hoja de trabajo A (p. A-1)

Si se dispone de un perfil industrial más detallado, puede omitir la hoja de trabajo A-1 y completar la hoja de trabajo B-1 para identificar las opciones potenciales de tratamiento de residuos.

Figura A-1. Diagrama de flujo para identificar las características y opciones de tratamiento de residuos industriales
Hoja de trabajo A-1. Grupos de residuos por actividades comerciales e industriales

Actividad industrial: _____ **Código de la industria** (cuadro A-1)

Principales grupos de residuos relacionados con el código de la industria (verificar todos los grupos identificados en el cuadro A-2)

	¿Existen?	Véase los cuadros
I <u>Residuos inorgánicos</u>		
A. Ácidos y álcalis	_____	A-3, A-11*
B. Residuos de cianuro	_____	A-3, A-11
C. Lodos con metales pesados y soluciones	_____	A-3, A-11
D. Residuos de asbesto	_____	A-3, A-11
E. Otros residuos sólidos	_____	A-3, A-1
II <u>Residuos aceitosos</u>	_____	A-4, A-11
III <u>Residuos orgánicos</u>		
A. Solventes halogenados	_____	A-5, A-11
B. Solventes no halogenados	_____	A-5, A-11
C. Residuos de PCB	_____	A-5, A-11
D. Residuos de pintura y resinas	_____	A-5, A-11
E. Residuos de biocidas	_____	A-6, A-11, A-12, A-13
1. Halogenados	_____	A-7, A-11
2. No halogenados	_____	A-8, A-11
IV <u>Residuos orgánicos putrescibles</u>	_____	A-9, A-11
V <u>Residuos altamente peligrosos/bajo peligro</u>	_____	A-9, A-11
VI <u>Residuos misceláneos</u>		
A. Residuos infecciosos	_____	A-10, A-11
B. Residuos de laboratorio	_____	A-10
C. Residuos explosivos	_____	A-10

Principales residuos (identificados en los cuadros A-3 a A-13):

Grupo de residuos	Descripción
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

* Refiérase al cuadro A-11 solo si la industria que está evaluando está identificada en el cuadro A-1.

Cuadro A-1. Grupos industriales

Grupo	Principales subcategorías
A	Agricultura, silvicultura y procesamiento de alimentos <ul style="list-style-type: none">• agricultura, manejo de bosques, pesquería• productos animales y vegetales del sector alimentario (véase el cuadro A-11)• industria de la bebida (véase el cuadro A-11)¹• producción de alimentos para animales
B	Extracción de minerales (no incluye hidrocarburos) <ul style="list-style-type: none">• minería y cantería de minerales no metálicos• minería y cantería de minerales metálicos
C	Energía <ul style="list-style-type: none">• industria del carbón (minería, gas y coque)• industria del petróleo y gas (extracción y refinamiento de productos)• generación de electricidad• distribución de energía
D	Procesamiento de metales <ul style="list-style-type: none">• metalurgia con hierro• metalurgia sin hierro• fundición y operaciones de metalistería (véase el cuadro A-11)¹
E	Procesamiento de productos minerales no metálicos <ul style="list-style-type: none">• materiales de construcción, cerámica y vidrio• refinamiento de la sal• productos de asbesto• productos abrasivos
F	Industrias químicas y relacionadas <ul style="list-style-type: none">• petroquímica• producción de sustancias químicas primarias básicas• producción de tintas, barnices, pinturas y pegamentos (véase el cuadro A-11)¹• industria de perfumes, jabones y detergentes• materiales terminados de caucho y plástico• producción de polvos y explosivos• producción de plaguicidas• formulación de plaguicidas

Cuadro A-1 (continuación)

Grupo	Principales subcategorías
G	Productos metálicos, de ingeniería y vehículos <ul style="list-style-type: none">• fabricación de equipos electrónicos y de comunicación (véase el cuadro A-11)¹• galvanoplastia y tratamiento de metales, incluida la joyería (véase el cuadro A-11)¹• talleres de maquinaria y metalistería, incluido el estampado de metales (véase el cuadro A-11)¹• acabado y pulido de metales (véase el cuadro A-11)¹• fabricación de vehículos, partes de automotores• fabricación de otros equipos de transporte• ingeniería mecánica, electrónica/eléctrica e instrumental
H	Industrias textiles y madereras <ul style="list-style-type: none">• industria textil, de ropa y calzado (véase el cuadro A-11)¹• industria del cuero (véase el cuadro A-11)¹• industria de la madera, productos de madera y muebles• otras industrias de productos no-metálicos
J	Fabricación de papel y productos para la impresión y publicación <ul style="list-style-type: none">• industria del papel y cartón• impresión y publicación (véase el cuadro A-11)¹• fotoprocésamiento (véase el cuadro A-11)¹
K	Servicios médicos, sanitarios y otros servicios de salud <ul style="list-style-type: none">• centros de salud, médicos, hospitalarios y laboratorios• servicios de veterinaria
L	Servicios comerciales y personales <ul style="list-style-type: none">• lavanderías, tintorerías y lavanderías al seco• servicios domésticos• instituciones de cosméticos (peluquerías, salones de belleza)• otros servicios personales

¹El cuadro A-11 presenta una amplia lista de contaminantes relacionados con la actividad industrial.

Fuente: Adaptado de Batstone y otros (1989).

Cuadro A-2. Principales tipos de residuos relacionados con las principales categorías industriales

Grupos de residuos I-IV	Categoría industrial											L	Cuadro
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
I Residuos inorgánicos													
A. Ácidos y álcalis			x	x		x	x	x					A-3
B. Residuos de cianuro		x		x		x			x	x		x	A-3
C. Lodos y soluciones con metales pesados				x	x	x	x	x					A-3
D. Residuos de asbesto					x	x							A-3
E. Otros residuos sólidos			x	x		x							A-3
II Residuos aceitosos	x		x		x	x	x	x				x	A-4
III Residuos orgánicos													
A. Solventes halogenados						x	x	x				x	A-5
B. Solventes no halogenados						x	x	x	x	x			A-5
C. Residuos de bifenilos policlorados (PCB)						x	x						A-5
D. Residuos de pintura y resina						x	x	x	x	x			A-5
E. Residuos de plaguicidas	x				x	x	x	x	x	x		x	A-6, A-12, A-13
F. Otros residuos químicos y orgánicos													
1. Halogenados						x							A-7
2. No halogenados			x	x		x		x					A-8
IV Residuos orgánicos putrescibles	x					x		x					A-9
V Residuos de alto peligro/bajo peligro		x	x			x							A-9
VI Residuos misceláneos													
A. Residuos infecciosos	x											x	A-10
B. Residuos de laboratorio						x						x	A-10
C. Residuos explosivos						x	x						A-10

Fuente: Adaptado de Batstone y otros (1989).

GRUPO DE RESIDUOS I

Cuadro A-3. Principales tipos de residuos inorgánicos y sus fuentes industriales

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
I. RESIDUOS INORGÁNICOS		
A. ÁCIDOS Y ÁLCALIS		
Ácidos		
Ácido sulfúrico	Galvanizado	D
Licores de baños para la limpieza de metales ferrosos	Baño químico para la limpieza del acero	D
Solución ácida	Acabado de metales	
Ácido nítrico	Síntesis orgánica	D
Ácido crómico	Anodizado	F
Abrillantador de acero inoxidable	Acabado de metales	D
Alquitranes ácidos	Procesamiento del coque	D
Reactivos	Fabricación de plaguicidas	C
Solución para el lavado de ácidos	Curtiembres	F
		H
Álcalis		
Agentes de limpieza con álcalis	Desengrase del metal	D
Amoniaco usado en grabados	Procesos electrónicos	G
Baños con agentes cáusticos	Acabado del metal	D
Amoniaco residual	Talleres de fotocopiado, síntesis química	F/L
Lodo con agentes cáusticos	Doble refinamiento del aceite	F
Soda cáustica	Refinamiento del aceite	C
Lodos con amoniaco	Procesamiento del coque/gas	C
Solución blanqueadora (soda cáustica)	Teñido de textiles	H
Baño cáustico	Refinamiento de la plata	G
Soda cáustica	Imprenta	J
B. RESIDUOS DE CIANURO		
Enjuagues no tratados	Galvanoplastia	D
Soluciones empleadas en la galvanoplastia		D
Residuos del tratamiento térmico	Producción del acero	D
Concentrados y no concentrados	Hidrometalurgia	D
	Síntesis química	F
	Fumigación	L
	Minería/procesamiento de metales	B
Productos químicos del fotoprocésamiento	Fotoprocésamiento	J

Cuadro A-3 (continuación)

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
----------	-------------------	---------------------

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
C. LODOS Y SOLUCIONES CON METALES PESADOS		
Lodos que contienen plomo derivados de la fabricación de pilas	Producción de cloro	F
Lodos del proceso de fabricación de pilas de mercurio		
Lodos con salmuera derivados de la fabricación de pilas de mercurio		
Lodos del tratamiento de aguas residuales	Pigmentos del cromo	F
Sólidos dragados de embalses superficiales	Preservación de la madera (1)	H
Lodos del control de emisiones	Fundición del plomo (2)	D
Lodos del proceso de tratamiento	Fundición del plomo (3)	D
Residuos ácidos	Producción de cinc	D
Residuos y lodos de ánodos electrolíticos		
Residuos lixiviados de plantas de cadmio		
Lodos derivados del plomo	Fabricación de baterías	G
Lodos	Galvanoplastia con estaño	D
	Operaciones de galvanizado	
Lodos ácidos	Producción de cobre (2)	D
Lodos derivados del tratamiento de aguas residuales	Láminas de cobre	D
Lodos y baños de limpieza de metales	Producción de cobre	
Lodos con cinc y otros metales pesados	Industria textil	H
Lodos derivados del control de emisiones	Producción de acero con hornos eléctricos (2)	D
Baños de metal	Operaciones de acabado del acero	D
Aguas residuales no tratadas	Fabricación de explosivos	F
Lodos del tratamiento de aguas residuales	Fabricación/procesamiento de explosivos	F
Lodos con metales mixtos	Producción de pinturas	F
	Formulación de tintas	F
Lodos derivados de residuos	Procesamiento fotográfico	F

Cuadro A-3 (continuación)

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
Reactivos	Industria electrónica	G
Soluciones de aguafuerte/aguas de enjuague	Planchas de plástico	G
Residuos de la molienda y pulido	Acabado de metales	D
Residuos derivados del plomo	Fabricación del vidrio	E
Aguas residuales (Cr, Pb, Zn, Cu)	Fabricación de tintes	H
Lodos con cromo	Curtido del cuero	H
Lodos con ánodos (Cu, Sn, Zn, Ni)	Refinamiento de la plata	G
D. RESIDUOS DE ASBESTO		
Polvo de asbesto	Preparación y procesamiento de asbesto	E
Materiales de revestimiento	Plantas de energía, fábricas, fábricas de gas, hospitales y establecimientos educacionales	Varios
Diafragmas de asbesto	Producción de cloro	F
E. OTROS RESIDUOS SÓLIDOS		
Polvo del control de emisiones	Producción de acero con hornos eléctricos (2)	D
Polvos y lodos	Hornos de ferromanganeso	D
	Hornos eléctricos de siliciomanganeso	D
	Hornos eléctricos de ferrocromo	D
	Fundiciones de hierro y acero	D
	Fundiciones de hierro y acero	D
Residuos de arena	Fundiciones de plomo (3)	D
Polvo del control de emisiones	Fundiciones de cobre (3)	D
Escoria de hornos de fundición	Síntesis química	F
Catalizadores	Producción de caucho	F
Residuos sólidos	Fabricación de ácido sulfúrico, síntesis química	F
Residuos con carbón activado	Fuentes misceláneas	Varios
Baterías desechadas	Purificación/procesamiento del coque	C
Óxidos de hierro		

Notas: (1) Empleo de arsenato de cobre cromado
 (2) Primario
 (3) Secundario

GRUPO DE RESIDUOS II

Cuadro A-4. Principales tipos y fuentes industriales de residuos aceitosos

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
II. RESIDUOS ACEITOSOS		
Residuos aceitosos	Talleres de reparación de vehículos, gasolineras	G/L
Aceites de residuos que contienen ácido	Textiles	H
Aceites combustibles contaminados	Tanques y reservorios de aceite	Varios
Condensados de compresora	Compresoras	Varios
Residuos de interceptores de arena	Materiales de construcción	E
	Síntesis química	F
	Interceptores de arena, tanques de almacenamiento	Varios
Lodos aceitosos que contienen cianuro	Tratamiento superficial de metales	G
Lodos aceitosos	Recuperación/purificación de aceites	F
	Exploración del petróleo	C
	Refinamiento del petróleo	C
Lodos sedimentados en tanques		
Separador de lodo		
Recipiente de aceite refinado		
Lodos de intercambiadores de calor		
Flotador de aire disuelto		
Escorrentía pluvial/sedimentos		
Lodos aceitosos	Plantas de coque y gas	C
Lodos cáusticos	Doble refinamiento del aceite	F
Emulsiones de perforación o corte de metales	Metalistería	G
Aceites de residuos vegetales	Producción de aceites vegetales	A

GRUPO DE RESIDUOS III

Cuadro A-5. Principales tipos y fuentes industriales de residuos orgánicos: solventes halogenados, no halogenados, bifenilos policlorados y biocidas

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
III. RESIDUOS ORGÁNICOS		
A. SOLVENTES HALOGENADOS		
1,1,2 – tricloro – 1,2,2, - trifluoretano, percloroetileno	Lavado al seco	L
Percloroetileno, tricloroetileno	Textiles y cuero	H
Tricloroetileno, 1,1,1, - tricloroetano		
1,1,2 – tricloro -, 1,2,2, - trifluoroetano	Limpieza de metales	G
Diclorometano	Renovadores de pintura	L
Cloroformo, tetracloruro de carbono	Limpieza industrial y doméstica	L
Clorobenceno; 1,2 – diclorobenceno	Síntesis química	F
B. SOLVENTES NO HALOGENADOS		
Metiletilcetona, hidrocarburos alifáticos con un "punto especial de ebullición", tolueno	Fabricación de adhesivos	F
Hidrocarburos alifáticos con un "punto especial de ebullición", xileno, tolueno, aguarrás, queroseno, ésteres	Fabricación de vehículos motorizados	G
Aguarrás, queroseno, parafina refinada, "destilados especiales"	Materiales de limpieza y pulidores	F
Queroseno y aguarrás (con cantidades significativamente mayores de solventes de hidrocarburo clorado)	Industrias de ingeniería	G
n-Hexano, etanol, metanol, isopropano	Industrias de extracción (aceites esenciales, etc.)	F
Glicolpropileno, isopropano, diacetina, triacetato de glicerol	Producción de saborizantes de alimentos, esencias, perfumes, cosméticos y artículos de tocador	
Solventes con "punto especial de ebullición", parafina, triacetato de glicerol	Industrias que mantienen grandes flotas de vehículos –incluido el transporte por carretera, tren y aire	G
Aguarrás, queroseno	Industria del cuero	H
Fracciones de petróleo del tipo aguarrás	Preservantes de madera orgánica	H

Cuadro A-5. (continuación)

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
Metanol, esencia metilada industrial, acetona, diversos glicoles, etanol, etil, acetato, ciclohexano	Industria de la fotografía	J
Aguarrás, solventes con un "punto especial de ebullición", queroseno, etanol, isopropanol, acetato etílico, acetatos butílicos, acetona, metiletilcetona, tolueno, xileno, metilisobutilcetona	Industria de la impresión	J
Tolueno, xileno, aguarrás, isobutanol, metiletilcetona, metilisobutilcetona	Construcción y reparación de buques	G
Hidrocarburos del petróleo	Fabricación de llantas	F
C. RESIDUOS DE BIFENILES POLICLORADOS		
Residuos sólidos y líquidos	Producción de Bifeniles policlorados	F
Residuos dieléctricos líquidos/sólidos	Transformadores de residuos	G
Residuos dieléctricos líquidos/sólidos	Capacitadores de residuos	G
Fluidos	Equipo de minería, aeronaves	G
Fluidos que transportan calor	Industria química	F
Residuos plastificados	Procesamiento de productos químicos	F
	Procesamiento de plásticos	F
D. RESIDUOS DE PINTURAS Y RESINAS		
Residuos de lacas	Talleres de laqueado	G/H
Lacas añejas	Talleres de pintura/laqueado (comercio)	G/H
Pinturas añejas	Talleres de pintura/laqueado	G/H
Lodo de lacas		
Lodo de pinturas	Fabricación de recubrimientos	F
Residuos de materiales de recubrimiento	Fabricación de tintas de impresión	F
Residuos de la impresión en tinta	Trabajos de impresión	J
	Procesamiento de plásticos	F
Residuos de resinas	Fabricación de recubrimientos	F
	Fabricación de resinas sintéticas	F
Residuos de aceites de resina	Fabricación de resinas	H
Residuos de pinturas	Producción de pinturas	F

Fuente: Adaptado del Department of the Environment. 1977. Waste Management Paper No. 14, Anexo 1.

(1) Residuos que usualmente contienen mezclas de solventes alifáticos, resinas e incluso metales pesados.

GRUPO DE RESIDUOS III (continuación)

Cuadro A-6. Principales tipos y fuentes industriales de residuos de biocidas¹

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
III. RESIDUOS ORGÁNICOS		
E. RESIDUOS DE PESTICIDAS		
Sedimento de los destiladores	Producción de pesticidas	F
Medio filtrantes	Formuladores de pesticidas	F
Unidades de extracción	envasadores	F
Embalaje	importadores	F
Vestimenta	mayoristas	F
Lodos del tratamiento de efluentes	distribuidores	F
Barridas		
Limpieza de derrames		
Lavados		
Contenedores vacíos	Usuarios agrícolas	A
Productos no usados	Granjeros, ganaderos	A
Derrames	Horticultores	A
	Usuarios industriales	H
	• preservación de la madera	H
	• industria de la pintura	F
	• papel y cartón	J
	• textiles (no incluye lana)	H
	• cable eléctrico	G
	• tabaco	A
	• adhesivos	F
	• industria de la construcción	E
	Usuarios del sector público	
	Usuarios de casas y jardines	L
	Compañías de servicios (control de roedores/aves)	L

¹Para cualquier actividad industrial que genere residuos de plaguicidas, es necesario tener información exacta de los compuestos químicos que se están usando en la industria y luego remitirse a los cuadros A-12 y A-13 para determinar si esos productos químicos son plaguicidas altamente peligrosos o tóxicos.

GRUPO DE RESIDUOS III (continuación)

Cuadro A-7. Principales tipos y fuentes industriales de otros residuos orgánicos halogenados

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
III. RESIDUOS ORGÁNICOS		
F. OTROS RESIDUOS QUÍMICOS ORGÁNICOS		
1. Halogenados		
Dicloruro de propileno mezclado con cal	Óxido de propileno/ glicolpropileno	F
Residuos de la destilación con 1-10% de hidrocarburos clorados (toluenos clorados de la producción de benzaldehídos)	Éteres y aldehídos	F
Residuos con baja concentración de o-diclorobenceno	Isocianatos	F
Ácido fosfórico contaminado con hidrocarburos bromados	Bromuros alquílicos	F
Residuos de alquitrán (p.m. 60°C) con compuestos aromáticos clorados	Tintes e intermedios de tintes	F
Residuos acuosos con bajas concentraciones de mono- y triclorobenceno		
Residuos de alquitrán de 1-2% de halógeno (cloro, flúor, bromo)	Productos farmacéuticos	F
Material filtrado en forma sólida con un contenido aproximado de 0,1% de cloro		
Hidrocarburo clorado mezclado con tolueno y sólidos disueltos (1% de cloro)		
Mezclas contaminadas de solventes clorados (metileno, cloruro, cloroformo, dicloruro de etileno, clorobenceno, con solventes de hidrocarburo no halogenados)		
Residuos de solventes que contienen pequeñas cantidades de cloruro de metileno y cloruro de alquil		
Efluentes con 0,1% de xilenos clorados y alcoholes de terpeno		
Sedimentos de destiladores que contienen hasta 2% de películas y descartables		

Cuadro A-7. (continuación)

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
Efluentes que contienen cerca de 40 ppm de hidrocarburos clorados con trazas de compuestos bromados y yodados	Plásticos y caucho	F
Recortes, películas y descartables de PVC (con o sin aditivos): residuos de maquinarias de productos PTFE/grafito		
Gránulos de PVC derivados de operaciones de procesamiento		
Lodos con caucho clorado y caucho con tetracloruro de carbono		
Residuos que contienen hidrocarburos clorados (10% de cloro)	Productos intermedios de tintes	F
Residuos de epíclorhidrina	Resina epóxica y fenólica	F
Solventes de hidrocarburos clorados contaminados (metileno, cloro, cloroformo)	Productos (requieren de mayor investigación)	F
Alquitrán de dicloruro de etileno	Producción de clorocarbono	F

Fuente: Her Majesty's Stationery Office. 1979. Halogenated organic wastes, Waste Management Paper No. 15. Anexo 2.

GRUPO DE RESIDUOS III (continuación)

Cuadro A-8. Principales tipos y fuentes industriales de residuos orgánicos no-halogenados

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
III. RESIDUOS ORGÁNICOS		
F. OTROS RESIDUOS QUÍMICOS ORGÁNICOS		
2. No halogenados		
Solución acuosa de soda cáustica	Operaciones de refinamiento del aceite	C
Residuos de la destilación que contienen 45% de hidrocarburos aromáticos (desde xileno hasta metilnaftaleno)	Refinamiento del petróleo	C
Sedimentos de los destiladores que contienen octilfenolnaftaleno y polisobutileno		
Alquitranes que contienen metilmetalcrilato polimerizado, fenoles alquílicos, valeramida de cianuro y productos de condensación, triamina de hexametileno	Producción de compuestos orgánicos pesados	F
Material filtrado sólido que contiene 8% de naftenatos, 4% de ácido nafténicos y óxidos metálicos	Fabricación de productos químicos	F
Sedimentos de destiladores que contienen: difenilamina, aminas aromáticas, compuestos inorgánicos, 2-naftol y productos de la oxidación, productos de la descomposición del fenol y de la amina	Producción de tintes e intermedios	F
Residuos de destilación que contienen fenilaminas, fenilaminas nitradas y éteres feniles	Producción de productos químicos intermedios	F
Residuos de glicol y de éter de glicol mezclados con lodo de hidrocarburos, plástico en polvo y agua	Producción de productos petroquímicos	F
Residuo líquido de ciclopentadieno	Industria petroquímica	F
Residuos de dimetilformamida	Industria farmacéutica	F
Líquido que contiene 70% de tolueno, 6% de clorofenol + 20% de subproductos		
Residuos de destilación-hidrocarburos de terpeno y estabilizadores de ácidos débiles	Fabricación de productos químicos puros	F

Cuadro A-8. (continuación)

Residuos	Industria/proceso	Industria/ proceso
Residuos de procesos de hidroquinona, que contienen 0,2% de alquitrán insoluble y 35% de alquitrán soluble		
Residuos de caprolactama	Fabricación de fibras	F
Sedimentos de destiladores que contienen agentes cáusticos, alcoholes	Fabricación de aditivos para aceite lubricante	F
Lodo de alquitrán (1% de alquitrán de hulla + agua)	Fundición del aluminio	D
Formaldehídos fenólicos y resinas epóxicas, mezclas y solventes de barnices	Fabricación de plásticos	F
Residuos de polimerización del propileno; granos de etileno polimerizado	Fabricación de plásticos	F
Emulsiones de alquitrán	Fabricación de gas (carbonización del carbón)	C
Lavado con alquitrán ácido de fracción BXT	Fabricación de gas (carbonización del carbón)	C
Alquitranes de sedimentos de destilación	Producción de fenol	F
Residuos de la centrifugación y destilación	Producción de disocianato de tolueno	F
Formaldehídos	Curtido del cuero	H

Fuente: Department of the Environment. 1977. Tarry and distillation wastes and other chemical-based residues. Waste Management Paper No. 13. Anexo 3.

GRUPOS DE RESIDUOS IV Y V

Cuadro A-9. Principales tipos y fuentes industriales de residuos orgánicos putrescibles y residuos en grandes volúmenes y de baja peligrosidad

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
IV. RESIDUOS ORGÁNICOS PUTRESCIBLES		
Aceites vegetales dañados	Producción de aceites comestibles	A
	Producción de grasas comestibles	A
Residuos esterificados del aceite	Producción de fármacos	F
	Producción de artículos de higiene personal	F
Residuos de mataderos; incluidos sangre, vísceras e intestinos	Mataderos, procesamiento de la carne empaque de la carne procesamiento del pescado	A A A
Aves	Procesamiento de aves y plumas	A
Residuos del pescado	Procesamiento del pescado	A
Cadáveres de animales	Crianza de animales	A
	Industria farmacéutica	F
Goma de cueros	Industria del curtido y de pieles	H
Carnazas		
Residuos		
Lodos con cal		
Lodos de curtiembres		
Lodos y residuos	Procesamiento de vísceras	A
Residuos de la ebullición	Procesamiento de productos animales	A
V. GRANDES VOLÚMENES/BAJA PELIGROSIDAD		
Lodos de la perforación	Extracción de petróleo/gas	C
Ceniza muy fina	Generación de energía	C
Residuos de minas	Extracción de minerales	B
Suelo contaminado	Misceláneos	Varios
Lodos de la desulfuración del gas	Generación de energía	C
Lodos con fósforo y yeso	Producción de fertilizantes	F
Residuos de dióxido de titanio	Producción de pigmentos	F

GRUPO DE RESIDUOS IV

Cuadro A-10. Principales tipos y fuentes industriales de residuos misceláneos

Residuos	Industria/proceso	Industria/ grupo
VI RESIDUOS MISCELÁNEOS		
A. RESIDUOS INFECCIOSOS		
Heces especiales	Crianza de ganado	A
Residuos contagiosos	Cuarentena veterinaria	K
	Institutos de salud humana y animal	K
Tejido animal y humano	Laboratorios microbiológicos	K
	Hospitales de enfermedades contagiosas	K
	Industrias microbiológicas	K
	Instituciones microbiológicas	K
Residuos de vendajes	Hospitales	K
Telas descartadas	Instituciones terapéuticas	K
Residuos descartables de hospitales		
B. RESIDUOS DE LABORATORIO		
Residuos de fármacos	Farmacias	L
Residuos químicos de laboratorios	Fabricación de fármacos/productos químicos puros	F
	Institutos de investigación	Varios
	Laboratorios de fábricas	Varios
C. RESIDUOS EXPLOSIVOS		
Residuos de municiones	Armamentos	F/G
TNT, azidas	Fabricación de explosivos	F
Residuos químicos orgánicos que contienen nitrato	Síntesis química	F

Cuadro A-11. Características seleccionadas de residuos/procesos de PYME

Sector/fuente	Materia prima/proceso/residuo
Tratamiento de metales	
Endurecimiento	Metales, aceites; cromo, cianuros, carbonato de sodio, nitrato de sodio
Cobre	Limpieza: ácidos, pulidores; fluoruro de hidrógeno. Grabado: ácido pícrico. Refinamiento: arsénico, cobre, creosita, fluoruros, selenio, telurio, xantate
Desengrasadores	Álcalis, queroseno, cetonas, solventes; acetona, tetracloruro de carbono, cloroformo, éter dicloroetílico, dioxano, cloruro de metileno, dicloruro de propileno, tetracloroetano, tolueno, tricloroetano, xilenos
Galvanoplastia y tratamiento del metal	Ácidos bórico, clorhídrico, fluorhídrico y sulfúrico; hidróxido de sodio y potasio; ácido crómico, cianuro de sodio y de hidrógeno; sales metálicas; solventes agotados. Anodizado: cromo, níquel. Bronceado: lacas, resinas, aguarrás, barnices; antimonio, arsénico, arsina, cianuros, ácido clorhídrico, mercurio, fósforo, hidróxido de sodio, dióxido de sulfuro; acetona, amoniaco, compuestos de amonio, acetato de amílico, benceno, benzol, alcohol metílico. Galvanizado: amoniaco, arsina, cinc, cloruro de hidrógeno. Galvanizado del acero: fluoruro de hidrógeno, cinc. Soluciones de baños agotados: bronce (cianuro de cobre, cianuro de cinc, cianuro de sodio, carbonato de sodio, amoniaco, sal de Rochelle); cianuro de cadmio (cianuro de cadmio, óxido de cadmio, cianuro de sodio, hidróxido de sodio); fluoroborato de cadmio (fluoroborato de cadmio, ácido fluorobórico, ácido bórico, fluoroborato de amonio, regaliz); cianuro de cobre (cianuro de cobre, cianuro de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de sodio, sal de Rochelle); fluoroborato de cobre (fluoroborato de cobre, ácido fluorobórico); sulfato ácido de cobre (sulfato de cobre, ácido sulfúrico; cobre (pirosulfato de cobre, hidróxido de potasio pirofosfatado, amoniaco); cianuro de cobre modificado con fluoruro (cianuro de cobre, cianuro de potasio, fluoruro de potasio); cromo (ácido crómico, ácido sulfúrico), cromo con fluoruro catalizado (ácido de cromo, sulfato, fluoruro).
Joyería/talleres de enchapado del metal	Cianuro de sodio e hidrógeno, sales metálicas; soluciones alcalinas (KOH, NaOH), ácidos (cromo, clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, fosfórico, sulfúrico); solventes agotados; aguas residuales/lodos contaminados con metales pesados. Joyería (Shineldecker, 1992): arsina, cadmio, cromatos, cromo, cianuros, cianuro de hidrógeno, mercurio, níquel, nitrógeno, platino, plata, ácido sulfúrico, talio.
Acabado del metal	Residuos de pintura; ácidos; metales pesados; lodos con metales; residuos del enchapado; aceites; solventes; residuos explosivos
Maquinaria y talleres de metalistería	Solventes; metales, sustancias orgánicas misceláneas; lodos; virutas de metales con aceite; aceites lubricantes y solubles (etanolaminas, BPC, PAH); desengrasadores (TCE); fluidos marcadores metal; agentes desmoldadores. Fabricación de partes de metal: aceites solubles, grasas, combustible derivado del petróleo, residuos aceitosos; aluminio, cadmio, cromo, cianuros, plomo, níquel, BPC; benceno, diclorobenceno, etilbenceno, percloroetano, tolueno, tricloroetano, tricloroetano, xilenos. Metalistería y maquinaria: antioxidantes, fluidos solubles (acuoso), aceites solubles, aceites insolubles, lubricantes, inhibidores de la corrosión, solventes; cromatos, cinc; cloroformo, dicloroetano, cloruro de metileno, tricloroetano, cloruro de vinilo.

Cuadro A-11. (continuación)

Sector/fuente	Materia prima/proceso/residuo
Moldeado y fundición de metales/fundiciones	Residuos de pintura; ácidos; metales pesados; lodos con metales; residuos del enchapado; aceites; solventes; residuos explosivos. Refinamiento y fundición del acero: cianamida de calcio, cloro, sulfato férrico, sulfato ferroso, fluoruros, metales pesados, fluoruro de hidrógeno, ácido sulfúrico, telurio. Forjado del metal: lubricantes, pinturas, solventes, residuos de aceites; arsénico, cadmio, cromo, cobre, cianuros, silicato de etilo, plomo, níquel, fenoles, fósforo, BPC, PAH, cinc; benceno, cloroformo, ciclohexano, etilbenceno, hexano, cloruro de metileno, naftaleno, percloroetano, tolueno, tricloroetano, cloruro de vinilo, xilenos.
Pulido del metal	Tipos generales de metales asociados: abrasivos, ácidos, álcalis, ceras cloradas, desengrasadores, detergentes, gasolina, limpiadores de metal, nafta, aceites, jabones, aceites solubles, solventes, residuos de aceites. Materias primas, productos intermedios/finales y residuos: aluminio, arsénico, asbesto, cadmio, cloruros, ácido crómico, cromo, cobre, cianuros, glicoletileno, acero, plomo, níquel, nitratos, BPC, sulfato, ácido sulfúrico, trietanolamina, cinc. Otros materiales asociados: amoníaco, benceno, cloroformo, etilbenceno, hexano, percloroetano, tolueno, tricloroetano, xilenos.
Estampado del metal	Tipos generales de materiales asociados: aceites, pinturas, combustibles derivados del petróleo, solventes, residuos de aceites. Materias primas, productos intermedios/finales y productos de residuos: arsénico, cadmio, cromo, cobre, cianuros, plomo, níquel, fenoles, fósforo, BPC, cinc. Otros materiales asociados: benceno, cloroformo, ciclohexano, etilbenceno, hexano, cloruro de metileno, naftaleno, percloroetano, tolueno, tricloroetano, cloruro de vinilo, xilenos.
Electrónica/ comunicaciones	
Equipo de comunicaciones	Residuos de ácidos nítrico, clorhídrico y sulfúrico, lodos con metales pesados; cobre contaminado (persulfato de amonio), aceite soluble y desengrasadores solventes (tricloroetano, freón, CFC-11 o tricloroetileno); residuos de aceites; soldador corrosivo; lodo de pinturas; soluciones del enchapado.
Equipo eléctrico/ electrónico	Cianuros; lodos de metal; agentes cáusticos (ácido crómico); solventes; aceites; álcalis; ácidos; pinturas y lodos de pinturas, lodos de fluoruro de calcio, cloruro de metileno, percloroetileno; tricloroetano; acetona; metanol; tolueno; BPC. Compuestos eléctricos: boro, disulfuro de carbón, naftalenos clorados, clorodifenil, grafito, plomo, mercurio, molibdeno, nitrosodimetilamina, phtalatos, platino, BPC, talio, estaño; percloroetano de benceno, tricloroetano. Fabricación de circuitos: <i>agentes de limpieza/preparación de la superficie:</i> metales, fluoruro, ácidos, solventes halogenados, álcali. <i>Aplicación de catalizadores/enchapado sin electrodos:</i> óxido estánnico, paladio, metales complejos, agentes queladores. <i>Impresión de planchas:</i> polímeros de vinilo, hidrocarburos clorados, solventes orgánicos, álcali; <i>galvanoplastia:</i> níquel de cobre, estaño, plomo, fluoruro de oro, cianuro, sulfato. <i>Grabado:</i> amoníaco, cromo, cobre, acero, ácidos.

Cuadro A-11. (continuación)

Sector/fuente	Materia prima/proceso/residuo
Procesamiento de alimentos	
Procesamiento de alimentos	Shinelder (1992): blanqueadores, salmuera, tintes, enzimas, combustibles derivados del petróleo, resinas, sales, ceras; acetaldehído, bacterias, dicloroetano, hierro ferroso, cal, ácido sulfúrico, cloruro de hidrógeno. EPA (1994): cloro; amoniaco; glicoletileno; níquel; formaldehído; bromoetano; pesticidas y herbicidas. Procesamiento de la col: dibromometano. Procesamiento de cítricos: difenil. Desinfectantes: disulfuro de tetrametiltiuram.
Bebidas	Ácido fosfórico. Cervecerías: arsénico, alcohol etílico, fluoruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre. Enlatados: bacterias, salmuera, metales, preservantes, soldaduras, solventes; aluminio, plomo, estaño.
Frutas y vegetales enlatados y preservados	Bacterias, salmuera, metales, preservantes, soldadores, solventes; aluminio, plomo, estaño
Procesamiento de productos lácteos	Bencidina
Procesamiento de grasas comestibles	Nafta, acroleína, cloruro de etilo, sulfuro de hidrógeno, níquel, PAH, hidróxido de sodio, disulfuro de tetrametiltiuram. Otros materiales asociados: acetonitrilo, alcohol amílico, benceno, disulfuro de carbono, tetracloruro de carbono, ciclohexano, ciclohexeno, ciclopropano, dibromometano, dicloroetano, éter dicloroetílico, dicloroetano, dioxano, éter etílico, formatos, cetonas, metilciclohexano, cloruro de metileno, n-hexano, nitroparafinas, dicloruro de propileno, tetracloroetano, tricloroetano.
Procesamiento de aceites comestibles	Acetatos, nafta, acroleína, cal clorada, cromo, cloruro de etilo, manganeso, níquel, PAH, cloruro de sulfuro, ácido sulfúrico, disulfuro de tetrametiltiuram. Otros materiales asociados: véase el procesamiento de grasas comestibles, más: éterglicoletileno, etilenediamina, cloruro de hidrógeno.
Molinos de granos	Almacenamiento y tratamiento: nitrato de amonio, tetracloruro de carbono, bencenos clorados, óxido de etileno, formatos, mercurio, fosforo de nitrógeno, urea, disulfuro de carbono.
Productos derivados de la carne y desengrasado	Corte de carnes: salmuera, detergentes, enzimas; bacteria; residuo con gran carga orgánica (carne, grasa, etc.)
Procesamiento del azúcar	Fermentación de la remolacha: alcohol amílico. Refinamiento del azúcar: ácidos, óxido de calcio, sulfuro de hidrógeno, ácido fosfórico, cloro, sulfuro, dióxido de sulfuro

Cuadro A-11. (continuación)

Sector/fuente	Materia prima/proceso/residuo
Otras industrias de pequeña escala	
Procesamiento de textiles	<p>Cadmio, tintes (véase también la lista separada en este cuadro), ácidos minerales.</p> <p>Fabricación de alfombras: blanqueadores, fungicidas, pegamentos, insecticidas, lubricantes, solventes: tintes de alizarina (anhídrido tánico), tintes de anilina (compuestos de anilina, arsénico, nitrobenzoceno), bacilo del ántrax, boro, cloro.</p> <p>Fabricación de telas: ácidos, álcalis, detergentes, tintes, inhibidores del fuego (fosfatos de ticsililo), fungicidas, pegamentos, jabones; sales de aluminio, arsénico, formaldehído, dicianidamida, sales de potasio, hidróxido de sodio, metasilicato de sodio, sales de sodio, silicato de sodio, formaldehído úrico, cinc, sales de calcio.</p> <p>Teñido de textiles: efluentes blanqueadores (tintes, agentes queladores y suavizantes, polifosfato), clorhidrina de etileno. Acabados de textiles: agentes resistentes al fuego, agentes resistentes al agua, acrilonitrilo. Impresión de textiles: tintes, pigmentos; clorhidrina de etileno; cloruro de calcio, disulfuro de carbono, cerio, cloro, clorodifenilos, cromo, diclorobencidina, dicloroetano, etanolaminas, glicoletileno, éterglicoletileno, etilenimina, formaldehído, ácido fórmico, hexametenotetramina, hidracina y derivados, isocianatos, alcohol de isopropil, cetonas, magnesio, mercurio, alcohol metílico, n-butilamina, naftaleno, nitrógeno de níquel, ácido oxálico, quinina, selenio, cloruro de sulfuro, ácido sulfúrico, tricloroetano, vanadio, cinc, circonio. Textiles: ácido acético, anhídrido acético, acroleína, arsénico, benceno, boro, alcohol amílico, éter dicloroetílico, cloruro de hidrógeno, nitrosodimetilamina. Textiles sintéticos: acrílicos, vinilo, resinas, solventes; hidrazina y derivados, xilenos.</p>
Tintes	<p>Tipos generales de materiales asociados: acetatos, ácidos, álcalis, blanqueadores, productos de alquitrán de hulla, detergentes, pegamentos, solventes. Materias primas, productos intermedios/finales y residuos: ácido acético, anhídrido acético, acridina, alfa/beta-naftilamina, difenilamino, amoniaco, anilina, antimonio, arsénico, arsina, benceno, cloruro de bencilo, boro, bromina, disulfuro de carbón, cloro, clorodifenilos, cromatos, cobre, cresol, cianuros, dextrinas, sulfato dimetílico, dimetilaminoazobenceno, dinitro-o-cresol, dinitrobenceno, dinitrofenol, dinitrotolueno, etanolamina, formaldehído, ácido fórmico, furfural, fluoruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, hidroquinonas, acero, alcohol isopropílico, plomo, manganeso, mercaptanos, mercurio, alcohol n-butílico, naftaleno n-butilamina, níquel, nitrobenzoceno, nitrógeno, nitrofenol, ácido oxálico, fenoles, fosfatos, fósforo, anhídrido tánico, ácido pícrico, clorato de potasio, piridina, quinona, selenio, silicatos, plata, hidróxido de sodio, cloruro de sulfuro, ácido sulfúrico, talio, estaño, titanio, tricloroetano, vanadio, cinc. Materiales asociados: benceno, sales de calcio, bencenos clorados, dimetilformamida, dioceno, alcohol etílico, éter etílico, clorhidrato de etileno, eterglicoletileno, cloruro de hidrógeno, cetonas, alcohol metílico, nitroparafinas, piridina, xilenos.</p>

Cuadro A-11. (continuación)

Sector/fuente	Materia prima/proceso/residuo
Curtido del cuero	<p>Solventes, cromo. Procesamiento del cuero: amoniaco, anilino, antimonio, arsénico, cloruro de bencilo, boro, cadmio, óxido de calcio, cromo, cianuros, formaldehído, ácido fórmico, plomo, mercurio, molibdeno, butilamin-butilamina, naftaleno, fenoles, ácido pícrico, dióxido de sulfuro, xilenos, cinc, benceno, benceno etílico, cloruro de hidrógeno, alcohol metílico, cloruro de metileno, percloroetano, tolueno.</p> <p>Curtido: salmuera, tintes, aceites, extractos pancreáticos, combustibles derivados del petróleo; solventes; alumbre, arsénico, bacteria, cloruro de bencilo, boro, cadmio, óxido de calcio, cromo, cianuros, dimetilamina, formaldehído, sulfuro de hidrógeno, plomo, mercurio, molibdeno, n-butilamina, naftaleno, ácido oxálico, fenoles, quinona, hidróxido de sodio, sulfuro de sodio, dióxido de azufre, ácido sulfúrico, tanino, cinc, ácido acético, compuestos de amonia, benceno, benzol, hidrosulfuro de calcio, benceno etílico, cloruro de hidrógeno, percloroetano, tolueno, xilenos.</p>
<p>Procesamiento De fotos</p> <p>Tintas</p>	<p>Cianuros; solventes; ácidos; lodos biológicos; lodos con plata; lodos misceláneos.</p> <p>Productos químicos fotográficos: ácidos, álcalis, aguarrás; acetaldehído, ácido acético, alcohol amílico, anilina, cloruro de bencilo, boro, cadmio, cromatos, cromo, dibromoetano, dicloroetano, dinitrofenol, hidracina y derivados, hidroquinonas, mercurio, metilaminoetanol, sulfato de para-aminofenol metílico, n-butilamina, para-aminofenol, paraformaldehído, parafenilenodiaminas, ácido pícrico, ácidos pirogálicos, selenio, hidróxido de sodio, hipoclorito de sodio, sulfuro de sodio, uranio, vanadio.</p> <p>Tipos generales de materiales asociados: antioxidantes, detergentes, resinas, jabones, solventes, aguarrás, barnices. Materias primas, productos intermedios/finales y residuos: anilina, arsénico, cerio, cromo, cobalto, diclorobencidina, glicoletileno, formaldehído, manganeso, mercurio, alcohol etílico, molibdeno, níquel, ácido oxálico, platino, hidróxido de potasio, plata, estaño.</p> <p>Materiales asociados: benceno, tetracloruro de carbono, alcohol etílico, éterglicoletileno, cetonas, xilenos.</p>
Imprentas, editoras e industrias afines	<p>EPA (1994): solventes; tintas (véase también la lista separada); tintes (véase también la lista separada); aceites; compuestos orgánicos misceláneos (formalina, alcohol metílico); compuestos químicos fotográficos (véase también la lista separada).</p> <p>Litografía: tintas, solventes, aguarrás, barnices; anilina, cromo, cobre, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, ácido fosfórico, hidróxido de potasio. Impresión (Shineldecker, 1992): álcalis, pegamentos, gomas, metales pesados, tintas, lubricantes, hidrocarburos del petróleo, resinas, solventes, barnices; tintes anilinos, antimonio, arsénico, boro, cromatos, cromo, cobre, hidroquinones, plomo, cloruro de metileno, molibdeno, ácido oxálico, ácido pícrico, hidróxido de potasio, plata, tolueno, vanadio, xilenos, cinc; benceno, dioxano, éterglicoletileno, tetracloroetano, tolueno, tricloroetano.</p>

Fuente: Shineldecker (1992), EPA (1993, 1994).

Cuadro A-12. Ingredientes activos de plaguicidas altamente peligrosos (U.S. RCRA P List)¹

Ingredientes activos	ID¹	Ingredientes activos	ID¹
Acroleína	P003	Paratión	P089
Aldicarb	P070	Acetato de fenilmercurio	P092
Aldrín	P004	Forato	P094
Alcohol alílico	P005	Cianuro de potasio	P098
Fosfato de aluminio	P006	Alcohol propargílico	P102
4-aminopiridina	P008	Azida de sodio	P105
Ácido arsénico	P010	Cianuro de sodio	P106
Pentóxido de arsénico	P011	Fluoroacetato de sodio	P058
Trióxido de arsénico	P012	Estricnina y sales	P108
Cianuro de calcio	P021	O,O,O,O-ditiopirofosfato de tetraetil (Sulfotepp)	P109
Disulfuro de carbono	P022		
p-cloroanilina	P024	Pirofosfato de tetraetil	P111
Cianuros (sales solubles de cianuro)	P030	Sulfato de talio	P115
Cianógeno	P031	Tiofanox	P045
2-ciclohexil-4,6-dinitrofenol	P034	Toxafeno	P123
Dieldrina	P037	Warfarina	P001
O,O-dietil S-[2-(etiltio)etil]	P039	Fosfato de cinc	P122
Fosforoditioato (disulfotón, Disystón)		Pentaclorofenol	F027
O,O dietil O-fosforotioato de pirazinil (Zinofos)	P040	2,3,4,6-tetraclorofenol	F027
Dimetoato	P044	2,4,5-triclorofenol	F027
O,O-dimetil O-p-fosforotioato de Nitrofenil (Metil paratión)	P071	2,4,6-triclorofenol	F027
4,6-dinitro-o-cresol y sales	P047	2,4,5-ácido triclorofenoxiacético (2,4,5-T)	F027
4,6-dinitro-2-ciclohexilfenol	P034	2,4,5-ácido triclorofenoxipropiónico (Silvex)	F027
		Formulaciones clorofenólicas de la preservación de la madera	F032
2,4-dinitrofenol	P048	Preservación	
Dinoseb	P020	Formulaciones de creosotas para la preservación de la madera	F034
Endosulfán	P050	Preservación	
Endotal	P088	Preservantes inorgánicos que contienen arsénico o cromo	F035
Endrín	P051		
Famfur	F097		
Fluoroacetamida	P057		
Heptacloro	P059		
Ácido hidrociánico	P063		
Cianuro de hidrógeno	P063		
Metomil	P066		
Alfa-naftiltiourea (ANTU)	P072		
Nicotina y sales	P075		
Octametilpirofosforamida (OMPA, Schradan)	P085		

¹Número de identificación de la EPA para los residuos peligrosos.

Cuadro A-13. Ingredientes activos de plaguicidas tóxicos

Ingredientes activos	ID ¹	Ingredientes activos	ID ¹
Acetona	U002	Dicloruro de etileno	U077
Acilonitrilo	U009	Óxido de etileno	U115
Amitrole	U011	Formaldehído	U122
Benceno	U019	Furfural	U125
Bis(2-etilhexil)ftalato	U028	Hexaclorobenceno	U127
Ácido cacodílico	U136	Hexaclorociclopentadieno	U130
Tetracloruro de carbono	U211	Ácido hidrofúrico	U134
Cloral (hidrato)	U034	Alcohol isobutílico	U140
Clordano, técnico	U036	Acetato de plomo	U144
Clorobenceno	U037	Lindano	U129
4-cloro-m-cresol	U039	Hidrazido maleico	U148
Cloroformo	U044	Mercurio	U151
o-Clorofenol	U048	Alcohol metílico (metanol)	U154
4-cloro-o-hidrocloruro de toluidina	U049	Bromuro metílico	U029
Creosota	U051	Cloruro de metil	U045
Ácido cresílico (cresoles)	U052	2,2'-metileno bis (3,4,6-triclorofenol)	
Ciclohexano	U056	(hexaclorofeno)	U132
Ciclohexanano	U057	Cloruro de metileno	U080
Decaclorooctahidro-1,3,4-meteno--2H, 5H-ciclobuta[c,d]-pentalen-2 one (kepone, clordecone)	142	Metiltilcetona	U159
1,2,-dibromo-3-cloropropano (DBCP)	U066	4-metil-2-pentanona (metilisobutilcetona)	U161
Phthalato de dibutil	U069	Naftaleno	U165
S-2,3-(dicloroalil diisopropiltiocarbamato) (diallate, Avadex)	U062	Nitrobenceno	U169
o-diclorobenceno	U070	p-nitrofenol	U170
p-diclorobenceno	U072	Pentacloroetano	U184
Diclorodifluorometano (freón 12)	U075	Pentacloronitrobenceno (PCNB)	U185
3,5-dicloro-N-(1,1-dimetil-2-propinil)bensamida (pronamida, Kerb)	U192	Fenol	U188
Dicloro difenil dicloroetano (DDD)	U060	Ácido fosforiditioico, O,O dietil, metiléster	U087
Dicloro difenil tricloroetano (DDT)	U061	Dicloruro de propileno	U083
Dicloroetileter	U025	Piridina	U196
2,4-diclorofenoxiacético, sales y ésteres (2,4-D)	U240	Resorcinol	U201
1,2-dicloropropano	U083	Safrol	U203
1,3-dicloropropano (telona)	U084	Disulfuro de selenio	U205
Phthalato de dimetilo	U102	1,2,4,5-tetraclorobenceno	U207
Epiclorohidrina (1-cloro-2,3-epoxipropano)	U041	1,1,2,2-tetracloroetano	U209
Acetato de etilo	U112	Tiram	U244
Etil 4,4'-diclorobencilato (clorobencilato)	U038	Tolueno	U220
Dibromuro de etileno (DBE)	U067	1,1,1-tricloroetano	U226
Lista de ingredientes inactivos ⁽²⁾	ID ¹	Tricloroetileno	U228
Acetofenona	U004	Tricloromonofluorometano (freón 11)	U121
Ácido acrílico	U008	Xileno	U239
Anilina	U012	Lista de ingredientes inactivos ⁽²⁾	ID ¹
Phthalato de dietilo	U088	Anhídrido maleico	U147
Phthalato de dimetilo	U102	Metacrilato de metil	U162
1,4-dioxano	U108	Sacarina y sales	U202
Ácido fórmico	U123	Tiourea	U219
		1,1,2-tricloroetano	U227
		Cloruro de vinilo	U043

¹Número de identificación de los residuos peligrosos de la EPA.

²Sólo los ítemes de la lista de ingredientes inactivos que tampoco están incluidos en la lista de ingredientes activos.

HOJA DE TRABAJO B

OPCIONES POTENCIALES DE TRATAMIENTO PARA RESIDUOS PELIGROSOS

Esta hoja de trabajo es una continuación del procedimiento iniciado en la hoja de trabajo A. Esta etapa del procedimiento presenta opciones potenciales de tratamiento para residuos peligrosos identificados en la hoja de trabajo A-1. La figura A-1 brinda una visión general de los pasos aquí descritos.

Los cuadros B-1, B-2, B-3 y B-4 identifican las opciones de tratamiento físico, químico, biológico y de solidificación/estabilización para residuos peligrosos. Estos cuadros son similares a los cuadros C-1 a C-4 en la hoja de trabajo C que brindan información adicional sobre opciones de tratamiento específico. Los cuadros B-1 y B-2 identifican las opciones de tratamiento aplicables a los diferentes medios (líquidos, pastas aguadas, lodos, sólidos); por lo demás, los grupos de residuos siguen el orden identificado en el cuadro A-2 (I-VI). El cuadro A-4 identifica las opciones de tratamiento por solidificación/estabilización. El cuadro B-5 esboza las opciones de tratamiento específico para plaguicidas y los divide en cuatro grupos principales, los que a su vez se subdividen en grupos de tratamiento de acuerdo con el Superfund (véase también el cuadro 6-11 del volumen I). El cuadro B-6 presenta un índice de contaminantes específicos para otros cuadros y figuras en este manual, que brinda información sobre opciones de tratamiento para (1) residuos acuosos, (2) líquidos orgánicos y (3) lodos, sedimentos, suelos y otros residuos sólidos.

B.1 PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICAR LAS OPCIONES POTENCIALES DE TRATAMIENTO PARA RESIDUOS PELIGROSOS

Use la hoja de trabajo B-1 para facilitar el procedimiento descrito a continuación.

Anote la actividad industrial, código alfabético industrial, categoría del grupo de residuos, descripción de residuos y números de los cuadros de la hoja de trabajo A-1 en la hoja de trabajo B-1 (primera línea y celda superior izquierda). Use hojas de trabajo separadas para cada residuo principal.

(Paso 1 al 3 en la hoja de trabajo A)

- Paso 4. Enumere los componentes primarios y secundarios de los residuos (por ejemplo, metales o solventes específicos) e identifique las características de los residuos relevantes para el tratamiento.
- Paso 5. Identifique las opciones de tratamiento de residuos de acuerdo con los datos de las categorías de residuos en los cuadros B-1 al B-4 y anote las opciones de tratamiento potencialmente aplicables en la segunda página de la hoja de trabajo

B-1. Introduzca sólo las opciones de tratamiento para residuos específicos que sean comparables con las características de los residuos identificados en la etapa previa. La mayoría de opciones de tratamiento térmico se aplican a una amplia variedad de residuos y medios (por ejemplo, líquidos, lodos, sólidos). El cuadro C-5 en la hoja de trabajo C debe usarse a fin de identificar opciones potenciales de tratamiento térmico para un residuo industrial específico.

Paso 6. Identifique otras fuentes de cuadros y figuras en el cuadro B-6 que brinden información adicional sobre opciones de tratamiento para residuos con características similares a las del residuo evaluado. Ingrese los números de los cuadros y figuras identificados en la última celda en la hoja de trabajo B-1.

Paso 7. Revise las fuentes identificadas en la etapa 6 e introduzca las opciones potenciales de tratamiento en la segunda página de la hoja de trabajo B-1. Marque cualquier opción que ya haya sido enumerada, pero que se considere inadecuada según la información en estas fuentes.

Una vez identificadas todas las opciones potenciales de tratamiento, siga las instrucciones de la hoja de trabajo C-1 a fin de evaluar y comparar las opciones de tratamiento específico para residuos peligrosos.

B.2 REFERENCIAS

Singhvi, R.; Koustas, R.N.; Mohn, M. 1994. Contaminants and remedial options at pesticide sites. Washington, DC. EPA/600/R-94/202.

Hoja de trabajo B-1 Características y opciones de tratamiento para residuos industriales y comerciales
 (Use hojas de trabajo separadas para cada residuo principal en la hoja de trabajo A-1)

Actividad industrial: _____		Código alfabético industrial (cuadro A-1): _____			
Grupo de residuos (cuadro A-2)					
Categoría: Descripción: Cuadros de la hoja de trabajo A:		Componentes primarios de los residuos: ¹ Componentes secundarios de los residuos: ¹			
Características de los residuos					
Acuoso ___ Diluido (<1%) ___ Concentrado (>1%) Líquido orgánico ___ Solvente ___ Multifásico Lodos/sólido	Inorgánico ___ Metales ___ Cianuro ___ Otro: Orgánico ___ Tóxico ___ Volátil ___ Semivolátil ___ Halogenado ___ No halogenado ___ Altamente tóxico	Grupo de tratamiento de acuerdo con el Superfund: ___ W01 Aromáticos halogenados no polares ___ W02 BPC, furanos dioxinas halogenados y sus precursores ___ W03 Fenoles halogenados, cresoles, aminas, tioles y otros aromáticos polares ___ W04 Compuestos alifáticos halogenados ___ W05 Alifáticos halogenados, éteres, ésteres y cetonas ___ W06 Compuestos nitrados ___ W07 Heterocíclicos y aromáticos no halogenados simples ___ W08 Aromáticos polinucleares ___ W09 Otros compuestos orgánicos no halogenados polares ___ W10 Metales no volátiles ___ W11 Metales volátiles			
Opciones de tratamiento ²					
Físico (del cuadro B-2)	Químico (del cuadro B-2)	Biológico (del cuadro B-3)	Solidificación/ estabilización (del cuadro B-4)	Térmico (del cuadro C-5)	Fuentes del cuadro B-6 Cuadros: Figuras:

¹Registre las concentraciones, si las hubiera.

²Para plaguicidas use el cuadro B-5.

Cuadro B-1. Opciones de tratamiento físico para residuos peligrosos según el tipo de residuo¹

Tipo de residuo	Opciones potenciales de tratamiento
Medios específicos (generalmente residuos orgánicos e inorgánicos)	
Líquidos Pastas aguadas Lodos Residuos sólidos/granulares/suelos contaminados	Flotación de aire (sólidos suspendidos ligeros) Centrifugación (sólidos suspendidos) Filtración (medios granulares) Separación por gravedad (sólidos suspendidos sedimentables) Separación por aire (sustancias volátiles, sólidos suspendidos bajos) Evaporación (soluciones acuosas, solventes orgánicos volátiles) Criotratamiento (<10% de sólidos disueltos) Ósmosis inversa (<400 ppm de metales, gases y sólidos disueltos) Ultrafiltración (partículas coloidales, poco sólidos) Centrifugación Centrifugación Filtración (presión de filtro en banda, filtración a presión en cámara, filtración al vacío) Aereación mecánica Extracción de solventes (lodos con aceites, sustancias orgánicas tóxicas, metales) Filtración en lecho de arena Electrocínética Aereación mecánica
I. Residuos inorgánicos (véase también los métodos para medios específicos)	
A. Ácidos y álcalis Residuos de amonio B. Residuos de cianuro Lodos con hidróxido C. Metales pesados Residuos acuosos (500-1000 ppm) Residuos acuosos (<400 ppm) Lodos con hidróxido Lodos con metales pesados Residuos acuosos (sólidos suspendidos) D. Asbestos E. Otros residuos sólidos	Separación por aire Filtración al vacío Enlace metálico Ósmosis inversa Filtración al vacío Extracción de solventes Ultrafiltración NA ² Depende de la composición química de los residuos
II. Residuos aceitosos	
Residuos aceitosos líquidos Lodos aceitosos	Flotación de aire Flotación (p.e. separación API) Filtración (medios granulares) Separación por gravedad Evaporación Extracción de solventes Ultrafiltración (emulsiones, sólidos suspendidos) Incineración Extracción de solventes (<20 % del peso es aceite, <20 % del peso son sólidos)

Cuadro B-1. (continuación)

Tipo de residuo	Opciones potenciales de tratamiento
III. Residuos orgánicos (véase también los métodos para medios específicos)	
A. Solventes halogenados Compuestos volátiles (residuos acuosos/absorbidos) Compuestos semivolátiles no polar (residuos acuosos) Mezclas líquidas de poca viscosidad Líquidos, lodos y sólidos	Separación por aire, separación por vapor Adsorción de carbón (<1% de sustancias orgánicas totales, <50 ppm de sólidos) Destilación Extracción superficial Incineración apropiada para evitar generación de dioxinas y furanos
B. Solventes no halogenados Compuestos volátiles (residuos acuosos/absorbidos) Compuestos semivolátiles no polares (residuos acuosos) Mezclas líquidas de poca viscosidad Líquidos, lodos y sólidos	Separación por aire, separación por vapor Adsorción de carbón (<1% de sustancias orgánicas totales, <50 ppm de sólidos) Destilación Extracción superficial Incineración
C. Residuos de BPC	Ósmosis inversa/adsorción de carbón Incineración (>1,200 °C)
C. Residuos de pinturas y resinas Residuos líquidos	Evaporación
E. Residuos de plaguicidas	Véase el cuadro B-5
F.1 Otros residuos halogenados Compuestos volátiles (residuos acuosos/absorbidos) Compuestos semivolátiles no polares (residuos acuosos) Residuos sólidos/granulares Mezclas líquidas de poca viscosidad Sustancias orgánicas solubles (residuos acuosos) Lodos (<20% de compuestos orgánicos, <20% de sólidos) Lodos y sólidos	Separación por aire, separación por vapor Adsorción de carbón Afrones de gas coloidal Destilación Extracción de solventes, extracción supercrítica, ultrafiltración Extracción de solventes Extracción supercrítica Incineración
F.2 Otros residuos no halogenados Compuestos volátiles (residuos acuosos/sorbidos) Compuestos semivolátiles no polares (residuos acuosos) Residuos sólidos/granulares Mezclas líquidas de poca viscosidad Sustancias orgánicas solubles (residuos acuosos) Lodos (<20% de compuestos orgánicos, <20% de sólidos) Lodos y sólidos	Separación por aire, separación por vapor Adsorción de carbón (<1% de sustancias orgánicas totales, <50 ppm de sólidos) Afrones de gas coloidal Electrocinética (permeable, saturada) Destilación Adsorción de resinas (<8% de compuestos orgánicos, <50 ppm de sólidos), extracción de solventes, ultrafiltración Extracción de solventes Extracción supercrítica Incineración
IV. Residuos orgánicos putrescibles	
Líquido	NA ²
Sólido	NA ²

¹ Véase el cuadro C-1 para mayor información sobre opciones de tratamiento físico para residuos peligrosos.

² No aplicable.

Cuadro B-2. Opciones de tratamiento químico para residuos peligrosos según el tipo de residuo¹

Tipo de residuo	Opciones potenciales de tratamiento
Medios específicos	
Líquidos	Hidrólisis (sustancias orgánicas) Intercambio de iones (principalmente metales, algunas sustancias orgánicas) Adsorción de lignina (sustancias inorgánicas y orgánicas) Oxidación (sustancias inorgánicas y orgánicas, <1%) Precipitación (sustancias inorgánicas y orgánicas)
Pastas aguadas	Hidrólisis (sustancias orgánicas)
Lodos	Hidrólisis (sustancias orgánicas) Oxidación (sustancias orgánicas e inorgánicas)
Residuos sólidos/granulares/ suelos contaminados	Hidrólisis (sustancias orgánicas) Lavado (sustancias orgánicas e inorgánicas)
I. Residuos inorgánicos (véase también los métodos de medios específicos)	
A. Ácidos y álcalis Residuos líquidos corrosivos	Neutralización
B. Residuos de cianuro Alta concentración de residuos acuosos (10%) Baja concentración de residuos acuosos (<1%)	Oxidación electrolítica Cloración alcalina Ozonización UV/ozonización Oxidación de peróxido de hidrógeno Precipitación
C. Metales pesados Alta concentración de residuos acuosos (10%) Residuos granulares/suelos contaminados Residuos acuosos	Oxidación electrolítica Lavado Intercambio de iones, precipitación, oxidación (<1% de metales), reducción (<1% de metales)
D. Asbestos	NA ²
E. Otros residuos sólidos	NA ²
II. Residuos aceitosos	
Residuos aceitosos líquidos	NA ²
III. Residuos orgánicos (véase también los métodos de medios específicos)	
A. Solventes halogenados Residuos líquidos concentrados Todos los medios	Clorólisis (bajo contenido de azufre y oxígeno) Deshalogenación electroquímica
B. Solventes no halogenados	
C. Residuos de BPC Lodos y sólidos/suelos granulares Todos los medios	Deshalogenación Deshalogenación electroquímica
D. Residuos de pinturas y resinas	NA ²
E. Residuos de biocidas	

Cuadro B-2. (continuación)

Tipo de residuo	Opciones potenciales de tratamiento
F.1 Otros residuos halogenados Residuos líquidos concentrados Lodos y sólidos/suelos granulares Todos los medios Residuos líquidos con dioxinas	Clorólisis (bajo contenido de azufre y oxígeno) Deshalogenación (parcialmente deshidratado, es decir, dioxinas) Deshalogenación electroquímica UV/fotólisis
F.2 Otros residuos no halogenados Aromáticos, alifáticos y monómeros oxigenados	Polimeración
IV. Residuos orgánicos putrescibles	
Líquido	NA ²
Sólido	NA ²

¹ Véase el cuadro C-2 para mayor información sobre opciones de tratamiento químico para residuos peligrosos.

² No aplicable.

Cuadro B-3. Opciones de tratamiento biológico para residuos peligrosos según el tipo de residuo¹

Tipo de residuo	Opciones potenciales de tratamiento
I. Residuos inorgánicos	
Aguas residuales con nitrato	Desnitrificación
II. Residuos aceitosos	
Lodos, alquitranes, sólidos granulados/suelos contaminados	Compostificación, tratamiento y remediación del suelo
III. Residuos orgánicos	
A. Solventes halogenados Residuos acuosos diluidos	Contactor biológico rotatorio, filtro percolador
B. Solventes no halogenados Residuos acuosos diluidos Lodos (<50% de sólidos)	Contactor biológico rotatorio, filtro percolador Compostificación
C. Residuos de BPC Sólidos granulados/suelos contaminados	Bacterias del suelo y remediación del suelo
D. Residuos de pinturas y resinas	NA ²
E. Residuos de biocidas	Véase el cuadro B-5
F.1 Otros residuos halogenados Residuos acuosos diluidos Sólidos granulados/suelos contaminados	Tratamiento aerobio (posibles PCF, la mayoría no es tratable), estanques y lagunas, contactor biológico rotatorio, filtro percolador, cepas de levadura Hongo blanco en descomposición (hexaclorobenceno), cepas de levadura
F.2 Otros residuos no halogenados Residuos acuosos diluidos Lodos (<50% de sólidos) Sólidos granulados/suelos contaminados	Lodo activado (<1% de sólidos suspendidos), tratamiento aerobio, tratamiento anaerobio (<7% de sólidos), tratamiento de enzimas, estanques y lagunas, contactor biológico rotatorio, filtro percolador Compostificación, tratamiento en el terreno Bacterias del suelo, micorrizas
IV. Residuos orgánicos putrescibles	
Líquido	NA ²
Sólido	NA ²

¹Véase el cuadro C-3 para mayor información sobre opciones de tratamiento biológico para residuos peligrosos.

²No aplicable.

Cuadro B-4. Opciones de tratamiento por solidificación/estabilización para residuos peligrosos según el tipo de residuo^{1,2}

Tipo de residuo	Opciones potenciales de tratamiento
I. Residuos inorgánicos	
A. Ácidos y álcalis	NA ³
B. Residuos de cianuro	NA ³
C. Metales pesados Lodos y sólidos granulados tratados/suelos contaminados	Fijación con cemento, encapsulamiento, fijación con puzolana, arcilla absorbente, vitrificación
D. Asbesto	NA ³
E. Otros residuos sólidos Lodos y sólidos granulados tratados	Fijación con cemento, encapsulamiento, fijación con puzolana
II. Residuos aceitosos	
Lodos y sólidos granulados tratados/suelos contaminados	Fijaciones con cemento, encapsulamiento, fijación con puzolana
Alquitranes	Fijación con cemento
III. Residuos orgánicos	
A. Solventes halogenados Lodos y sólidos granulados tratados/suelos contaminados	Arcillas absorbentes
B. Solventes no halogenados	NA ³
C. Residuos de BPC	NA ³
D. Residuos de pinturas y resinas Residuos sólidos de resinas	Fijación con cemento
E. Residuos de biocidas	Véase el cuadro B-5
F.1. Otros residuos halogenados Lodos y sólidos granulados tratados/suelos contaminados	Arcilla absorbible
F.2. Otros residuos no halogenados	NA ³
IV. Residuos orgánicos putrescibles	
Líquidos	NA ³
Sólidos	NA ³

¹ La vitrificación es potencialmente aplicable a cualquier residuo granulado sólido estabilizado o suelo contaminado con un alto contenido de sílice; los métodos de encapsulamiento son potencialmente aplicables a cualquier residuo sólido estabilizado química o mecánicamente, siempre que la matriz de encapsulamiento sea compatible con el residuo.

² Véase el cuadro C-4 para mayor información sobre opciones de tratamiento por solidificación/estabilización para residuos peligrosos.

³ No aplicable.

Cuadro B-5. Opciones de tratamiento para plaguicidas (Singhvi y otros, 1994)

Grupo de residuos químicos de plaguicidas	Tecnologías de tratamiento aplicables	Grupo de tratamiento de residuos de acuerdo con el Superfund [8]	Familia	Ejemplo	Uso*
WG01 – compuestos inorgánicos	Incineración Oxidación química Inyección de agua al suelo Lavado de suelos Adsorción Filtración Evaporación Intercambio de iones	W12 – Compuestos inorgánicos		Arsenato de plomo Fluoruro sódico Fosfuro de cinc	I I R
WG02- Compuestos inorgánicos halogenados insolubles en agua	Incineración Biorremediación Deshalogenación/ Hidrodeshalogenación Hidrólisis/neutralización Hidroprocesamiento/remoción de heteroátomos Procesos a alta temperatura Inyección de agua al suelo Lavado de suelos Desabsorción térmica Extracción de vapor Extracción de solventes Adsorción Filtración Reducción química Oxidación química	W01 – Aromáticos no polares halogenados	Cloro orgánico/DDT análogo	DDD DDE DDT	I I I
		W03 – Fenoles/cresoles/éteres/tioles halogenados	DDT análogo	Metoxicloro	I
		W05 –Éteres/ésteres/cetonas alifáticos cíclicos halogenados	Ciclodieno	Aldrín	I
				Clordano	I
				Dieldrina	I
		Hexaclorociclohexano		Endosulfán	I
				Endrín	I
				Heptacloro	I
		Toxafeno		-BHC	I,R
				-BHC	I,R
-BHC (lindano)	I,R				
W06 – Compuestos aromáticos y alifáticos nitrados	Aromáticos nitrados	Toxafeno	A,I,R		
W13 – Otros compuestos orgánicos		Alifáticos nitrados	Pentacloronitrobenzeno	F	
		Alkimercaptanos	Cloropicrina	I,N	
			Captano	F	
Carboxamida		Alaclor	H		
		Pronamida	H		
Triazina		Cianazina	H		

Cuadro B-5. (continuación)

Grupo de residuos químicos de plaguicidas	Tecnologías de tratamiento aplicables	Grupo de tratamiento de residuos de acuerdo con el Superfund [8]	Familia	Ejemplo	Uso*
WG03 – Compuestos orgánicos halogenados poco solubles en agua y compuestos orgánicos relacionados	Incineración Biorremediación Deshalogenación/ hidrodeshalogenación Hidrólisis/neutralización Hidroprocesamiento/ remoción de heteroátomos Procesos a altas temperaturas Inyección de agua al suelo Lavado de suelos Extracción de vapor del suelo Desabsorción térmica Extracción de solventes Adsorción Filtración Reducción química Oxidación química Evaporación	W03 – Fenoles/cresoles/éteres/tioles halogenados	Fenol halogenado	Pentaclorofenol (PCF)	F,I,H
		W04 – Compuestos alifáticos halogenados	Alifáticos volátiles halogenados	Dibromocloropropano (DBCP) Dibromuro de etileno (EDB) Bromuro de etileno	N I A,F,H,I,N
		W05 – Ésteres alifáticos cíclicos halogenados	Ácido ariloxialcanóico	2,4 –D 2,4,5 –TP (silvex)	H H
		W06- Compuestos aromáticos y alifáticos nitrados	Fósforotiato	Paratión de metileno	A,H
			Dinitroanilina	Trifluralín	H

Cuadro B-5. (continuación)

Grupo de residuos químicos de plaguicidas	Tecnologías de tratamiento aplicables	Grupo de tratamiento de residuos de acuerdo con el Superfund [8]	Familia	Ejemplo	Uso*
WG04 –Compuestos orgánicos no halogenados y compuestos orgánicos relacionados	Incineración Biorremediación Hidrólisis/neutralización Hidroprocesamiento/remoción de heteroátomos Procesos a altas temperaturas Inyección de agua al suelo Lavado de suelos Desabsorción térmica Extracción de vapor Extracción de solventes Adsorción Filtración Reducción química Oxidación química Evaporación	W09 – Otros compuestos orgánicos polares	Alifáticos no saturados Éteres alifáticos Tiourea	Acroleína Alcohol alílico Óxido de etileno Tiourea de etileno (TUE)	A,H F F F
		W13 – Otros compuestos orgánicos	Alcaloides	Aletrina Rotenona	I I
			Carbamatos	Aldicarb Benomil Carbarilo	I,A,N F I
			Fosfonatos	Diazinón Glifosato	A,I H
			Fósforotioatos	Dimetoato Malatión Paratión Forato	A,I A,I A,I I

Uso del plaguicida: A= Acarida I= Insecticida F= Fungicida N= Nematocida H= Herbicida R= Rodenticida

Nota: Código “W” se refiere a grupos del Superfund

Cuadro B-6. Índice de cuadros adicionales con información sobre tratamiento de residuos que contienen contaminantes específicos

Medios/tipo de residuos	Cuadros	Figuras
Residuos acuosos		
DBO	D-3,D-4, D-5	
DQO	D-3,D-4,D-5	
Sólidos suspendidos	6-9, D-3, D-4	
Aceite, grasa	6-9, D-3	
Sólidos disueltos totales	6-9	
Agentes patógenos	6-9	
Compuestos orgánicos (concentrados)	6-4	6-12
Compuestos orgánicos (diluidos)	6-4, D-2, D-3	6-12
Compuestos orgánicos altamente tóxicos	6-5	6-12
Compuestos orgánicos tóxicos	6-5	6-12
Compuestos orgánicos volátiles	6-5, 6-9, C-6	6-12
Compuestos orgánicos semivolátiles	6-9, C-6	6-12
Plaguicidas	6-5, 6-9	
BPC	6-9, D-2	
Corrosivos (ácido/álcali, pH)	6-1, 6-4, 6-5, 6-6, 6-9	
Compuestos inorgánicos (concentrados)	6-4	
Compuestos inorgánicos (diluidos)	6-4	
Compuestos inorgánicos	C-6	
Metales	6-4, 6-5, 6-9, D-2, D-3, D-5	
Cianuros	6-5, 6-9, D-2	
Asbestos	6-5	
Explosivos	6-5, C-6	
Radiactivos	6-5	
Líquidos orgánicos		
Solventes	6-7, 6-8	
Compuestos orgánicos altamente tóxicos	6-4, 6-5	6-12
Compuestos orgánicos volátiles	6-4, 6-5	6-12
Compuestos orgánicos tóxicos	6-4, 6-5	6-12
Plaguicidas	6-5	
Corrosivos (ácidos/álcalis)	6-1, 6-4, 6-5, 6-6	
Metales	6-5	
Cianuros	6-5	
Radiactivos	6-5	

Cuadro B-6 (continuación)

Medios/tipo de residuos	Cuadros	Figuras
Lodos/sedimentos/sólidos		
Solventes	6-7, 6-8	
Compuestos orgánicos altamente tóxicos	6-4, 6-5	
Compuestos orgánicos volátiles	6-4, 6-5, C-6	
Compuestos orgánicos semivolátiles	C-6	
Combustibles	C-6	
Compuestos orgánicos tóxicos	6-4, 6-5	
Compuestos volátiles halogenados	6-10	
Compuestos semivolátiles halogenados	6-10	
Aromáticos halogenados no polares (W01)	6-11	
BPC, dioxinas, furanos (W02)	6-10, 6-11	
Fenoles, cresoles, aminas y otros aromáticos polares halogenados (W03)	6-11	
Alifáticos halogenados (W04)	6-11	
Compuestos volátiles no halogenados	6-10	
Compuestos semivolátiles no halogenados	6-10	
Compuestos nitrados (W06)	6-11	
Heterocíclicos y aromáticos simples no halogenados (W07)	6-11	
Aromáticos polinucleares (W08)	6-11	
Otros compuestos orgánicos polares no halogenados (W09)	6-11	
Plaguicidas	6-5, 6-10	
Corrosivos (ácidos/álcalis)	6-1, 6-4, 6-5, 6-6	
Corrosivos inorgánicos	6-10	
Corrosivos orgánicos	6-10	
Compuestos inorgánicos	C-6	
Oxidantes	6-10	
Reductores	6-10	
Metales	6-4, 6-5	
Metales no volátiles (W10)	6-10, 6-11	
Metales volátiles (W11)	6-10, 6-11	
Cianuros	6-5	
Cianuros orgánicos	6-10	
Asbestos	6-5, 6-10	
Explosivos	6-5, C-6	
Radiactivos	6-5, 6-10	

HOJA DE TRABAJO C

INFORMACIÓN RESUMIDA SOBRE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Esta hoja de trabajo es una continuación del procedimiento iniciado en las hojas de trabajo A y B. En esta etapa del procedimiento se comparan diferentes opciones de tratamiento para facilitar la selección de tecnologías adecuadas en una planta de tratamiento de residuos peligrosos (PTRP). La figura A-1 brinda una visión general de los pasos aquí descritos.

Los cuadros C-1 a C-5 identifican las opciones de tratamiento físico, químico, biológico, por solidificación/estabilización y térmico para residuos peligrosos. Cada método de tratamiento incluye la siguiente información: (1) residuos tratables, (2) factores calificadores (3) condición actual de la tecnología (disponible, innovadora, incipiente). El cuadro C-6 brinda una matriz de selección para más de 55 tecnologías de tratamiento que incluyen la siguiente información: (1) estado de desarrollo, (2) disponibilidad, (3) producción de residuos, (4) proceso de tratamiento (sí = necesita usarse junto con otros métodos de tratamiento, no = puede ser autosuficiente), (4) contaminantes tratados (COV, COSV, combustibles, compuestos inorgánicos, explosivos), (5) confiabilidad/mantenimiento del sistema, (6) tiempo de limpieza, (7) costo total, (8) operación y mantenimiento o capital intensivo. Este cuadro está orientado a tecnologías de limpieza de sitios contaminados con residuos peligrosos, muchas de las cuales (sobre todo aquellas que se realizan en la planta) son poco relevantes para una PTRP.

El cuadro C-7 brinda los criterios para la clasificación de tecnologías peores/promedio/mejores; en el cuadro C-6 y el cuadro C-8 se describe brevemente cada tecnología. El cuadro C-9 contiene un índice de los cuadros adicionales en esta guía e información sobre tecnologías de tratamiento de residuos peligrosos específicos.

C.1 PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR LAS OPCIONES DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

El procedimiento descrito a continuación puede usarse para evaluar opciones potenciales de tratamiento de residuos peligrosos *in situ* antes de su descarga en una PCTE o seleccionar métodos de tratamiento para una evaluación más detallada en una PTRP.

Use la hoja de trabajo C-1 para facilitar el procedimiento descrito a continuación:
(Los pasos previos se encuentran en la hoja de trabajo A y B)

Paso 8: A partir de los datos obtenidos en la hoja de trabajo B-1, ingrese información sobre las características de los residuos que van a ser tratados en la parte superior de la hoja de trabajo C-1.

- Paso 9: Seleccione las opciones de tratamiento para compararlas con la hoja de trabajo B-1 e ingr elas en la parte superior de las columnas de opciones en la hoja de trabajo C-1. Use hojas de trabajo múltiples en caso se evalúen más de tres opciones de tratamiento.
- Paso 10: Por medio del cuadro C-9, identifique las fuentes de cuadros y figuras que brinden información sobre cada opción e ingrese los números de los cuadros y figuras en la columna indicada debajo del nombre de la opción de tecnología en la hoja de trabajo C-1.
- Paso 11: Con las fuentes de referencias identificadas en el paso anterior y cualquier otra fuente de información, llene tantas celdas de criterios de evaluación como sea posible para cada opción de tratamiento. La mayoría de opciones de tratamiento están calificadas según su conveniencia en uno o más cuadros de preferencias tecnológicas. Los factores calificadores para las opciones pueden obtenerse de los cuadros C-1 a C-5 y también de las tecnologías específicas tratadas en las secciones 6.2 y 6.3. La condición de desarrollo de la mayoría de opciones de tratamiento se indica en los cuadros C-1 a C-6. Los criterios de disponibilidad, confiabilidad del sistema y costo de una opción de tratamiento, sólo pueden completarse si la opción est  incluida en el cuadro C-6. Sin embargo, las definiciones en el cuadro C-8 pueden usarse para realizar clasificaciones comparables con otras tecnologías si se cuenta con suficiente información.
- Paso 12: Adjunte toda información adicional sobre cada opción de tratamiento obtenida de la base de datos del Risk Reduction Engineering Laboratory Treatability de la EPA. Para mayor información sobre esta base de datos, remítase al apéndice B.
- Paso 13: Seleccione una o más opciones de tratamiento para un análisis más detallado. Las opciones que pueden excluirse rápidamente de un análisis adicional son aquellas que tienen clasificaciones desfavorables en la matriz de preferencias tecnológicas y las que tienen concentraciones de residuos fuera del rango adecuado para la tecnología. La sección 6.4, que trata las principales consideraciones en la selección de procesos de tratamiento de residuos peligrosos, orienta la selección de opciones de tratamiento.

C.2 REFERENCIAS

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. 1989. *Guide to treatment technologies for hazardous wastes at Superfund sites*. Washington, DC. EPA/540/2-89/052 (NTIS PB89190821).

Department of Defense. Environmental Technology Transfer Committee. 1994. Remediation technologies screening matrix and reference guide. Washington, DC: DOD/ETTC. EPA/542/B 94/013 (NTIS PB95104784).

Hoja de trabajo C-1. Formulario de evaluación de la selección de la tecnología para el tratamiento de residuos peligrosos

CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS (DE LA HOJA DE TRABAJO B-1)			
Medio: _____ Concentración de contaminantes: _____			
Tipo de contaminante:			
<input type="checkbox"/> Inorgánico (<input type="checkbox"/> metales <input type="checkbox"/> cianuro <input type="checkbox"/> otro: _____) <input type="checkbox"/> Orgánico (<input type="checkbox"/> tóxico <input type="checkbox"/> altamente tóxico <input type="checkbox"/> volátil <input type="checkbox"/> semivolátil <input type="checkbox"/> halogenado <input type="checkbox"/> no halogenado)			
Grupo de tratamiento de residuos de acuerdo con el Superfund: _____			
Otras características de los residuos: _____			
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OPCIÓN #1	OPCIÓN #2	OPCIÓN #3
Opciones de tratamiento (cuadro C-9)	_____	_____	_____
Fuentes del cuadro	_____	_____	_____
Fuentes de la figura	_____	_____	_____
Preferencias tecnológicas (cuadros 6-5, 6-9, 6-10, 6-11, C-6)			
Clasificación/fuentes del cuadro	_____/____	_____/____	_____/____
Clasificación/fuentes del cuadro	_____/____	_____/____	_____/____
Clasificación/fuentes del cuadro	_____/____	_____/____	_____/____
Concentraciones tratables (figura 6-12, varios cuadros)			
Concentración máx/mín/fuente	_____/____	_____/____	_____/____
Concentración máx/mín/fuente	_____/____	_____/____	_____/____
¿El residuo de interés está dentro del rango?	<input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no	<input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no	<input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no
Condición de desarrollo/fuente del cuadro	_____/____	_____/____	_____/____
Disponibilidad (cuadro C-6)	_____	_____	_____
Confiabilidad del sistema (cuadro C-6)	_____	_____	_____
Costo total (cuadro C-6)	_____	_____	_____
O&M/capital intensivo (cuadro C-6)	_____	_____	_____
Residuos (cuadro 6-14, C-6)	_____	_____	_____

Cuadro C-1. Opciones de tratamiento físico para residuos peligrosos

Método de tratamiento	Características
<p>Separación de componentes</p> <p>Flotación de aire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disuelto • Inducido <p>Centrifugación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reciente • Cesto • Disco <p>Filtración/filtro a presión en banda</p> <p>Filtración/filtración a presión en la cámara</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hoja de presión • Elemento del tubo • Placa y estructura • Placa horizontal <p>Filtración/medios granulares</p> <p>Filtración/vacío</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medios fijos • Cilindro rotatorio <p>Separación por gravedad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coagulación • Floculación • Sedimentación 	<p>Residuos tratables: residuos líquidos que contienen aceites o sólidos suspendidos ligeros. Factores calificadores: el efluente líquido puede requerir tratamiento adicional. Condición: disponible.</p> <p>Residuos tratables: líquidos orgánicos/inorgánicos, pastas aguadas y lodos que contienen sólidos suspendidos o disueltos, o líquidos con un componente no volátil (por ejemplo, lodos de aguas residuales, residuos que contienen líquidos inmiscibles o residuos con tres fases distintas). Factores calificadores: (1) no es adecuado para alquitranes, sólidos, polvos secos o gases, (2) no es aplicable a pequeñas cantidades o partículas de poca densidad. Condición: disponible.</p> <p>Residuos tratables: lodos biológicos e industriales Factores calificadores: La torta del filtro puede requerir tratamiento adicional. Condición: disponible.</p> <p>Residuos tratables: lodo de aguas residuales o lodos de naturaleza floculada o adhesiva. Factores calificadores: (1) tecnología de deshidratación, (2) no es recomendable para lodos pegajosos o gelatinosos. Condición: disponible.</p> <p>Residuos tratables: residuos líquidos que contienen sólidos suspendidos y/o aceites Factores calificadores: (1) requiere pretratamiento para sólidos suspendidos con concentraciones < 100 mg/L, (2) requiere lavado por contracorriente constante. Condición: disponible.</p> <p>Residuos tratables: lodos químicos orgánicos e inorgánicos, metales y cianuros adheridos a lodos de hidróxido. Factores calificadores: tecnología de deshidratación, (2) no es adecuado para lodos pegajosos o gelatinosos. Condición: disponible.</p> <p>Residuos tratables: residuos líquidos que contienen sólidos suspendidos sedimentables, aceite y/o grasa. Factores calificadores: (1) El efluente líquido puede requerir tratamiento adicional, (2) no es adecuado para pastas aguadas pesadas, lodos o alquitranes. Condición: disponible.</p>

Cuadro C-1. (continuación)

Método de tratamiento	Características
Separación por fases	
Separación por aire	<p>Residuos tratables: residuos orgánicos e inorgánicos acuosos y adsorbidos con una volatilidad relativamente alta y una baja solubilidad en agua, tales como compuestos orgánicos clorados, aromáticos y amoniaco.</p> <p>Factores calificadoros: (1) limitado para concentraciones <100 ppm de COV; (2) sólidos suspendidos pueden obstruir la torre.</p> <p>Condición: disponible.</p>
Adsorción de carbón	<p>Residuos tratables: residuos orgánicos acuosos (que contienen <1% de compuestos orgánicos totales o <50 pm de sólidos) con altos pesos moleculares, puntos de ebullición, baja solubilidad en agua, polaridad e ionización.</p> <p>Factores calificadoros: (1) no es recomendable para metales, (2) no es adecuado para aceites o grasas.</p> <p>Condición: disponible.</p>
Afrones de gas coloidal (AGC)	<p>Residuos tratables: suelos contaminados con fenoles, ésteres de ftalato, hidrocarburos aromáticos, alifáticos y clorados, aminos y alcoholes.</p> <p>Factores calificadoros: (1) mejora la separación por aire y biodegradación, (2) conductividad hidráulica del suelo debe ser $>10^{-4}$ cm/seg.</p> <p>Condición: incipiente.</p>
Destilación <ul style="list-style-type: none"> • Vapor • Otro 	<p>Residuos tratables: Mezcla de compuestos orgánicos líquidos con alta viscosidad que pueden separarse por diferencias de peso molecular/volatilidad.</p> <p>Factores calificadoros: no es recomendable para materiales poliméricos gruesos, pastas aguadas, lodos o alquitranes.</p> <p>Condición: disponible.</p>
Electrocinética	<p>Residuos tratables: suelos contaminados con residuos orgánicos o inorgánicos.</p> <p>Factores calificadoros: la matriz del suelo debe ser relativamente permeable y saturada.</p> <p>Condición: innovadora.</p>
Evaporación	<p>Residuos tratables: solventes líquidos orgánicos/inorgánicos contaminados con impurezas no volátiles (es decir, aceites, grasa, solventes de pintura, resinas poliméricas).</p> <p>Factores calificadoros: (1) los líquidos deben ser volátiles, (2) no es recomendable para alquitranes, sólidos, polvos secos o gases, (3) el proceso requiere energía intensiva.</p> <p>Condición: disponible.</p>

Cuadro C-1. (continuación)

Método de tratamiento	Características
<p>Criotratamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Congelamiento por suspensión ▪ Secado por congelamiento ▪ Cristalización por congelamiento 	<p>Residuos tratables: soluciones diluidas de residuos orgánicos/inorgánicos acuosos que contienen <10% del total de sólidos disueltos. Factores calificadores: no es recomendable para residuos espumosos, viscosos o de alto contenido de sólidos Condición: incipiente.</p>
<p>Aereación mecánica del suelo</p>	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos volátiles en lodos y suelos. Factores calificadores: el efluente puede requerir tratamiento adicional. Condición: disponible.</p>
<p>Enlace metálico</p>	<p>Residuos tratables: residuos acuosos, lixiviado y aguas subterráneas que contienen metales. Factores calificadores: limitado a concentraciones metálicas entre 500-1000 ppm. Condición: incipiente.</p>
<p>Adsorción de resinas</p>	<p>Residuos tratables: residuos acuosos que contienen compuestos orgánicos solubles, especialmente fenoles y materiales explosivos. Factores calificadores: limitado a bajas concentraciones de compuestos orgánicos (<8%) y sólidos suspendidos (<50 ppm) Condición: disponible.</p>
<p>Ósmosis inversa</p>	<p>Residuos tratables: Residuos acuosos que contienen <400 ppm de metales pesados, compuestos orgánicos con alto peso molecular y gases disueltos. Factores calificadores: (1) no es recomendable para oxidantes, (2) requiere un control de pH y baja concentración de sólidos suspendidos. Condición: innovadora.</p>
<p>Extracción de solventes</p>	<p>Residuos tratables: residuos acuosos contaminados con compuestos orgánicos disueltos de uno o múltiples componentes. Lodos contaminados con aceites, compuestos orgánicos tóxicos y metales pesados. Adecuado para lodos cuyo peso es <20% aceite/compuestos orgánicos y <20 % de sólidos. Factores calificadores: la extracción de solventes debe ser inmisible en líquidos y diferir en densidad para que pueda ocurrir la separación por gravedad. Condición: disponible/innovadora.</p>
<p>Separación por vapor</p>	<p>Residuos tratables: soluciones acuosas de compuestos orgánicos volátiles. Factores calificadores: (1) el efluente puede requerir tratamiento adicional, (2) Adecuado para residuos con baja concentración de metales. Condición: disponible.</p>
<p>Extracción supercrítica</p>	<p>Residuos tratables: lodos, sólidos o líquidos contaminados con compuestos orgánicos. Factores calificadores: el efluente puede requerir tratamiento adicional. Condición: incipiente</p>

Cuadro C-1. (continuación)

Método de tratamiento	Características
Ultrafiltración	Residuos tratables: aceites, metales y proteínas removidos de soluciones acuosas con compuestos orgánicos disueltos, emulsiones y partículas coloidales. Factores calificadores: limitado a concentraciones bajas de sólidos suspendidos. Condición: disponible.

Fuente: Adaptado de la EPA (1989).

Cuadro C-2. Opciones de tratamiento químico para residuos peligrosos

Método de tratamiento	Características
Clorólisis	<p>Residuos tratables: residuos orgánicos líquidos clorados con bajas concentraciones de azufre y oxígeno.</p> <p>Factores calificadores: (1) adecuado para sólidos y alquitranes, (2) no es recomendable para benceno ni aromáticos, (3) el tetracloruro de carbono generado puede recuperarse.</p> <p>Condición: innovadora</p>
Deshalogenación <ul style="list-style-type: none"> • Reactivo de polietilenglicol para metales alcalinos (EGMA) • Otros reactivos de glicolato 	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos halogenados en suelos y lodos parcialmente deshidratados (es decir, BPC, dioxinas).</p> <p>Factores calificadores: requiere calor y reactivos en exceso.</p> <p>Condición: innovadora.</p>
Deshalogenación electroquímica	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos halogenados (es decir, BPC).</p> <p>Factores calificadores: desconocidos.</p> <p>Condición: emergente.</p>
Electrólisis <ul style="list-style-type: none"> • Oxidación electrolítica • Recuperación electrolítica 	<p>Residuos tratables: residuos con altas concentraciones de cianuro (10%) y metales.</p> <p>Factores calificadores: recomendable para residuos con bajo contenido de sólidos.</p> <p>Condición: disponible.</p>
Hidrólisis	<p>Residuos tratables: sólidos, suelos, lodos, pastas aguadas o líquidos contaminados con compuestos orgánicos.</p> <p>Factores calificadores: (1) requiere manejo cuidadoso de ácidos y alcalinos fuertes, (2) la reacción requiere un monitoreo cuidadoso ya que se realiza a temperatura y presión elevadas.</p> <p>Condición: disponible.</p>
Extracción del suelo <i>in situ</i>	<p>Residuos tratables: suelos con bajos niveles de contaminación con compuestos orgánicos o inorgánicos y metales.</p> <p>Factores calificadores: no es recomendable para suelos secos o ricos en compuestos orgánicos.</p> <p>Condición: incipiente.</p>
Intercambio de iones	<p>Residuos tratables: residuos acuosos orgánicos o inorgánicos, principalmente metales.</p> <p>Factores calificadores: adecuado sólo para residuos líquidos.</p> <p>Condición: disponible.</p>
Adsorción de lignina	<p>Residuos tratables: Residuos acuosos orgánicos o inorgánicos</p> <p>Factores calificadores: Desconocidos</p> <p>Condición: Emergente</p>

Cuadro C-2. (continuación)

Método de tratamiento	Características
Neutralización	<p>Residuos tratables: residuos líquidos corrosivos (ácidos y bases). Factores calificadores: (1) no es recomendable para lodos ni sólidos, (2) requiere equipo resistente a la corrosión. Condición: disponible.</p>
<p>Oxidación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cloración • Ozonización • peróxido de hidrógeno • permanganato de potasio • dióxido de cloro • hipocloritos 	<p>Residuos tratables: residuos acuosos diluidos (<1% de residuos) que contienen compuestos orgánicos e inorgánicos Factores calificadores: (1) requiere condiciones de reacción controladas, (2) apropiado sólo para líquidos y lodos. Condición: disponible.</p>
Polimerización	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos tales como aromáticos, alifáticos y monómeros oxigenados. Factores calificadores: su aplicación se limita a derrames. Condición: innovadora.</p>
<p>Precipitación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hidróxidos metálicos • Sulfuros metálicos 	<p>Residuos tratables: residuos acuosos orgánicos e inorgánicos que contienen metales. Factores calificadores: requiere optimización del pH de la reacción para la mezcla específica de metales presentes, (2) el lodo generado requiere tratamiento adicional, (3) en residuos que contienen metales mezclados puede ocurrir una reactividad cruzada, (4) inapropiado para lodos, alquitranes y pastas aguadas. Condición: disponible.</p>
<p>Reducción</p> <ul style="list-style-type: none"> • dióxido de sulfuro • borohidruro de sodio • sales de sulfito • trióxido de rutenio 	<p>Residuos tratables: residuos diluidos acuosos que contienen compuestos inorgánicos, especialmente metales (<1% de concentración de metales pesados) Factores calificadores: (1) aplicable sólo a residuos inorgánicos, (2) adecuado sólo para residuos líquidos. Condición: disponible para compuestos inorgánicos, existen algunas aplicaciones innovadoras para compuestos orgánicos.</p>
UV/Fotólisis	<p>Residuos tratables: residuos líquidos que contienen dioxinas. Factores calificadores: apropiado sólo para líquidos Condición: emergente.</p>

Fuente: Adaptado de la EPA (1989).

Cuadro C-3. Opciones de tratamiento biológico para residuos peligrosos

Método de tratamiento	Características
<p>Estanques y lagunas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aerobia • Aerobia facultativa • Aerobia aereada • Aereada facultativa 	<p>Residuos tratables: aguas residuales industriales, compuestos orgánicos con bajo potencial de biodegradación, compuestos orgánicos solubles en residuos acuosos diluidos.</p> <p>Factores calificadores: (1) requiere áreas grandes, (2) inapropiado para sólidos, (3) requiere temperatura ambiente o superior, (4) los lodos generados que contienen metales pesados y compuestos orgánicos refractorios requieren tratamiento adicional.</p> <p>Condición: disponible.</p>
<p>Lodo activado</p>	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos solubles en residuos acuosos diluidos (<1 % de sólidos suspendidos).</p> <p>Factores calificadores: (1) DBO <11.000 ppm, (2) requiere bajas concentraciones de metales pesados, BPC, plaguicidas, aceite y grasa, (3) los lodos generados que contienen metales pesados y compuestos orgánicos refractorios requieren tratamiento adicional.</p> <p>Condición: disponible.</p>
<p>Contactor biológico rotatorio</p>	<p>Residuos tratables: residuos orgánicos biodegradables acuosos y diluidos (<1 %, 40-10.000 mg/L DBO soluble) incluido solventes y compuestos orgánicos halogenados.</p> <p>Factores calificadores: (1) limitado a bajas concentraciones de metales pesados y compuestos orgánicos refractorios concentrados, (2) inapropiado para lodos y sólidos.</p> <p>Condición: disponible.</p>
<p>Filtro percolador</p>	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos solubles en residuos acuosos diluidos con 1% de sólidos suspendidos incluido solventes y compuestos orgánicos halogenados.</p> <p>Factores calificadores: (1) DBO <5.000 ppm, (2) los lodos generados que contienen metales pesados y compuestos orgánicos refractorios requieren tratamiento adicional.</p> <p>Condición: disponible.</p>
<p>Otro tratamiento aerobio</p> <ul style="list-style-type: none"> • reactor aereado de capa biológica • lecho fluidificado de capa fija con/sin carbón activado • lecho fluidificado • reactor de membrana • reactor discontinuo 	<p>Residuos tratables: residuos acuosos con bajos niveles de compuestos orgánicos no halogenados y algunos halogenados (por ejemplo, fenoles, formaldehídos, PCF)</p> <p>Factores calificadores: (1) DBO <10.000 ppm, (2) requiere condiciones de operación consistentes y estables.</p> <p>Condición: disponible.</p>

Cuadro C-3. (continuación)

Método de tratamiento	Características
Tratamiento/digestión anaerobia <ul style="list-style-type: none"> • Lecho fluidificado de capa fija con/sin carbón activado • Lecho fluidificado • Biorreactor de CAG de lecho expandido 	<p>Residuos tratables: pasta aguada acuosa con niveles bajos a moderados de compuestos orgánicos no clorados que contienen <7% de sólidos. Factores calificadores: (1) requiere condiciones de operación consistentes y estables, (2) inapropiado para aceites y grasas, aromáticos e hidrocarburos de cadena larga, (3) lodo generado debe incinerarse. Condición: disponible/innovadora</p>
Compostificación	<p>Residuos tratables: lodo acuoso con <50% de sólidos, hidrocarburos no clorados, residuos con alto contenido orgánico incluidos aceites, alquitranes, y lodos del procesamiento industrial. Factores calificadores: (1) requiere suplementación de nutrientes, (2) lodo del proceso puede contener metales pesados Condición: disponible</p>
Bacterias (suelo)	<p>Residuos tratables: BPC y otros compuestos orgánicos en suelos. Factores calificadores: (1) adaptación natural, (2) puede incluir ingeniería genética. Condición: disponible.</p>
Adición/tratamiento de enzimas	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos solubles en residuos acuosos diluidos. Factores calificadores: requiere concentración estable de afluentes Condición: incipiente.</p>
Micorrizas	<p>Residuos tratables: elementos de residuos peligrosos retenidos en el suelo. Factores calificadores: Condición: incipiente.</p>
Hongo blanco en descomposición (<i>Phanerochaete chrysosporium</i>)	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos halogenados tóxicos o refractarios en el suelo (es decir, 2,3,7,8-TCDD, DDT, mirex, lindano, hexaclorobenceno). Factores calificadores: Condición: incipiente.</p>
Cepas de levadura	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos halogenados. Factores calificadores: incluye ingeniería genética. Condición: incipiente.</p>

Fuente: Adaptado de la EPA (1989).

Cuadro C-4. Opciones de tratamiento por solidificación y estabilización para residuos peligrosos*

Método de tratamiento	Características
Solidificación y fijación con cemento	<p>Residuos tratables: lodos tratados y suelos que contienen cationes metálicos, residuos radiactivos y compuestos orgánicos sólidos (es decir, plásticos, resinas, alquitranes).</p> <p>Factores calificadores: (1) se desconoce la estabilidad/lixiabilidad a largo plazo, (2) la lignita, sedimentos y arcilla incrementan el tiempo de sedimentación, (3) sales de sulfato disueltas; se debe limitar los boratos y arsenatos.</p> <p>Condición: disponible.</p>
Solidificación y fijación con puzolana <ul style="list-style-type: none"> • Ceniza muy fina • Cal 	<p>Residuos tratables: lodos tratados y sólidos que contienen metales pesados, aceites residuales, solventes y residuos radiactivos de bajo nivel.</p> <p>Factores calificadores: (1) los boratos, sulfatos y carbohidratos interfieren en el proceso, (2) se desconoce la estabilidad/lixiabilidad a largo plazo.</p> <p>Condición: disponible.</p>
Encapsulamiento <ul style="list-style-type: none"> • Macroencapsulamiento • Sobre-empaque • Microencapsulamiento termoplástico • Termoestable 	<p>Residuos tratables: residuos orgánicos, inorgánicos o radiactivos estabilizados química o mecánicamente.</p> <p>Factores calificadores: (1) la matriz encapsuladora debe ser compatible con los residuos, (2) se desconoce la lixiabilidad a largo plazo, por ello, se debe considerar el almacenamiento de residuos, (3) requiere equipo especializado.</p> <p>Condición: disponible.</p>
Arcillas absorbentes <ul style="list-style-type: none"> • Tratadas • Modificados por procesos químicos 	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos halogenados y metales pesados.</p> <p>Factores calificadores: el lixiviado a largo plazo es un problema, por ello, se debe considerar el almacenamiento de residuos.</p> <p>Condición: innovadora.</p>
Vitrificación/cristalización	<p>Residuos tratables: suelos contaminados con residuos orgánicos, inorgánicos y radiactivos.</p> <p>Factores calificadores: limitado a suelos con alto contenido de sílice.</p> <p>Condición: disponible/innovadora.</p>

Fuente: Adaptado de la EPA (1989).

* Véase también el cuadro 6-2.

Cuadro C-5. Opciones de tratamiento térmico para residuos peligrosos

Método de tratamiento	Características
Incineración	
Horno rotatorio	<p>Residuos tratables: residuos orgánicos sólidos, líquidos o gaseosos. Factores calificadores: (1) los residuos en contenedores son difíciles de manejar, (2) los residuos con un alto contenido de sal o metales pesados requieren consideración especial, (3) se debe limitar la materia fina particulada. Condición: disponible.</p>
Horno fijo	<p>Residuos tratables: sólidos, líquidos y lodos voluminosos. Factores calificadores: el tamaño de la partícula debe ser lo suficientemente grande para no pasar por el tamiz. Condición: disponible.</p>
Solera múltiple	<p>Residuos tratables: sólidos granulados, lodos, alquitranes, líquidos y residuos de combustibles gaseosos. Factores calificadores: (1) se debe limitar el contenido de residuos, sal y metales, (2) el tamaño de la partícula debe ser lo suficientemente pequeño para pasar por las toberas de inyección, (3) no recomendable para residuos peligrosos. Condición: disponible.</p>
Lecho fluidificado	<p>Residuos tratables: sólidos, líquidos orgánicos y lodos. Factores calificadores: requiere bajo contenido de agua y sólidos inertes. Condición: disponible.</p>
Inyección de líquidos	<p>Residuos tratables: residuos orgánicos líquidos bombeables. Factores calificadores: (1) inapropiado para residuos con contenido orgánico y metales pesados, (2) los solventes clorados causan tasas aceleradas de corrosión. Condición: disponible.</p>
Incineración infrarroja	<p>Residuos tratables: suelos, sólidos y lodos contaminados con compuestos orgánicos clorados (es decir, BPC, dioxinas, explosivos). Factores calificadores: (1) principalmente para residuos orgánicos sólidos, (2) los metales pesados no están fijos en la ceniza. Condición: disponible.</p>
Caldera industrial	<p>Residuos tratables: sólidos, líquidos y lodos granulados. Factores calificadores: (1) requiere bajo contenido de cloro y azufre, (2) el contenido de ceniza obstruye el sistema, (3) partícula de tamaño pequeño. Condición: disponible.</p>

Cuadro C-5. (continuación)

Método de tratamiento	Características
Horno industrial	<p>Residuos tratables: revestimientos de ollas gastadas, aceites no halogenados, y líquidos y lodos contaminados con BPC. Factores calificadores: requiere bajo contenido de cloro y azufre. Condición: disponible.</p>
Otros tratamientos térmicos	
Oxidación de aire húmedo	<p>Residuos tratables: residuos acuosos con (<5%) con sustancias orgánicas volátiles suspendidas o disueltas. Factores calificadores: (1) inapropiado para sólidos, líquidos viscosos o compuestos orgánicos altamente halogenados, (2) no resulta económico para residuos concentrados o diluidos. Condición: disponible.</p>
Pirólisis	<p>Residuos tratables: líquidos viscosos, lodos, sólidos materiales con alto contenido de ceniza, sales y metales y residuos halogenados. Factores calificadores: (1) requiere residuos homogéneos, (2) metales y sales en el residuo pueden ser lixiviables. Condición: disponible.</p>
Desabsorción térmica <ul style="list-style-type: none"> • Baja temperatura • Alta temperatura 	<p>Residuos tratables: sólidos orgánicos contaminados, sedimento, lodos y diversas tortas de filtro. Factores calificadores: (1) sólo remueve contaminantes volátiles (desabsorción a baja temperatura) y semivolátiles (desabsorción a alta temperatura); (2) requiere >20 a 30% de sólidos; el alto contenido de humedad puede reducir la volatilización de los contaminantes; (3) el suelo arcilloso y con gran cantidad de aglomerantes puede conllevar a un rendimiento deficiente del proceso debido a la formación de aglomerantes. Condición: disponible.</p>
Oxidación supercrítica del agua	<p>Residuos tratables: solución orgánica acuosa/pasta aguada o residuos orgánicos/inorgánicos mixtos. Factores calificadores: Condición: incipiente</p>
Reactor eléctrico	<p>Residuos tratables: suelo contaminado con compuestos orgánicos e inorgánicos sólidos y líquidos. Factores calificadores: suelo contaminado debe estar finamente dividido y seco. Condición: innovadora.</p>
Vidrio fundido	<p>Residuos tratables: sólidos, líquidos, gases, lodos orgánicos (es decir, plásticos, BPC, asfalto, plaguicidas). Factores calificadores: (1) se debe limitar el sulfato de sodio a <1%, (2) inapropiado para suelos y residuos con alto contenido de cenizas. Condición: innovadora.</p>

Cuadro C-5. (continuación)

Método de tratamiento	Características
Sal fundida	<p>Residuos tratables: residuos con bajo contenido de cenizas, líquidos con bajo contenido de agua o residuos sólidos.</p> <p>Factores calificadores: (1) problemas de corrosión, (2) requiere reemplazo frecuente del lecho.</p> <p>Condición: innovadora.</p>
<p>Sistemas de plasma</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pirólisis en arco de plasma 	<p>Residuos tratables: residuos orgánicos líquidos (es decir, plaguicidas, dioxinas, BPC, compuestos orgánicos halogenados).</p> <p>Factores calificadores: sólo líquidos.</p> <p>Condición: ?</p>
Incinerador de oxígeno puro	<p>Residuos tratables: efluentes que requieren altas temperaturas para la destrucción o tienen valores bajos de calentamiento.</p> <p>Factores calificadores: requiere boquillas especiales para atomizar los efluentes.</p> <p>Condición: ?</p>
Calentamiento térmico por frecuencia de radio	<p>Residuos tratables: compuestos orgánicos volátiles de bajo punto de ebullición o de fácil descomposición en el suelo.</p> <p>Factores calificadores:</p> <p>Condición: innovadora.</p>

Fuente: Adaptado de la EPA (1989)

Cuadro C-6. Matriz de selección de tecnologías de tratamiento

NOTA: Las características específicas del sitio y los contaminantes limitan la aplicabilidad y efectividad de cualquiera de las tecnologías y tratamientos enumerados a continuación. Esta matriz es optimista y siempre debe usarse junto con las secciones de textos de referencias que contienen información adicional para identificar tecnologías potencialmente aplicables.	Condición de desarrollo	Disponibilidad	Producción de residuos	Proceso de tratamiento (excepto tratamiento de gases)	Contaminantes tratados					Confiability/mantenimiento del sistema	Tiempo de limpieza	Costo global	O&M o capital intensivo
					COV	COSV	Combustibles	Comp. inorgánicos	Explosivos				
SUELO, SEDIMENTO Y LODO													
3.1 Tratamiento biológico <i>in situ</i>													
4.1 Biodegradación	Total	■	Ninguno	No	■	■	■	▲	■	▲	▲	●	O&M
4.2 Bioventilación	Total	■	Ninguno	No	■	■	■	▲	I	■	●	■	Ninguno
4.3 Hongo blanco en descomposición	Piloto	▲	Ninguno	No	▲	▲	▲	▲	■	▲	▲	●	O&M
3.2 Tratamiento físico/biológico <i>in situ</i>													
4.4 Fracturación neumática (aumento)	Piloto	▲	Ninguno	Sí	●	●	●	●	●	■	NA	■	Ninguno
4.5 Inyección de agua en el suelo	Piloto	■	Líquido	No	■	●	●	■	▲	●	▲	I	O&M
4.6 Extracción de vapor del suelo (<i>in situ</i>)	Total	■	Líquido	No	■	●	■	▲	▲	■	●	■	O&M
4.7 Solidificación/estabilización	Total	■	Sólido	No	▲	●	▲	■	▲	■	■	■	CAP
3.3 Tratamiento térmico <i>in situ</i>													
4.8 EVS mediante tratamiento térmico mejorado	Total	●	Líquido	No	●	■	●	▲	▲	●	■	●	Ambos
4.9 Vitrificación	Piloto	▲	Líquido	No	●	●	●	■	▲	▲	■	▲	Ambos
3.4 Tratamiento biológico <i>ex situ</i> (si se asume excavación)													
4.10 Compostificación	Total	■	Ninguno	No	■	●	■	▲	■	■	●	■	Ninguno
4.11 Tratamiento biológico con control de la fase sólida	Total	■	Ninguno	No	■	●	■	▲	■	■	●	■	Ninguno
4.12 Cultivo en el terreno	Total	■	Ninguno	No	■	●	■	▲	●	■	▲	■	Ninguno
4.13 Tratamiento biológico de la fase acuosa	Total	●	Ninguno	No	■	●	■	▲	■	●	●	●	Ambos
3.5 Tratamiento fisicoquímico <i>ex situ</i> (si se asume excavación)													
4.14 Reducción/oxidación química	Total	■	Sólido	Sí	●	●	●	■	▲	■	■	●	Ninguno
4.15 Deshalogenación (DCB)	Total	▲	Vapor	No	●	■	▲	▲	▲	I	I	I	I
4.16 Deshalogenación (glicolato)	Total	●	Líquido	No	●	■	▲	▲	▲	▲	▲	▲	Ambos
4.17 Lavado de suelos	Total	●	Sólido, líquido	Sí	●	■	■	■	■	●	■	●	Ambos
4.18 Extracción de vapor del suelo (<i>ex situ</i>)	Total	■	Líquido	No	■	●	●	▲	▲	■	●	■	Ninguno
4.19 Solidificación/estabilización	Total	■	Sólido	No	▲	●	▲	■	▲	■	■	■	CAP
4.20 Extracción de solventes (extracción química)	Total	●	Líquido	Sí	●	■	●	▲	■	●	▲	▲	Ambos
3.6 Tratamiento térmico <i>ex situ</i> (si se asume excavación)													
4.21 Desabsorción térmica a altas temperaturas	Total	■	Líquido	Sí	●	■	●	▲	▲	●	■	●	Ambos
4.22 Descontaminación de gas caliente	Piloto	●	Ninguno	No	▲	▲	▲	▲	■	■	■	■	Ambos
4.23 Incineración	Total	■	Líquido, sólido	No	●	■	■	▲	■	●	■	▲	Ambos
4.24 Desabsorción térmica a bajas temperaturas	Total	■	Líquido	Sí	■	●	■	▲	■	●	■	■	Ambos
4.25 Quema al aire libre/detonación al aire libre	Total	■	Sólido	No	▲	▲	▲	▲	■	■	■	■	Ambos
4.26 Pirólisis	Total	▲	Líquido, sólido	No	●	■	●	▲	I	I	■	▲	Ambos
4.27 Vitrificación	Total	●	Líquido	No	●	●	●	■	▲	●	●	▲	Ambos
3.7 Otro tratamiento													

4.28 Excavación, recuperación y disposición fuera del sitio	NA	■	NA	No	●	●	●	●	●	■	■	▲	Ninguno
4.29 Atenuación natural	NA	■	Ninguno	No	■	■	■	▲	▲	■	▲	■	Ninguno
AGUAS SUBTERRÁNEAS, AGUAS SUPERFICIALES Y LIXIVIADO													
3.8 Tratamiento biológico <i>in situ</i>													
4.30 Tratamiento co-metabólico	Piloto	▲	Ninguno	No	■	■	●	▲	●	▲	●	●	O&M
4.31 Circulación de nitrato	Piloto	▲	Ninguno	No	■	■	■	▲	●	●	●	■	Ninguno
4.32 Incremento de oxígeno con inyección de aire	Total	■	Ninguno	No	■	■	■	▲	●	■	●	■	Ninguno
4.33 Incremento de oxígeno con H ₂ O ₂	Total	■	Ninguno	No	■	■	■	▲	●	▲	●	●	O&M
3.9 Tratamiento fisicoquímico <i>in situ</i>													
4.34 Inyección de aire	Total	■	Vapor	Sí	■	▲	■	▲	▲	■	■	■	Ninguno
4.35 Pozos de dirección (aumento)	Total	▲	NA	Sí	●	●	●	●	●	●	■	I	Ninguno
4.36 Extracción en doble fase	Total	■	Líquido, vapor	Sí	■	▲	■	▲	▲	●	●	●	O&M
4.37 Recuperación de productos libres	Total	■	Líquido	No	▲	■	■	▲	▲	●	■	■	Ninguno
4.38 Inyección/separación de agua o vapor caliente	Piloto	●	Líquido, vapor	Sí	●	■	■	▲	▲	▲	■	●	CAP
4.39 Hidrofracturación (aumento)	Piloto	I	Ninguno	Sí	●	●	●	●	●	■	■	●	Ninguno
4.40 Paredes de tratamiento pasivo	Piloto	▲	Sólido	No	■	■	●	■	■	I	▲	I	CAP
4.41 Paredes de pasta aguada (sólo contención)	Total	■	NA	NA	●	●	●	●	●	■	■	■	CAP
4.42 Extracción de vapor al vacío	Piloto	▲	Líquido, vapor	No	■	●	■	I	▲	■	●	●	CAP
3.10 Tratamiento biológico <i>ex situ</i> (si se asume bombeo)													
4.43 Biorreactores	Total	■	Sólido	No	■	■	■	▲	●	●	NA	■	CAP
3.11 Tratamiento fisicoquímico <i>ex situ</i> (si se asume bombeo)													
4.44 Separación por aire	Total	■	Líquido, vapor	No	■	●	●	▲	▲	■	NA	■	O&M
4.45 Filtración	Total	■	Sólido	Sí	▲	▲	▲	■	●	■	■	■	Ninguno
4.46 Intercambio de iones	Total	■	Sólido	Sí	▲	▲	▲	■	▲	■	●	■	Ninguno
4.47 Adsorción de carbón en la fase líquida	Total	■	Sólido	No	■	■	●	●	■	■	NA	▲	O&M
4.48 Precipitación	Total	■	Sólido	Sí	▲	▲	▲	■	I	■	●	■	Ninguno
4.49 Oxidación UV	Total	■	Ninguno	No	■	■	■	▲	■	▲	NA	●	Ambos
3.12 Otro tratamiento													
4.50 Atenuación natural	NA	■	Ninguno	No	■	■	■	▲	▲	■	▲	■	Ninguno
3.13 TRATAMIENTO DE EMISIONES AL AIRE/GASES													
4.51 Biofiltración	Total	●	Ninguno		■	■	■	▲	●	▲	NA	●	Ninguno
4.52 Corona de alta energía	Piloto	▲	Ninguno	NA	■	■	■	●	▲	▲	NA	●	I
4.53 Separación de membranas	Piloto	▲	Ninguno		■	●	●	▲	●	▲	NA	●	I
4.54 Oxidación	Total	■	Ninguno		■	■	■	▲	●	■	NA	■	Ninguno
4.55 Adsorción de carbón en la fase de vapor	Total	■	Sólido		■	■	■	●	■	■	NA	■	Ninguno
Códigos de clasificación (véase el cuadro C-7)													
■ Mejor				I Información inadecuada									
● Promedio				NA No aplicable									
▲ Peor													

Cuadro C-7. Definición de los símbolos usados en la selección de tecnologías de tratamiento (DOD/ETTC, 1994)

Factores y definiciones	Peor ▲	Promedio ●	Mejor ■
Disponibilidad Número de vendedores que pueden diseñar, construir y mantener la tecnología	Sólo dos vendedores	Dos a cuatro vendedores	Más de cuatro vendedores
Contaminantes tratados	No se espera efectividad	Efectividad limitada o no orientada (es decir, tratamiento de COV a través de EVS mediante tratamiento térmico mejorado)	Este contaminante es uno de los objetivos del tratamiento de esta tecnología
Confiabilidad/ mantenimiento del sistema Nivel de confiabilidad del sistema y nivel de mantenimiento requerido cuando se usa la tecnología	Baja confiabilidad y alto mantenimiento	Confiabilidad y mantenimiento promedios	Alta confiabilidad y bajo mantenimiento
Tiempo de limpieza Tiempo requerido para limpiar un sitio “estándar” con la tecnología. Se asume que el sitio “estándar” es de 20.000 toneladas (18.200 toneladas métricas) para suelos y un millón de galones (3.785.000 litros) para aguas subterráneas	Más de tres años para suelo <i>in situ</i>	Uno a tres años	Menos de un año
	Más de un año para suelo <i>ex situ</i>	Medio año a un año	Menos de medio año
	Más de 10 años para agua	Tres a 10 años	Menos de tres años
Costo global Costo de diseño, construcción y operación y mantenimiento (O&M) del proceso global que define cada tecnología, excepto movilización, desmovilización y pre y post-tratamiento. Para tecnologías <i>ex situ</i> de suelo, sedimento y lodos, se asume que los costos de excavación promedian \$55,00/t métrica (\$50/t). Para tecnologías <i>ex situ</i> de aguas subterráneas, se asume que los costos de bombeo promedian \$0,07/1.000 litros (\$0,25/1.000 galones)	Más de \$330/t métricas (\$300/t) para suelos	\$110-\$330/t métricas (\$100-\$300/t)	Menos de \$110/t métrica (\$100/t)
	Más de \$2,64/1.000 litros (\$10/1.000 gal) para aguas subterráneas	\$0,79-\$2,64/1.000 litros (\$3,00-10,00/1.000 galones)	Menos de \$0,79/1.000 litros (\$3,00/1.000 galones)
	Más de \$11,33/kg (\$25/lb) para emisiones al aire y gases	\$3,17-\$11,33/kg (\$7-\$25/lb)	Menos de \$3,17/kg (%\$/lb)

Fuente: *Remediation technologies screening matrix and reference guide*, versión I (EPA, USAF, 1993).

Cuadro C-8. Definición de las tecnologías de tratamiento (DOD/ETTC, 1994)

Tecnología	Descripción
SUELO, SEDIMENTO y LODO	
Tratamiento biológico <i>in situ</i>	
Biodegradación	La actividad de los microbios naturales es estimulada por soluciones acuosas que circulan a través de suelos contaminados para aumentar la degradación biológica <i>in situ</i> de los contaminantes orgánicos. Los nutrientes, oxígeno u otros mejoradores pueden acelerar la biodegradación y desabsorción de contaminantes de los materiales subsuperficiales.
Bioventilación	El oxígeno llega a suelos no saturados contaminados a través del movimiento de aire forzado (ya sea por extracción o inyección de aire) para incrementar las concentraciones de oxígeno y estimular la biodegradación.
Hongo blanco en descomposición	El hongo blanco en descomposición degrada una amplia variedad de contaminantes orgánicos porque su sistema de enzimas deteriora la lignina y la madera. Se ha probado la descomposición <i>in situ</i> y en biorreactores.
Tratamiento fisicoquímico <i>in situ</i>	
Fracturación neumática	Se inyecta aire presurizado por debajo de la superficie para crear grietas en sedimentos sobreconsolidados de baja permeabilidad que abren nuevas vías que incrementan la efectividad de los procesos <i>in situ</i> y la extracción.
Inyección de agua en el suelo	El agua, que puede tener un aditivo para aumentar la solubilidad de los contaminantes, se aplica al suelo o se inyecta en las aguas subterráneas para elevar el nivel del agua en la zona del suelo contaminado. Los contaminantes son lixiviados en las aguas subterráneas, que luego son extraídas y tratadas.
Extracción de vapor del suelo	Se crea un vacío a través de los pozos de extracción para lograr una gradiente de presión/concentración que induce a los compuestos volátiles de la fase gaseosa a difundirse a través del suelo hacia los pozos de extracción. El proceso incluye un sistema para el manejo de gases. Esta tecnología también se conoce como ventilación del suelo <i>in situ</i> , volatilización <i>in situ</i> , volatilización mejorada y extracción del suelo al vacío.
Solidificación/estabilización	Los contaminantes se adhieren o encierran físicamente en una masa estabilizada (solidificación) o se inducen reacciones químicas entre el agente estabilizador y los contaminantes para reducir su movilidad (estabilización).
Tratamiento térmico <i>in situ</i>	
Extracción de vapor del suelo mediante tratamiento térmico mejorado	La inyección de aire caliente/vapor o calentamiento por frecuencia de radioeléctrica se usa para incrementar la movilidad de los compuestos volátiles y facilitar la extracción. El proceso incluye un sistema para el manejo de gases.
Vitrificación	Los electrodos para la aplicación de electricidad se usan para fundir los suelos y lodos contaminados, lo cual produce una estructura de vidrio y cristalina con poco lixiviado.
Tratamiento biológico <i>ex situ</i> (si hay excavación)	
Compostificación	El suelo contaminado se excava y mezcla con agentes voluminosos y mejoradores orgánicos tales como virutas de madera, residuos animales y vegetales para aumentar la porosidad y contenido orgánico de la mezcla que va a ser descompostificada.
Tratamiento biológico con control de la fase sólida	Los suelos excavados se mezclan con mejoradores del suelo y se cercan. Los procesos incluyen lechos de tratamiento preparados, celdas de biotratamiento, pilas de suelo y compostificación.
Cultivo en el terreno	Los suelos contaminados se aplican a la superficie del suelo y se voltean o cultivan periódicamente para airear los residuos.

Cuadro C-8. (continuación)

Tecnología	Descripción
Tratamiento biológico de la fase aguada	Se prepara una pasta aguada con suelo o lodo y otros aditivos. La pasta aguada se mezcla para mantener los sólidos suspendidos y microorganismos en contacto con los contaminantes. Cuando concluye el proceso, la pasta aguada se deshidrata y se dispone el suelo tratado.
Tratamiento fisicoquímico <i>ex situ</i> (si se asume excavación)	
Reducción/oxidación química	La reducción/oxidación química convierte los contaminantes peligrosos en no peligrosos o compuestos menos tóxicos que son más estables, menos móviles o inertes. Los agentes oxidantes más usados son ozono, peróxido de hidrógeno, hipocloritos, cloro y dióxido de cloro.
Catalizador base Descomposición Deshalogenación	El suelo contaminado se tamiza, se procesa con un triturador y amasadero y se mezcla con NaOH y catalizadores. La mezcla se calienta en un reactor rotatorio para deshalogenar y volatizar parcialmente los contaminantes.
Deshalogenación de glicolatos	Un reactivo de glicol de polietileno alcalino (GPEA) se usa para deshalogenar los compuestos aromáticos halogenados en un reactor en serie. El glicol de polietileno de potasio (GPEK) es el reactivo de GPEA más común. Los suelos contaminados y el reactivo se mezclan y calientan en un envase de tratamiento. En el proceso de GPEA, la reacción hace que el glicol de polietileno reemplace las moléculas halógenas para que el compuesto se torne no peligroso. Por ejemplo, la reacción entre compuestos orgánicos clorados y GPEK origina el reemplazo de una molécula de cloro y reduce la toxicidad.
Lavado de suelos	Los contaminantes absorbidos en partículas finas del suelo se separan del suelo en un sistema acuoso basado en el tamaño de la partícula. El agua del lavado puede incrementarse con un agente de lixiviado básico, termotolerante, ajuste de pH, o agente quelante para remover los compuestos orgánicos y metales pesados.
Extracción de vapor del suelo	Se crea vacío en una red de tuberías sobre el suelo para fomentar la volatilización de compuestos orgánicos del medio excavado. El proceso incluye un sistema para el manejo de gases.
Solidificación/estabilización	Los contaminantes se adhieren o encierran físicamente en una masa estabilizada (solidificación) o se inducen reacciones químicas entre el agente estabilizador y los contaminantes para reducir su movilidad (estabilización).
Extracción de solventes	Los residuos y el solvente se mezclan en un extractor y el contaminante orgánico se disuelve en el solvente. Luego, los compuestos orgánicos extraídos y el solvente se colocan en un separador, donde se separan para su tratamiento y posterior uso.
Tratamiento térmico <i>ex situ</i> (si hay excavación)	
Desabsorción térmica a altas temperaturas	Los residuos se calientan a 315-538 °C (600-1.000 °F) para volatilar el agua y los contaminantes orgánicos. Un gas transportador o sistema al vacío transporta el agua volatilizada y los compuestos orgánicos al sistema de tratamiento de gases.
Descontaminación de gas caliente	El proceso incluye elevar la temperatura del equipo o material contaminado durante un tiempo determinado. El efluente del gas del material se trata en un sistema de combustión retardada para destruir los contaminantes volatilizados.
Incineración	Las altas temperaturas, 871-1.204 °C (1.600-2.200 °F) se usan para quemar (en presencia del oxígeno) los compuestos orgánicos en los residuos peligrosos.
Desabsorción térmica a bajas temperaturas	Los residuos se calientan a 93-315 °C (200-600 °F) para volatilar el agua y los contaminantes orgánicos. Un gas transportador o sistema al vacío transporta el agua volatilizada y los compuestos orgánicos al sistema de tratamiento de gases.

Cuadro C-8. (continuación)

Tecnología	Descripción
Quema al aire libre	En operaciones de QAL, los explosivos o municiones se destruyen por combustión

/detonación al aire libre (QAL/DAL)	autosostenida, que es encendida por una fuente externa que puede ser una llama, calor o una onda detonadora (que no conlleva a la detonación). En operaciones de DAL, los explosivos y municiones detonadores se destruyen por la detonación que produce la carga de disposición.
Pirólisis	La descomposición química se induce en materiales orgánicos mediante calor en ausencia de oxígeno. Los materiales orgánicos se transforman en componentes gaseosos y en un residuo sólido (coque) que contiene carbono fijo y ceniza.
Vitrificación	Los suelos y lodos contaminados se funden a altas temperaturas para formar una estructura de vidrio cristalina con bajo contenido de lixiviado.
Otros tratamientos	
Excavación y disposición fuera del sitio	El material contaminado se remueve y transporta para permitir el tratamiento y disposición fuera del sitio. Se puede requerir pretratamiento.
Atenuación natural	Los procesos naturales subsuperficiales – tales como dilución, volatilización, biodegradación, adsorción y reacciones químicas con materiales subsuperficiales – permiten reducir la concentración de los contaminantes a niveles aceptables.
AGUAS SUBTERRÉNEAS, AGUAS SUPERFICIALES Y LIXIVIADO	
Tratamiento biológico <i>in situ</i>	
Procesos co-metabólicos	Una aplicación incipiente incluye la inyección de agua que contiene metano y oxígeno disuelto a las aguas subterráneas para incrementar la degradación biológica metanotrófica.
Circulación de nitrato	El nitrato se circula por todas las zonas de contaminación de aguas subterráneas como un aceptor de electrones alternativo para la oxidación biológica de los contaminantes orgánicos por microbios.
Incremento de oxígeno mediante inyección de aire	El aire se inyecta bajo presión por debajo del nivel del agua para incrementar la concentración de oxígeno de las aguas subterráneas y la tasa de degradación biológica de los contaminantes orgánicos a través de microbios naturales.
Incremento de oxígeno con peróxido de hidrógeno	Una solución diluida de peróxido de hidrógeno circula por toda la zona de aguas subterráneas contaminadas para incrementar el contenido de oxígeno de las aguas subterráneas e incrementar la tasa de biodegradación aerobia de los contaminantes orgánicos por los microbios.
Tratamiento fisicoquímico <i>in situ</i>	
Inyección de aire	El aire se inyecta en matrices saturadas para remover los contaminantes a través de la volatilización.
Pozos de dirección (aumento)	Se usan técnicas de perforación para posicionar los pozos horizontalmente o a cierto ángulo y para llegar a los contaminantes difíciles de acceder a través de la perforación vertical directa.
Extracción en doble fase	Se aplica un sistema al vacío para remover simultáneamente el líquido y gas de las formaciones heterogéneas o de poca permeabilidad.
Recuperación de productos libres	Los compuestos orgánicos no disueltos de la fase líquida se remueven de las formaciones subsuperficiales, ya sea mediante métodos activos (es decir, bombeo) o un sistema de recolección pasivo.
Inyección de agua o vapor caliente	El vapor se fuerza en un acuífero a través de pozos de inyección para vaporizar los contaminantes volátiles y semivolátiles. Los componentes vaporizados llegan a la zona no saturada donde se remueven por extracción al vacío y luego se tratan.

Cuadro C-8. (continuación)

Tecnología	Descripción
Hidrofracturación (aumento)	La inyección de agua presurizada a través de pozos agrieta la poca permeabilidad y sobreconsolida los sedimentos. Las grietas se llenan con medios porosos que sirven como rutas para la biorremediación o para mejorar la eficiencia de bombeo.
Paredes de tratamiento pasivo	Estas barreras permiten el paso del agua a la vez que prohíben el movimiento de los contaminantes, ya que emplean quelantes (ligantes seleccionados por su especificidad para un determinado metal), absorbentes, microbios y otros.
Paredes de pasta aguada	Estas barreras subsuperficiales constan de zanjas excavadas verticalmente llenas de pasta aguada. La pasta aguada, generalmente una mezcla de bentonita y agua, acoda hidráulicamente la zanja para prevenir su colapso y retarda el flujo de las aguas subterráneas.
Extracción de vapor al vacío	Se inyecta aire en un pozo para elevar el nivel del agua subterránea contaminada y permitir la entrada adicional de agua subterránea. Dentro del pozo, algunos de los COV del agua subterránea contaminada pasan a las burbujas de aire, que se elevan y se recogen en la parte superior del pozo mediante la extracción de vapor.
Tratamiento biológico <i>ex situ</i> (si se asume bombeo)	
Biorreactores	Los contaminantes en las aguas subterráneas extraídas se ponen en contacto con los microorganismos en reactores biológicos de crecimiento suspendido o retenido. En los sistemas suspendidos, como los lodos activados, las aguas subterráneas contaminadas circulan en una cuenca de aereación. En sistemas de retención, tales como contactores biológicos rotatorios y filtros percoladores, los microorganismos permanecen en una matriz de soporte inerte.
Tratamiento fisicoquímico <i>ex situ</i> (si se asume bombeo)	
Separación por aire	Los compuestos orgánicos volátiles se separan de las aguas subterráneas al incrementar el área superficial del agua contaminada expuesta al aire. Los métodos de aereación incluyen torres empacadas, aereación difusa, aereación en bandeja y aereación por rocío.
Filtración	La filtración retiene las partículas sólidas cuando un flujo pasa a través de un medio poroso. La fuerza conductora es la gravedad o la diferencia de presión en el medio filtrante.
Intercambio de iones	El intercambio de iones remueve iones de la fase acuosa mediante el intercambio con iones inocuos en el medio de intercambio.
Adsorción de carbón en la fase líquida	El agua subterránea se bombea a través de una serie de recipientes o columnas que contienen carbón activado y absorben los contaminantes orgánicos disueltos. Se requiere el reemplazo o regeneración periódica del carbón saturado.
Precipitación	Este proceso transforma los contaminantes disueltos en un sólido insoluble, lo cual facilita la posterior remoción del contaminante de la fase líquida a través de la sedimentación o filtración. Generalmente, el proceso emplea ajuste de pH, adición de un precipitante químico y floculación.
Oxidación UV	Se usa la radiación ultravioleta (UV), ozono o peróxido de hidrógeno para destruir los contaminantes orgánicos a medida que el agua fluye al tanque de tratamiento. La unidad de destrucción de ozono trata los gases del tanque de tratamiento.
Otros tratamientos	
Atenuación natural	Los procesos subsuperficiales naturales – tales como la dilución, volatilización, biodegradación, adsorción y reacciones químicas con materiales subsuperficiales – permiten reducir la concentración de los contaminantes a niveles aceptables.

Cuadro C-8. (continuación)

Tecnología	Descripción
EMISIONES DEL AIRE/TRATAMIENTO DE GASES	
Biofiltración	Los contaminantes orgánicos de la fase de vapor se bombean a través de un lecho de suelo y se absorben en la superficie del suelo donde son degradados por los microorganismos.
Corona de alta energía (CAE)	El proceso de CAE usa alto voltaje para destruir los COV a la temperatura ambiente.
Separación de membranas	Esta tecnología de separación orgánica de vapor/aire incluye el transporte preferencial de vapores orgánicos a través de una membrana no porosa de separación de gases (un proceso de difusión análogo a colocar aceite caliente en un pedazo de papel de cera).
Oxidación	Los contaminantes orgánicos se destruyen en una cámara de combustión a alta temperatura 1.000 °C (1.832 °F). Los compuestos orgánicos traza en corrientes de aire contaminadas se destruyen a temperaturas más bajas, 450 °C (842 °F), que la combustión convencional cuando se pasa la mezcla a través de un catalizador.
Adsorción de carbón en la fase de vapor	Los gases se bombean a través de una serie de recipientes o columnas que contienen carbón activado y absorben los contaminantes orgánicos. Se requiere el reemplazo o regeneración periódica del carbón saturado.

Cuadro C-9. Índice para textos y cuadros adicionales con información sobre opciones de tratamiento de residuos peligrosos

Categoría/tecnología de tratamiento	Cuadros	Figuras
Físico (véase también lodos)		
Separación por aire (sección ¹ 6.2.1)	6-4, 6-5, 6-7, 6-8, 6-9, 6-12, 6-13, 6-14, C-1, C-6	6-3, 6-12
Mezclado (líquidos de bajo BTU/alta viscosidad)	6-7	
Sólidos voluminosos		
Desmenuzadoras	6-4, 6-7	
Trituradora a martillos	6-4, 6-7	
Trituradoras	6-4, 6-7	
Adsorción de carbón (sección 6.2.2)	5-4, 6-5, 6-7, 6-8, 6-9, 6-12, 6-13, 6-14, C-1, C-6	6-4, 6-12
Carbón activado en polvo (CAP)	6-9, 6-14	
Centrifugación	6-4, 6-7, C-1	6-2
Clarificación (sección 5.2.2)	6-12, 6-13	5-2d
Criotratamiento	C-1	
Congelamiento		6-2
Cristalización	6-4, 6-6, C-1	
Deshidratación	6-7	
Diálisis	6-4, 6-6	6-2
Destilación	6-4, 6-5, 6-6, 6-7, C-1	6-2, 6-12
Decantación	6-4, 6-7	
Secado		6-12
Electrodiálisis	6-4, 6-6	6-2
Electrocínética	C-1	
Descomposición de la emulsión (sección 5.2.2)	5-4, 6-13	5-2c
Compensación (sección 5.2.1)	5-4, 6-4, 6-12, 6-13	5-1
Evaporación	6-4, 6-5, 6-7, 6-8, 6-12, C-1	6-2
Evaporación en capa delgada		6-12
Evaporación/deshidratación	6-5	
Extracción		
Extracción de solventes	6-4, 6-5, 6-6, 6-7, 6-12, C-1, C-6	6-2, 6-12
Extracción líquido-líquido	6-8	
Extracción química	6-10, 6-11	
Lavado de suelos	C-6	
Extracción supercrítica de fluidos	6-4, C-1	6-12
Extracción de CO ₂ líquido (sección 6.2.3)	6-13	6-5b
Afrones de gas coloidal (AGC)	C-1	
Filtración	6-4, 6-5, 6-7, 6-12, C-6	
Presión de la cámara	C-1	
Vacío	C-1	
Floculación (sección 5.2.2)	5-4, 6-13, 6-14, C-1	

Cuadro C-9. (continuación)

Categoría/tecnología de tratamiento	Cuadros	Figuras
Flotación	6-4, 6-7, 6-12	
Flotación de aire (sección 5.2.2)	5-4, 6-13, C-1	5-2b
Separación de espuma	6-12	6-2
Fraccionamiento	6-7	
Filtración de medios granulares	5-4, 6-9, 6-13, 6-14, C-1	
Filtros de arena (sección 5.2.2)		
Filtración de medios múltiples granulares (sección 5.2.2)		5-3
Desarenador (sección 5.2.1)	5-4	
Adsorción de lignina	C-2	
Aeración mecánica de sólidos	C-1	
Separación de membranas	6-5, 6-12	
Enlace metálico	C-1	
Separación de aceite/grasa (aceite/agua)	5-4, 6-9, 6-12, 6-14	
Separación por fases	6-5	
Adsorción de resinas	6-7, 6-8, 6-12, C-1	6-12
Ósmosis inversa (sección 6.2.3)	6-4, 6-6, 6-9, 6-13, 6-14, C-1	6-2, 6-5 a
Tamizado (sección 5.2.1)	6-4, 6-7, 6-12	
Tamices de malla gruesa (barra, malla)	5-4	
Tamices de malla fina (sección 5.2.2)	5-4	6-2
Sedimentación (gravedad) (sección 5.2.2)	5-4, 6-4, 6-7, 6-9, 6-13, 6-14, C-1	5-2 a, 6-2
Decantación	6-4, 6-7	
Separación por vapor	6-4, 6-7, 6-8, 6-9, 6-12, 6-14, C-1	6-12
Ultrafiltración (sección 6.2.3)	6-9, 6-13, 6-14, C-1	6-2
Químico		
Reducción química	6-9, 6-12, 6-14, C-2, C-6	
Reducción de cromo (sección 6.2.7)	6-4, 6-13	
Clorólisis	6-7, 6-8, C-2	
Dstrucción de cianuro (sección 6.2.6)	6-13	
Cloración	6-4	
Deshalogenación/descloración	6-7, 6-8, 6-10	
Catalizador base	C-6	
Glicolato	6-10, C-2, C-6	
Electroquímica	C-2	
Electrólisis/recuperación electrolítica (sección 6.2.8)	6-13, C-1	6-7
Hidrólisis	C-2	
Intercambio de iones (sección 6.2.9)	6-4, 6-5, 6-6, 6-9, 6-12, 6-13, 6-14, C-2, C-6	6-2, 6-8
Neutralización (sección 6.2.4)	6-1, 6-4, 6-5, 6-9, 6-12, 6-14, C-2	
Mezcla ácida/alcalina (neutralización mutua)	6-1, 6-4	
Piedra caliza	6-1, 6-4	
Cal	6-1, 6-4	

Cuadro C-9. (continuación)

Categoría/tecnología de tratamiento	Cuadros	Figuras
Soda cáustica	6-1, 6-4	
Ácido sulfúrico	6-1, 6-4	
Ácido hidrolórico	6-1, 6-4	
Ácido carbónico/CO ₂ líquido	6-1, 6-4	
Oxidación	5-4, 6-4, 6-14	
Oxidación química	6-4, 6-7, 6-8, 6-12, C-2, C-6	6-12
Cloración	5-4, 6-9, C-2	
Ozonización	5-4, 6-4, 6-7, 6-8, 6-12, C-2	
Radiación UV	5-4, C-6	
Ozono/radiación UV		6-12
UV/fotólisis	C-2	
Polimerización	C-2	
Precipitación/coagulación (sección 6.2.5)	5-4, 6-4, 6-5, 6-9, 6-12, 6-13, 6-14, C-1, C-2, C-6	6-6
Precipitación de sulfuro	6-12, C-2	
Xantato en almidón	6-12	
Biológico (acuoso)		
General	6-8, 6-12	
Lodos activados (sección 5.3.3)	5-4, 5-8, 6-5, 6-7, 7-9, 6-13, 6-14, C-3	
Convencional	5-4	5-4 a
Estabilización por contacto	5-4	
Aereación extendida	5-4, 5-8	5-4b
Zanja de oxidación	5-4, 5-8	5-4c
Canales triples	5-8	
Reactor discontinuo (RD)	5-4, 6-9, 6-13, 6-14	5-4d
Tratamiento anaerobio (sección 5.3.6)	5-4, C-3	
Tanques sépticos/Imhoff	5-4	
Tanques biolíticos (biomasa suspendida)	5-4	
Filtros/discos sumergidos (biomasa fija)	5-4	
Bioreacto de CAG-lecho expandido (sección 6.2.10)		6-9
Filtros biológicos (sección 5.3.4)	5-4	
Medios fijos	5-4	
Filtro percolador	6-7, 6-9, 6-14, C-3	
Filtro percolador con medios de plástico	5-8	
Filtro percolador con medios de piedra	5-8	
Filtro percolador – contacto con sólidos		5-7
Contactador biológico rotatorio (sección 6.2.10)	5-4, 6-9, 6-14, C-3	5-6
Biotorre/reactor aereado de capa biológica	6-13, C-3, C-6	5-5
Sistema dual/doble etapa(sección 5.3.5)	5-4	

Cuadro C-9. (continuación)

Categoría/tecnología de tratamiento	Cuadros	Figuras
Estanques/lagunas (sección 5.3.2)	5-4, C-3	
Aerobias	5-4, 5-7, 5-8	
Facultativas aerobias	5-4, 5-7	
Aereadas	5-8, 6-7	
Aerobias aereadas	5-4, 5-7	
Facultativas aereadas	5-4, 5-7	
Contención total	5-4	
Descarga hidrográfica controlada	5-4	
Lagunas de pulimento	5-4, 5-8	
Tratamiento en el terreno (sección 5.3.1)	5-4	
Infiltración rápida	5-4, 5-5	
Tasa lenta (aspersión)	5-4, 5-5, 5-6	
Escorrentía superficial	5-4, 5-5	
Absorción del suelo subsuperficial	5-4, 5-5	
Otro tratamiento biológico		
Adición/tratamiento de enzimas	C-3	
Micorrizas	C-3	
Hongo blanco en descomposición	C-3	
Cepas de levadura	C-3	
Tratamiento biológico (lodos/suelos)		
General	6-8, 6-10, 6-11	
Compostificación	C-3, C-6	
Tratamiento con control de la fase sólida	C-6	
Cultivo en el terreno	C-6	
Tratamiento en la fase acuosa (sección 6.2.10)	C-6	
Solidificación/estabilización (sección 6.3.1)		
Encapsulamiento	6-2, 6-7, C-4	
Fijación	6-5	
Inmovilización	6-11	
Arcillas absorbentes	C-4	
Solidificación con cemento	6-2, 6-4, 6-7, 6-10	6-10
Solidificación con puzolana	C-4	
Estabilización	6-2, 6-10	
Vitrificación	6-8, 6-10, C-4, C-6	
Tratamiento térmico		
Reactor eléctrico	6-7, 6-8, C-5	
Incineración (sección 6.3.2)	6-3, 6-4, 6-5, 6-12, C-6	6-11, 6-12

Cuadro C-9. (continuación)

Categoría/tecnología de tratamiento	Cuadros	Figuras
Horno rotatorio	6-7, 6-8, 6-10, C-5	
Inyección de líquidos	6-7, 6-8, C-5	
Lecho fluidificado	6-7, 6-8, 6-10, C-5	
Lecho fluidificado circulante	6-7, 6-8	
Soleras fijas/múltiples	6-8, C-5	
Infrarrojo	6-10, C-5	
Horno industrial	6-8, C-5	
Caldera industrial	6-8, C-5	
Vidrio fundido	6-7, 6-8, C-5	
Sal fundida	6-7, 6-8, C-5	
Sistemas de plasma (arco de plasma)	6-7, 6-8, C-5	
Incinerador de oxígeno puro	C-5	
Pirólisis (sección 6.3.3)	6-5, 6-7, 6-10, C-5, C-6	
Unidades de pirólisis en horno	6-8	
Pirólisis alcalina	6-12	
Calentamiento térmico por frecuencia de radio	C-5	
Oxidación supercrítica del agua (sección 6.3.3)	6-7, 6-8, C-5	
Descomposición/destrucción térmica	6-4, 6-6, 6-7, 6-11	
Desabsorción/separación térmica (sección 6.3.3)		
Baja temperatura	6-10, 6-11, C-5, C-6	
Alta temperatura	C-5, C-6	
Oxidación de aire húmedo (sección 6.3.3)	6-4, 6-5, 6-7, 6-8, 6-9, 6-12, 6-14, C-5	6-12

¹ Secciones del texto relacionadas con el método.

HOJA DE TRABAJO D

INFORMACIÓN PARA SELECCIONAR PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO PELIGROSAS

Esta hoja de trabajo resume las características y eficiencias de remoción de los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales que pueden usarse en una planta común de tratamiento de efluentes (PCTE).

D.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A continuación se describe un procedimiento para la evaluación preliminar y comparación de las opciones de tratamiento para aguas residuales no peligrosas. Este procedimiento permite al lector identificar opciones para la evaluación preliminar de costos descrita en la sección 5.4.2.

Antes de leer esta hoja de trabajo se debe revisar el capítulo 5, especialmente las secciones sobre procesos de tratamiento (sección 5.2 y 5.3) y los criterios de selección (sección 5.4.1). Las hojas de trabajo D-1 y D-2 facilitan este procedimiento y permiten comparar hasta tres tecnologías en una página. Si se van a evaluar más de tres, use hojas de trabajo adicionales.

Para completar la hoja de trabajo D-1:

- Paso 1. Seleccione las opciones de tratamiento de aguas residuales a ser evaluadas del cuadro D-1, basado en información disponible sobre calidad de aguas residuales, características del sitio y cualquier otro criterio de selección inicial. Por ejemplo, se puede elegir criterios de selección inicial que excluyan cualquier tecnología con un alto costo global (fila 1) y baja eficiencia en función de los costos (fila 2). Ingrese las tecnologías a ser evaluadas en la parte superior de las columnas de opción en la hoja de trabajo D-1.
- Paso 2. Califique los criterios de evaluación de acuerdo con su importancia, coloque una P (primario) o S (secundario) en la segunda columna de cada criterio. Introduzca la calificación más favorable (B, M, A, MA, S o N) para cada criterio de acuerdo con las opciones de tratamiento que serán evaluadas en la tercera columna de la hoja de trabajo D-1.
- Paso 3. Ingrese las calificaciones del cuadro D-1 para cada uno de los 21 criterios de selección de cada opción de tratamiento en las columnas 3 a 5. Revise las calificaciones de acuerdo con la información disponible del proyecto específico y ajústelas según convenga.

Paso 4. Haga un círculo alrededor de las columnas 3 a 5 que equivalgan a la calificación más favorable y cuente el número de criterios primarios y secundarios en cada columna que reciban la calificación más favorable. Ingrese los totales al final de cada columna. Esto brinda una base semicuantitativa para comparar opciones que pueden ser útiles para seleccionar aquellas que no requieran una evaluación adicional.

Para procesos de tratamiento biológico, también se deben evaluar las ventajas y desventajas de los métodos específicos identificadas en la sección 5.3.

Para completar la hoja de trabajo D-2:

La hoja de trabajo D-2 puede usarse para hacer una evaluación preliminar del proceso específico de tratamiento con respecto al nivel requerido por los estándares de descarga de efluentes (sección 5.1.5) o para seleccionar las opciones que pueden brindar el nivel más alto de tratamiento. Se puede usar junto con la hoja de trabajo D-1 o por separado para evaluar las opciones identificadas en los cuadros D-2 a D-5 que no se enumeran en el cuadro D-1. También se puede usar para determinar si los contaminantes en los afluentes exceden los estándares de pretratamiento para la descarga a una PCTE o si pueden inhibir los procesos de tratamiento biológico. Si bien esta hoja de trabajo puede usarse sin información específica sobre las características de las aguas residuales a ser tratadas, sería más útil si estuviese disponible.

Paso 5. Introduzca las tecnologías a ser evaluadas en la parte superior de cada columna de opciones. Para cada parámetro de aguas residuales, ingrese una concentración de residuos conocida o estimada en la segunda columna de la hoja de trabajo D-2.

Paso 6. Identifique cualquier límite aplicable con los cuales se evaluarían las concentraciones de aguas residuales, incluidos: (a) estándares de pretratamiento, (b) concentraciones que inhiben los procesos de tratamiento biológico, o (c) límites reglamentarios para descargas de efluentes tratados. Ingrese el tipo de límite en la parte superior de la tercera columna de la hoja de trabajo D-2 y los valores para cada parámetro para el cual existe un límite disponible.

Paso 7. Calcule el porcentaje de remoción mínima requerido para que todos los parámetros no excedan el límite. Use la siguiente fórmula:

Paso 8.
$$\text{Remoción mínima (\%)} = [(\text{concentración de residuos} / \text{límite aplicable}) - 1] \times 100$$
Ingrese las calificaciones del cuadro D-2 y el porcentaje de eficiencia de remoción de los cuadros D-3 a D-5. Compare los porcentajes de remoción para cada opción con el porcentaje requerido para cumplir el límite. Cualquier opción que no cumpla con el límite se considera inapropiada o requerirá un proceso adicional de tratamiento.

D.2 REFERENCIAS

Martin, E.J.; Martin, E.T. 1991. *Technologies for small water and wastewater systems*. Nueva York, NY: Van Nostrand Reinhold.

Pohland, F.G.; Harper, S.R. 1986. *Critical review and summary of leachate and gas production from landfills*. Washington, DC: EPA. EPA/600/2-86/073 (NTIS PB86240181).

Hoja de trabajo D-1. Formulario de evaluación para la selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales

Instrucciones: Ingrese las opciones de tratamiento a ser evaluadas en las columnas cuatro a seis. Califique los criterios de evaluación (1 a 21) de acuerdo con su importancia, coloque una P (primario) o S (secundario) en la segunda columna por cada criterio. Introduzca la calificación más favorable para cada criterio en la tercera columna (B, M, A, MA, S o N). Ingrese las calificaciones para cada criterio de acuerdo con cada opción evaluada del cuadro D-1. Revise las calificaciones del cuadro D-1 que sean apropiadas para el proyecto y coloque cualquier calificación revisada después de la barra. Haga un círculo alrededor de la(s) calificación(es) de la opción que esté más cerca a la calificación más favorable.

Criterios de evaluación (cuadro D-1)	Imp.¹ (P/S)	Calificación más favorable	Opción #1	Opción #2	Opción #3
(1) Costo del ciclo de vida	___	___	___/___	___/___	___/___
(2) Eficiencia en función de los costos	___	___	___/___	___/___	___/___
(3) Confiabilidad	___	___	___/___	___/___	___/___
(4) Simplicidad en la operación	___	___	___/___	___/___	___/___
(5) Facilidad de mantenimiento	___	___	___/___	___/___	___/___
(6) Rendimiento	___	___	___/___	___/___	___/___
(7) Capacidad para cumplir con los objetivos de calidad del agua	___	___	___/___	___/___	___/___
(8) Adaptabilidad a los cambios en la calidad del afluente	___	___	___/___	___/___	___/___
(9) Rendimiento dependiente del pretratamiento	___	___	___/___	___/___	___/___
(10) Adaptabilidad a la tasa de flujo variable	___	___	___/___	___/___	___/___
(11) Facilidad de construcción	___	___	___/___	___/___	___/___
(12) Adaptabilidad a las mejoras	___	___	___/___	___/___	___/___
(13) Disponibilidad del equipo principal	___	___	___/___	___/___	___/___
(14) Equipo/suministros disponibles localmente	___	___	___/___	___/___	___/___
(15) Servicio de post-instalación/entrega de productos químicos	___	___	___/___	___/___	___/___
(16) Nivel de habilidades del personal	___	___	___/___	___/___	___/___
(17) Uso de energía	___	___	___/___	___/___	___/___
(18) Producción de residuos	___	___	___/___	___/___	___/___
(19) Costo de la disposición de residuos	___	___	___/___	___/___	___/___
(20) Potencial para uso/reúso del efluente	___	___	___/___	___/___	___/___
(21) Importancia de las emisiones al aire	___	___	___/___	___/___	___/___
Número de calificaciones tope primarias			___	___	___
Número de calificaciones tope secundarias			___	___	___

¹ Califique la importancia de cada criterio con una P (primario) o S (secundario) en la segunda columna.

Hoja de trabajo D-2. Formulario para comparar la capacidad de las diversas opciones de tratamiento de aguas residuales

Instrucciones: Ingrese las opciones de tratamiento a ser evaluadas en las columnas cuatro a seis. Introduzca las características de las aguas residuales para todos los parámetros que tienen datos disponibles en la segunda columna. Revise el cuadro D-2 e ingrese la capacidad de remoción en el primer espacio debajo de cada opción de tratamiento. Revise los cuadros D-3 a D-5 y otras fuentes disponibles para el porcentaje de eficiencia o intervalos de remoción e ingréselo después de la barra bajo cada opción tecnológica.

Parámetros	Conc. de residuos (mg/l)	Límites ¹ mg/l/% ²	Opción #1	Opción #2	Opción #3
			Calificación/%	Calificación/%	Calificación/%
DBO	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
DQO	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Aceite y grasa	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Sólidos suspendidos totales (SST)	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Sólidos totales	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Carbono orgánico total (COT)	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Dureza	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Sabor y olor			____/____	____/____	____/____
Color			____/____	____/____	____/____
Turbiedad			____/____	____/____	____/____
<i>Compuestos inorgánicos</i>					
Amoniaco-N	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Arsénico	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Asbesto	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Cadmio	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Cromo	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Cobre	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Cianuro	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Hierro	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Plomo	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Mercurio	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Níquel	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Cinc	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
<i>Compuestos orgánicos</i>					
Aminas	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Benceno	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Tetracloruro de carbono	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Cloroformo	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Etilbenceno	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
Cloruro de metileno	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____
BPC	_____	_____/____	____/____	____/____	____/____

Hoja de trabajo D-2. (continuación)

Parámetros	Conc. de residuos (mg/l)	Límites ¹	Opción #1	Opción #2	Opción #3
		mg/l/% ²	Calificación/%	Calificación/%	Calificación/%
Plaguicidas	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
Fenoles (total)	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
Ftalatos	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
Tetracloroetileno	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
Tolueno	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
Tricloroetileno	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
Trihalometanos (THM)	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
Precursores de THM	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
Xilenos	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
_____	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
_____	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
_____	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
_____	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
_____	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
_____	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
_____	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____
_____	_____	_____/____	_____/____	_____/____	_____/____

¹ Ingrese el tipo de límite con el cual se están comparando las concentraciones de residuos, incluidos: (1) estándares de pretratamiento para descargas a una PCTE o planta convencional de tratamiento de efluentes (use los estándares aplicables o remítase a la sección 5.1.3 y cuadro 5-1); (2) concentraciones inhibitoras de los procesos de tratamiento biológico (véase el cuadro 5-2); o (3) límites de descarga de efluentes tratados (use los estándares reglamentarios aplicables o remítase a la sección 5.1.5 y cuadro 5-3).

² Ingrese el porcentaje de reducción de la concentración de residuos requerido para cumplir con el límite aplicable. Calcúlelo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Remoción mínima (\%)} = [(\text{concentración de residuos} / \text{límite aplicable}) - 1] \times 100$$

Cuadro D-1. Lineamientos para la selección de tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales

Tecnología	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
Fisicoquímica																					
Tratamiento preliminar	B	A	B	A	B	A	B	H	N	A	M	A	A	A	A	A	B	A	B	B	M
Tamiz rotatorio	A	A	M	M	B	M	A	A	S	M	B	M	M	M	B	A	A	A	M	A	M
Tamiz de alambre	A	A	M	M	B	M	A	A	S	M	B	M	M	M	B	A	A	A	M	A	M
Sedimentación primaria	M	M	A	M	M	M	B	A	N	A	B	A	A	B	B	M	B	A	M	B	M
Placa de sedimentación	M	A	A	M	B	A	M	A	N	B	B	B	A	A	M	A	B	A	M	M	B
Floculación	M	A	A	B	M	A	A	A	N	M	B	M	A	A	M	A	B	A	A	A	M
Flotación	M	M	A	M	B	M	M	B	N	B	B	B	B	B	B	A	A	M	M	M	A
Precipitación-filtración	M	A	A	B	B	A	A	A	N	M	B	A	A	A	A	A	M	A	A	A	B
Adsorción de CAG	A	MA	A	B	B	M	A	B	S	B	B	B	B	B	B	A	A	M	A	M	M
Cloración	A	A	A	B	B	A	A	A	S	B	B	B	M	B	B	A	M	B	B	A	B
Desinfección por UV	A	M	M	B	B	M	M	M	S	B	B	B	B	B	A	A	A	B	B	A	B
Filtración de medios granulares																					
Filtro de arena lento	B	M	A	A	B	A	A	A	S	A	M	B	A	A	M	M	B	A	A	A	B
Filtro de arena rápido	A	M	M	B	B	M	A	M	S	M	B	A	A	A	M	A	A	A	A	A	B
Filtro de arena intermitente	M	B	M	B	M	M	M	M	S	A	B	•	A	A	B	A	M	A	A	A	B
Filtración en lecho pulsado	M	M	M	B	B	A	M	A	S	A	B	•	A	A	B	A	M	A	A	A	B
Filtro de flujo ascendente	A	A	M	B	M	M	A	A	S	M	B	M	A	B	B	A	M	A	A	M	B
Filtro de medios duales	A	M	A	B	B	A	A	A	S	M	B	M	A	B	B	A	A	A	A	A	B
Biológica																					
Aplicación en el terreno – tasa lenta	M	A	M	M	A	M	M	M	N	M	M	M	A	A	A	M	M	B	B	A	A
Aplicación en el terreno – percolación	A	A	M	M	A	M	M	M	N	M	M	B	A	A	A	M	M	B	B	A	A
Aplicación en el terreno – escorrentía superficial	B	M	B	M	B	B	B	A	S	B	A	A	A	A	A	M	B	M	B	B	A
Laguna – aerobia	M	M	M	B	B	M	M	A	N	M	M	B	A	M	M	M	A	B	B	M	M
Laguna – aerada	M	M	B	B	B	M	M	A	N	M	M	M	A	A	A	M	A	M	B	B	M
Laguna – facultativa	B	M	M	M	M	B	B	A	N	M	M	A	A	A	A	M	B	M	B	B	M

Cuadro D-1. (continuación)

Tecnología	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
Laguna – anaerobia	B	M	B	M	B	M	M	M	N	M	M	A	A	A	A	M	B	B	B	B	M
Laguna – descarga hidrográfica	M	M	M	B	B	A	M	M	N	A	M	•	A	A	A	M	M	B	B	B	M
Lodo activado	M	M	M	M	B	M	A	A	S	M	B	A	M	M	M	A	M	M	M	M	A
Reactor discontinuo	M	M	M	B	B	M	M	M	S	M	B	A	M	B	B	A	M	M	M	M	A
Contactador biológico rotatorio	M	M	M	B	B	M	M	M	S	M	B	B	B	B	B	A	M	M	M	M	A
Filtro percolador – preliminar	A	A	A	M	M	M	M	M	N	A	M	A	A	A	A	M	B	M	B	B	M
Filtro percolador – piedra	M	B	A	M	M	M	B	M	N	M	M	A	A	A	A	M	M	M	B	B	M
Filtro percolador – plástico	M	A	M	M	A	M	B	A	N	M	M	M	M	M	M	M	M	M	B	B	M
Filtro percolador – tasa baja	M	A	B	M	M	M	B	A	N	B	M	A	A	A	A	M	B	M	B	M	M
Acuicultura	B	A	B	M	B	B	B	A	N	A	A	B	A	A	A	B	B	B	B	B	M
Tanque Imhoff	B	A	A	M	B	M	M	M	N	A	M	A	A	A	M	M	B	M	M	B	M
Lodo																					
Digestión dual	M	A	A	A	M	A	B	M	N	A	B	•	A	A	A	A	B	M	M	•	A
Recuperación de metano	M	A	A	B	M	A	B	M	N	A	B	•	A	M	A	A	B	M	B	•	A
Aplicación de lodos al terreno	B	A	A	M	A	M	A	M	S	B	A	M	M	M	M	M	B	B	B	A	A
Lecho de secado de lodos	B	A	A	A	A	A	A	A	N	B	A	A	A	A	A	B	B	A	M	M	A
Filtro al vacío de lodos	M	M	A	B	B	M	A	A	S	A	B	M	M	M	B	A	A	A	M	B	A
Compostificación de lodos	B	M	M	M	M	A	M	M	N	A	A	•	A	A	A	M	B	MA	M	•	A

Fuente: Adaptado de Martin y Martin (1991).

B = Bajo, M = Moderado, A = Alto, MA = Muy alto, S = Sí, N = No

Criterios de selección: (1) costo del ciclo de vida, (2) eficiencia en función de los costos, (3) confiabilidad, (4) simplicidad de la operación, (5) facilidad de mantenimiento, (6) rendimiento, (7) capacidad para cumplir con los objetivos de la calidad del agua, (8) adaptabilidad a los cambios de calidad del afluente, (9) rendimiento dependiente del pretratamiento, (10) adaptabilidad a la tasa de flujo variable, (11) facilidad de construcción, (12) adaptabilidad a las mejoras, (13) disponibilidad del equipo principal, (14) equipo/suministros disponibles localmente, (15) servicio de post-instalación/entrega de productos químicos, (16) nivel de habilidades del personal, (17) uso de energía, (18) producción de residuos, (19) costo de la disposición de residuo, (20) potencial para el uso/reuso de efluentes, y (21) importancia de las emisiones al aire.

Cuadro D-2. Capacidad de remoción de la tecnología de tratamiento de aguas residuales (Martin y Martin, 1991)

TECNOLOGÍAS	PLAGUICIDAS	ARSÉNICO	ASBESTO	CADMIO	CROMO	COBRE	CIANUROS	PLOMO	CINC	BIS-CLORO METIL ETER	FTALATOS	AMINAS	FENOLES TOTALES	BENCENO	CLOROFORMO	TETRACLORURO DE CARBONO	XILENOS	BENZO(A)PIRENO	BPC	CLORURO DE METILENO	THM	PRECURSOS DE THM	DUREZA	SABOR Y OLORES	COLOR
Coagulación y floculación	M	M/H	.	H	M/H	.	M	L/H	L/H	.	L/H	.	L	.	.	L	.	.	.	M	.	H	.	.	.
Precipitación química con sedimentación	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	H	.	.	.	.	.	.	.	.	.	H	.	.	.
Cal	L	M/H	H	L/H	M/H	L/H	M/H	L/H	M/H	.	M/H	.	L/H	H	H	.	.	H	.	L	.	.	M/H	.	.
Cloruro férrico	.	H	.	.	.	.	.	.	.	.	L	.	L	.	.	.	.	.	.	H	.	.	H	.	.
Polímero	.	.	.	L/H	M/H	L/H	L/H	M/H	L/H	.	.	.	.	L	.	H	.	.	.	H	.	.	H	.	.
Carbonato de sodio	.	H	.	M/H	H	M	.	H	H	.	.	.	.	.	L	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cloruro de bario	.	L	M	.	M	M	.	.	M	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hidróxido de sodio	.	.	.	L/H	M/H	L/H	.	H	H	.	M/H	.	H	H	H	.	.	.	.	H	.	.	M/H	.	.
Precipitantes combinados	.	L/H	.	L/H	M/H	M/H	.	L/H	L/H	.	H	.	M/H	H	H	H	.	.	.	L	.	.	.	.	.
Alumbre	L	L	.	M	L/H	L/H	M	L/H	M	.	L/H	.	L/H	H	M/H	H	.	.	.	H	.	.	M/H	.	.
Precipitación química con filtración	.	L	.	L/H	M/H	L/H	M	H	H	.	M/H	.	H	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Filtración	L/H	L/H	H	L/H	L/H	L/H	L/H	L/H	L/H	.	M/H	M	L/M	.	H	H	M	.	L	L/H	.	.	.	.	.
Sedimentación	L/H	L/H	H	L/H	L/H	L/H	L/H	L/H	L/H	.	M/H	.	L/H	M/H	M	H	.	M/H	.	.	.	.	.	.	.
Lodo activado	M	L/H	.	L/H	L/H	L/H	L/H	L/H	L/H	M	L/H	M/H	L/H	M/H	L/H	H	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lagunas	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Aereadas	.	H	.	H	L/H	M/H	M	H	M/H	.	L/H	.	L/H	M	H	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
No aereadas	.	.	.	.	H	.	.	H	H	.	.	.	L	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Oxidación química	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cloro	.	.	.	.	.	L	H	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Ozono	.	M	.	.	.	L	L/H	L	H	.	M/H	M	.	M	.	.	.	H	.	.	H	H	.	.	.
Filtro percolador	.	.	.	.	.	.	M	.	.	.	M	.	H	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Filtro primario	.	.	.	.	.	.	M	.	.	.	M	.	H	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Reducción química	.	.	.	.	.	L/H	.	M	M	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Cuadro D-3. Eficiencia de remoción de contaminantes (porcentaje) para los principales procesos de tratamiento de aguas residuales (Martin y Martin, 1991)

Parámetro	Tratamiento primario	Filtro	Lodos	Laguna	Contactador biológico
-----------	----------------------	--------	-------	--------	-----------------------

		percolador	activados		rotatorio
DBO	-	82	91	90	98
DQO	8	74	83	75	93
Aceites y grasas	38	74	78	71	86
Total de sólidos suspendidos	48	88	90	92	93
Nitrógeno de amoníaco	-	4	25	53	37
Ftalato	44	60	50	-	94
Cloroformo	44	78	74	56	97
Cobre	9	72	86	86	99
Etilbenceno	10	87	78	72	95
Mercurio	11	40	26	76	71
Cloruro de metileno	-	96	-	99	99
Sólidos, totales	-	25	26	62	8
Sólidos, volátiles, totales	4	55	53	76	-
Tricloroetileno	11	92	80	95	98
...	5	70	73	65	84
Tolueno	-	98	94	92	100

Cuadro D-4. Eficiencia media de remoción (porcentaje) para parámetros de tratamiento de aguas residuales (Martin y Martin, 1991)

Sedimentación	23	93	-	32	97
Polímero	50	71	-	82	99
Cal	52	32	-	18	71
Polímero de cal	-	99	-	22	99
Alumbre, coagulantes	37	59	-	47	66
Alumbre	61	10	-	63	84
Alumbre, cal	41	86	-	80	93
Filtración	24	24	-	13	67
Lodos activados	93	67	-	69	44
Lagunas aereadas	86	62	77	45	45
Carbono granular	52	50	-	55	38

Cuadro D-5. Capacidad del proceso de tratamiento de lixiviado del relleno (Pohland y Harper, 1986)

	DBO		DQO		TKN		Fe		Zn		N	
	Rem. %	Efl. Mg/l	Rem. %	Efl. Mg/l	Rem. %	Efl. Mg/l	Rem. %	Efl. Mg/l	Rem. %	Efl. Mg/l	Rem. %	Efl. Mg/l
Procesos biológicos aerobios												
Lodo activado	95	100	95	500	75-95	10-100	96-99	10-40	96-99	3-10	60	0-25
Lixiviado y aguas residuales combinadas	94-99	3-15	92-98	25-60	-	-	-	-	-	-	-	-
Laguna aerada	99	5-60	92-98	300-800	40-70*	40-80	99	0-2	-	-	-	-
Estanque de estabilización	93-99	10-100	99	100-400	70-99	4-100	80-99	1-100	-	-	-	-
Película aerobia fija												
Procesos biológicos aerobios												
Crecimiento en medios de retención	85-98	100-900	75-95	200-1000	-	-	80-99	5-25	80-99	0.5-10	10-80	0.1-1
Crecimiento en medios suspendidos	85-98	100-900	75-95	200-1000	-	-	80-99	5-25	80-99	0.5-10	10-80	0.1-1
Reciclaje de lixiviado	NA	< 100	NA	< 5	NA	20-1000	NA	5-50	NA	0.2-1	NA	-
Procesos fisicoquímicos												
Coagulación	-	-	12	100-10.000	-	-	95-99	2-17	75-98	< 1	-	-
Oxidación	-	-	10-50				99	< 1	90	< 1		
Ósmosis inversa	-	-	60-90**	1000-8000	-	-	-	-	-	-	-	-
			86-94	< 10								
Intercambio de iones	-	-	40-70	100-300	-	-	40-80	1-10	20-96	< 1	14-96	< 1
Adsorción	-	-	75-99	< 10	-	-	65-95	2-15	-	-	-	-

Rem = Remoción Efl. = Efluent

· No hay datos suficientes para hacer un juicio apropiado

·· Base de COT.