

Complementan la aplicación de las Tecnologías Limpias y aseguran que los residuos que se descargan en el ambiente satisfagan el marco legal vigente nacional, regional o los requerimientos ambientales establecidos por sus clientes y/o aliados estratégicos.

Cuanto más eficiente sea la aplicación de tecnologías limpias en las plantas, menores serán los requerimientos de tratamiento End of Pipe de los distintos residuos como consecuencia de su reducción. Ello se traduce entre otros beneficios, en unidades de tratamiento de menor tamaño y, por lo tanto, de menor costo.

6.1 El Marco Legal Aplicable

Es el que rige para la zona o región donde se encuentra ubicada la empresa. Si bien la tendencia en el largo plazo es alcanzar *DESCARGA CERO*, en el presente, los marcos legales buscan asegurar que las emisiones de residuos líquidos, sólidos y gaseosos no constituyan un impacto ambiental negativo, es decir, que no afecten significativamente al Medio Ambiente local, regional y global en sus distintas manifestaciones física, biótica (fauna y flora) y antrópica.

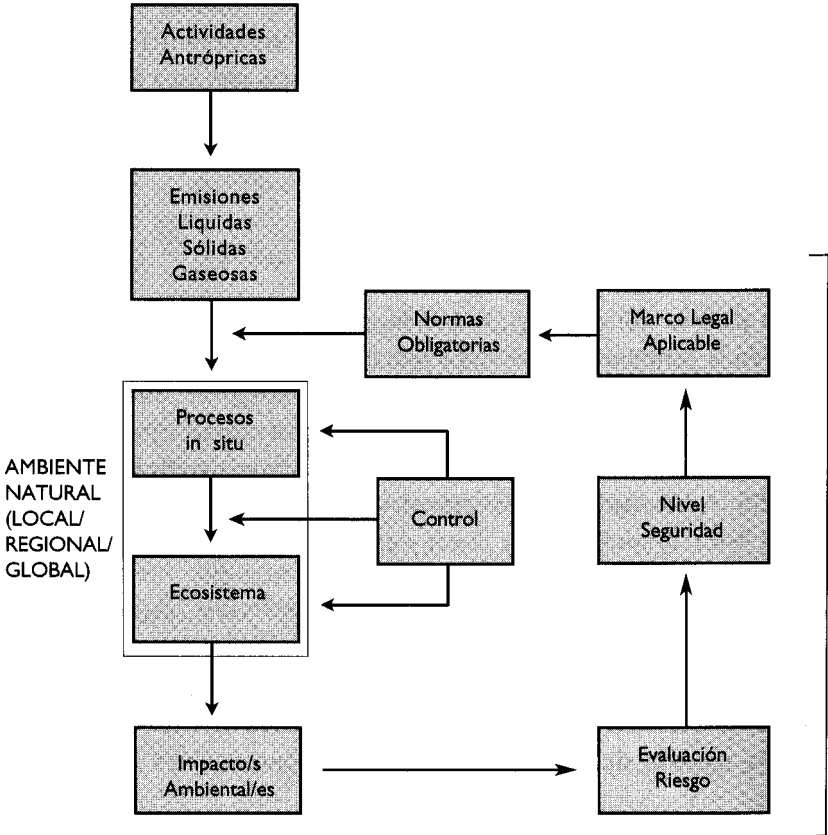
Las especificaciones establecidas en el marco legal para distintos parámetros que deben satisfacer los residuos de una organización, previo a su disposición final en los cuerpos receptores seleccionados y/o disponibles, pretenden asegurar que no se exceda la capacidad autodepuradora natural de los receptores como consecuencia de la descarga.

Esto implica evaluar la capacidad receptiva de los cuerpos receptores, aplicar un nivel de seguridad razonable y, en consecuencia, definir valores máximos de distintos parámetros ambientales a ser satisfechos por los residuos, antes de su descarga al cuerpo receptor, es decir, antes de su disposición final.

El cuadro 9 ilustra en forma esquemática sobre el Fundamento del Control Ambiental obligatorio en base al Marco Legal aplicable.

Por su parte, los Cuadros 10 a 14 contienen, a título meramente ilustrativo, algunos valores límite tomados de los marcos legales vigentes en distintos países/regiones relativos al vertimiento al ambiente de residuos líquidos y gaseosos.

CUADRO 9
MARCOS LEGALES AMBIENTALES APLICABLES:
FUNDAMENTO



CUADRO I O

URUGUAY - CLASIFICACIÓN SEGÚN SUS USOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS CURSOS DE AGUA DEL PAÍS

Decreto 698/89 1989/12/11 -Modificación del Decreto 253/79

CONCEPTO	CLASE I	CLASE 2a	CLASE 2b	CLASE 3	CLASE 4
Olor	No	No	No	No	No
Materiales flotantes y espumas no naturales	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	
Color no natural	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Virtualmente Ausentes
Turbiedad	<50 NTU	<50 NTU	<50 NTU	<50 NTU	<100 NTU
pH	6.5-8.5	6.5-9.0	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-9.0
OD (Oxígeno Disuelto)	>5mg/l	>5mg/l	>5mg/l	>5mg/l	>2.5mg/l
DBO5	<5mg/l	<10mg/l	<10mg/l	<10mg/l	<15mg/l
Aceites y Grasas	Virtualmente Ausentes	Virtualmente Ausentes	Virtualmente Ausentes	Virtualmente Ausentes	<10mg/l
Detergentes (sust. activas az. metileno)	<0.5 LAS mg/l	<1mg/l	<1mg/l	<1mg/l	<2mg/l
Sustancias Fenólicas (expres. como fenol)	<0.001mg/l	<0.2mg/l	<0.2mg/l	<0.2mg/l	
Amoníaco libre (N)	<0.02 N mg/l	<0.02 N mg/l	<0.02 N mg/l	<0.02 N mg/l	
Nitratos (N)	<10 N mg/l	<10 N mg/l	<10 N mg/l	<10 N mg/l	
Fósforo total (P)	<0.025 P mg/l	<0.025 P mg/l	<0.025 P mg/l	<0.025 P mg/l	
Sólidos Suspendedos Totales		<700mg/l			
Relación de Absorción de sodio		<10			
Coliformes Fecales (a)	<2000/100ml MG1000	<2000/100ml MG1000	<1000/100ml MG500	<2000/100ml MG1000	<5000/100ml (b)
Cianuros	<0.005mg/l	<0.005mg/l	<0.005mg/l	<0.005mg/l	<0.005mg/l
Arsénico	<0.05mg/l	<0.05mg/l	<0.005	<0.005	<0.1
Boro		<0.5mg/l			
Cadmio	<0.001mg/l	<0.001mg/l	<0.001mg/l	<0.001mg/l	<0.01mg/l
Cobre	<0.2mg/l	<0.2mg/l	<0.2mg/l	<0.2mg/l	<1mg/l
Cromo total	<0.005mg/l	<0.005mg/l	<0.05mg/l	<0.05mg/l	<0.5mg/l
Mercurio	<0.0002mg/l	<0.0002mg/l	<0.0002mg/l	<0.0002mg/l	<0.002mg/l
Níquel	<0.002mg/l	<0.002mg/l	<0.02mg/l	<0.02mg/l	<0.2mg/l
Plomo	<0.03mg/l	<0.03mg/l	<0.03mg/l	<0.03mg/l	<0.05mg/l
Zinc	<0.03mg/l	<0.03mg/l	<0.03mg/l	<0.03mg/l	<0.3mg/l

Clase I : Abastecimiento de agua potable previo tratamiento

Clase 2a: Riego de frutas y hortalizas para consumo fresco (natural)

Clase 2b: Recreación por contacto directo con el cuerpo humano

Clase 3: Conservación de peces, fauna y flora; agua para riego de productos no destinados al consumo humano

Clase 4: Tramos del curso de agua que atraviesan zonas urbanas o suburbanas a mantener en armonía con el medio.

- (a) Se refiere al NMP (número más probable) de coliformes en 100 ml. No debe exceder del valor establecido en ninguna de por lo menos cinco muestras; la media geométrica (MG) de las mismas debe estar por debajo del valor establecido
- (b) No debe exceder el valor establecido en al menos 80% de cinco muestras.

CUADRO 11

URUGUAY - NORMAS RELATIVAS A VALORES MÁXIMOS DE TOXICOS ORGÁNICOS EN CURSOS DE AGUA

PARAMETRO	ESTANDAR
Aldrin más Dieldrin	<0.004ug/l
Clordano	<0.010ug/l
DDT	<0.001ug/l
Endosulfán	<0.020ug/l
Endrin	<0.004ug/l
Heptacloro más Heptacloro Epoxi	<0.010ug/l
Lindano	<0.010ug/l
Metoxicloro	<0.030ug/l
Mirex	<0.001ug/l
2, 4 D	<4.000ug/l
2, 4, 5 T	<10.000ug/l
2, 4, 5 TP	<2.000ug/l
Paration	<0.040ug/l
Comp. Pollaromáticos (BPC)	<0.001ug/l

- a) Para las clases 1, 2a, 2b y 3 son los que se especifican en el siguiente cuadro.
- b) Para la clase 4 se admitirá hasta un máximo de 10 (diez) veces los valores del cuadro.

La lista de tóxicos orgánicos, así como sus estándares podrá ser modificados por la Autoridad, Competente, de acuerdo con el uso que los mismos tengan.

CUADRO 12

URUGUAY - EFLUENTES LÍQUIDOS: CONDICIONES DE VERTIDO A CUERPOS RECEPTORES

Decreto 698/89 y anteriores

PARAMETROS	DESAGÜEA COLECTORES SANEAMIENTO	DESAGÜE A CUERPOS DE AGUA	DESAGÜE A DISPONER POR INFILTRACIONAL TERRENO
Temperatura	≤35°C	≤30°C y (a)	≤35°C
Material flotante	Ausente	Ausente	Ausente
Olor	Ausente	-	-
Sólidos totales	-	-	<700 mg/l
Sólidos Suspendidos(b)	-	150 mg/l	-
pH	5,5/9,5	6,0/9,0	-5,5/9,0
DBO5	<700 mg/l	<60 mg/l	-
Sólidos sedimentables	<10 mg/l	-	< 10 ml/l
Aceites y grasas	<200 mg/l	<50 mg/l	<200 mg/l
Detergentes	-	<4 mg/l	-
Sulfuros	<5 mg/l	<1 mg/l	-
Sustancias fenólicas	-	<0,5 mg/l	-
Amoníaco (N)	-	<5 mg/l	-
Fósforo Total (P)	-	<5 mg/l	-
Arsénico (As)	<0,5 mg/l	<0,5 mg/l	<0,5 mg/l
Cadmio (Cd)	<0,05 mg/l	<0,05 mg/l	<0,05 mg/l
Cobre (Cu)	<1 mg/l	<1 mg/l	<1 mg/l
Cromo total (Cr)	<3 mg/l	<1 mg/l	<3 mg/l
Mercurio (Hg)	<0,005 mg/l	<0,005 mg/l	<0,05 mg/l
Níquel (Ni)	<2 mg/l	<2 mg/l	<2 mg/l
Plomo (Pb)	<0,3 mg/l	<0,3 mg/l	<0,3 mg/l
Zinc (Zn)	<0,3 mg/l	<0,3 mg/l	-
Cianuros	<1 mg/l	<1 mg/l	<1 mg/l
Coliformes fecales	-	NMP5000/100 ml	-
Tóxicos org. máx.(veces valores Cuadro II)	500	100	100
Caudal	Q máx inst. <2.5 Qm	Q máx < 1.5 Qm	

Notas:

- * la determinación de los parámetros, exceptuados coliformes fecales, temperatura, pH y sulfuros, se harán sobre muestras compuestas en un período de 4 horas, por muestras horarias, en volúmenes proporcionales al caudal efluente en ese momento.
- * Q máx inst.: caudal máximo instantáneo.
- * Q m: caudal medio durante período actividad.

- * NMP: Número más probable en 100 ml.

Impedimento de vertido - Siempre que:

- * Puedan producir o dejar en libertad gases tóxicos, inflamables o explosivos,
- * Contengan elementos gruesos eliminables por rejillas de 15 mm de separación entre barras (desagües a cuerpos de agua),
- * Residuos provenientes de la depuración de líquidos residuales.
- * Contengan cualquier sustancia o elemento que pueda producir directa o indirectamente inconvenientes.

Infiltración al terreno sólo permitida en zonas rurales; distancia mínima a cursos de agua o pozos manantiales, 50 m y distancia mínima a medianeras, 10 m.

- (a) No se admiten descargas cuyas temperaturas sean superior a 2°C a la del cuerpo receptor.
- (b) Cono Imhoff - 1 hora; ml/l.

CUADRO 13

REPUBLICA DOMINICANA -RESUMEN DE REQUERIMIENTOS DE VERTIDO DE RESIDUOS INDUSTRIALES LIQUIDOS - Norma Dominicana Nordom 436

- Requisitos físicos <ul style="list-style-type: none"> •Temperatura •Sólidos sedimentables (1h) •Sólidos flotantes •3mm •Color •Conductividad •Sólidos suspensión •Sólidos totales disueltos 	$\leq 35^{\circ}\text{C}$ $\leq 1.0 \text{ ml/l}$ Ninguno retenible por malla claro libre cuadrado $\leq 200 \text{ unidades color}$ $\leq 2.000 \text{ mhos/cm}$ $\leq 500 \text{ ppm}$ $\leq 1.200 \text{ ppm}$
- Requisitos químicos y microbiológicos <ul style="list-style-type: none"> •pH •$\text{SO}_4=$ •DQO •DBO •Grasas y aceites •NO_2 •Nitratos •Detergentes (ABS y LAS) •Coliformes Totales (NMP) •Oxígeno disuelto •Sulfuros 	$5.0/10.0$ $\leq 1000 \text{ ppm}$ $\leq 70 \text{ ppm}$ $\leq 50 \text{ ppm}$ $\leq 70 \text{ ppm}$ Ausentes $\leq 100 \text{ ppm}$ $\leq 5 \text{ ppm}$ $\leq 10 \text{ 5 / 100 ml}$ $5/11 \text{ ppm}$ $\leq 1 \text{ ppm}$
-Otros.	

- Siendo Q_i (caudal RIL) y Q_{min} (caudal mínimo medio mensual del cuerpo receptor), debe cumplirse que $Q_i < 0.40 Q_{min}$. Si se supera este valor, puede autorizarse el vertimiento de RIL, siempre que no cause erosión en el curso receptor y que, después del lanzamiento, se cumplan en éste con todos los parámetros establecidos.
- La autorización de vertido implica, también, que en el cuerpo receptor después de aquél, los parámetros de control físico-químico no superen los valores permitidos para cada uno.

CUADRO 14

ATMÓSFERA: Selección de Marcos Legales Aplicables Vigentes

CONTAMINANTES	USA		UE		JAPON	
	UNIDADES	PERIODO *	UNIDADES	PERIODO *		
Ozono	0.12 ppm	1 h	ND	ND	0.06 ppm	1 h
SO ₂	0.14 ppm	1 d	0.12 ppm	1 d	0.04 ppm	1 d
NOx	0.033 ppm	1 año	0.11 ppm	1 h	0.04 0.06 ppm	1 d
CO	9 ppm	1 h	ND	ND	20 ppm	8 h
Particulado		ND		1 d	ND	ND
(Mat. Susp. Total)	150 ug/m ³	1 d	250 ug/m ³	ND	200 ug/m ³	1 h
<10mm diámetro						
Plomo	1.5 ug/m ³	3 m	2.0 ug/m ³	1 año	ND	ND

ND: No disponible.

* Valor promedio correspondiente en el período indicado.

u : micro

Fuente: EPA Mexican/USA Environmental Regulations, Chem. Eng. Feb 1994.

6.2 Tratamiento de Residuos Industriales Líquidos

Los tratamientos de residuos líquidos generan, por lo general, residuos sólidos y lodos que deben ser objeto de tratamiento antes de su disposición final, de modo que ésta no afecte al ambiente. El Cuadro 15 muestra un diagrama de flujo general aplicable para su tratamiento.

6.2.1 Pretratamiento

Consiste en separar sólidos en suspensión. Abarca separadores estacionarios tipo reja, tobogán o giratorios autolimpiantes.

6.2.2 Tratamiento primario

Consiste en separar los sólidos en suspensión mediante acción de la gravedad, flotación, etc. Por lo general, se recogen mecánicamente y se transportan al sistema de tratamiento de lodos.

Esta etapa permite separar alrededor del 30% de la DBO original y aproximadamente el 60% de los sólidos en suspensión.

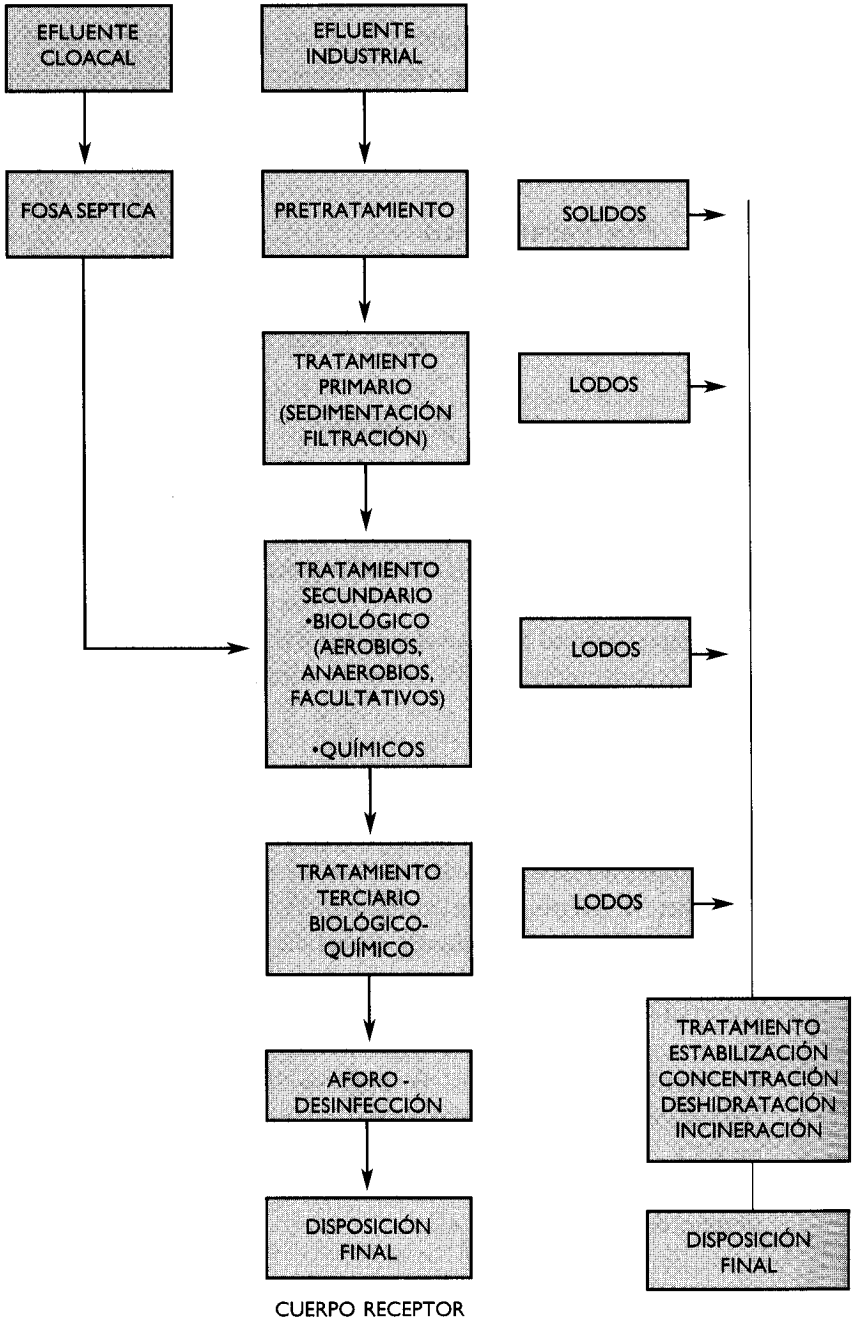
6.2.3 Tratamiento secundario

Su finalidad es reducir la materia orgánica soluble biodegradable insensible a las fases anteriores. Puede realizarse en condiciones aerobias, anaerobias y/o combinando éstas en serie, con el objeto de alcanzar la eficiencia global de depuración que permita satisfacer los valores que la organización o el marco legal han fijado como objetivos a satisfacer.

En condiciones aerobias, la degradación de los residuos se realiza mediante microorganismos aerobios que la transforman en CO_2 , H_2O , etc., produciendo células muertas en un ambiente que contiene oxígeno y en condiciones favorables definidas por el tiempo de contacto, pH, etc.

CUADRO 15

RESIDUOS LÍQUIDOS: ESQUEMA GENERAL DE TRATAMIENTO (APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS END OF PIPE)



En condiciones anaerobias, la degradación de materia orgánica soluble se realiza en un ambiente en ausencia de oxígeno y en condiciones favorables de tiempo de contacto, pH, ausencia de inhibidores, etc.

Los principales inconvenientes de los procesos anaerobios respecto a los aerobios se vinculan con su aspecto poco estético en caso se trate de lagunas y con la posibilidad de producción de olores desagradables (aunque ésta no es una consecuencia inevitable).

El Cuadro 16 resume en forma comparativa, las características relevantes de algunos tratamientos secundarios.

Tanto los procesos aerobios como los anaerobios pueden realizarse en reactores metálicos, plásticos, de hormigón armado, mampostería, etc. o, en lagunas construidas excavando el suelo, por encima del nivel freático e impermeabilizando sus paredes y fondo para evitar lixiviaciones de contaminantes hacia el subsuelo. En este caso, es importante que el terreno posea condiciones adecuadas, ya que suelos granulados son inadecuados para estos fines, requiriendo algún tipo de revestimiento, tales como arcillas o membranas impermeables.

Los procesos de depuración en condiciones aerobias pueden ser:

* Aireados

El aire se introduce mediante medios mecánicos (aireadores, difusores, venturi) que incorporan oxígeno al líquido.

* Facultativos

Se basa en la migración del oxígeno del aire a través de la superficie en contacto con el líquido, jugando la temperatura un papel importante en esta transferencia. Paralelamente, se logra liberación de oxígeno por la acción clorofiliana de las algas que fijan CO_2 y liberan O_2 durante las horas de insolación.

CUADRO 16

RESIDUOS LÍQUIDOS: TRATAMIENTO SECUNDARIO COMPARACIÓN DE ALGUNOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

	Lagunas aireadas	Barros activados	Filtros biológicos	Digestores Anaerobios
Espacio ocupado	Grande (> 1 Ha)	Moderado (0.2-1 Ha)	Chico (< 0.2 Ha)	Moder/Chico
Remoción DBO	60-85%	70-90%	40-85%	75-85%
Retención hidráulica	10-20 d	2-10 h	< 6h	5-20 h
Tolerancia variaciones				
Flujo	Alta	Media	Media	Media
Carga	Alta	Media	Buena	Buena
Tóxicos	Alta	Pobre	Pobre	Buena/Pobre (1)
pH	Alta	Baja	Baja	Baja
Producción lodos	Media	Alta	Alta	Baja
Consumo energía	Alto	Alto	Medio	Bajo
Inversión inicial	Baja (2)	Alta	Alta	Alta
Requisitos de control	Bajo	Alto	Bajo	Alto
Nivel tecnológico de diseño	Bajo	Medio	Medio	Alto (3)
Instalaciones complementarias (4)	No	Si	Si	Si

Notas:

1. Debe tenerse presente la incidencia negativa de inhibidores (sal común, por ejemplo),
2. El costo del lagunado se considera relativamente bajo frente a otras inversiones, salvo que la calidad del terreno haga necesaria la impermeabilización de la laguna,
3. El nivel tecnológico de diseño es similar a barros activados, pero al tratarse de una tecnología más reciente, exige aporte de desarrollo propio,
4. Se refiere a la necesidad de equipos tales como sedimentadores, recirculadores, tratamiento de lodos, etc.

6.2.4 Tratamiento terciario

Incluye los requeridos para eliminar nitrógeno (N) y fósforo (P).

-Nitrógeno y sus compuestos

Aparece en los efluentes bajo tres formas (orgánico, amoniacal y óxidos), las que pueden actuar como fertilizante y estimular el crecimiento de plantas acuáticas, particularmente algas.

Algunos de los procedimientos para eliminación de N que pueden usarse son:

- * Alcalinización y arrastre de compuestos amoniacales por insuflado de aire.
- * Oxidación química mediante empleo de cloro. No es práctica por su costo.
- * Intercambio iónico. Procesos biológicos mediante el empleo de bacterias autótrofas que oxidan los compuestos de nitrógeno (nitrificación) o, mediante combinación de procesos nitrificantes y denitrificantes que se inducen mediante fases de tratamiento aerobias/anóxicas.

* Fósforo y sus compuestos

A diferencia del nitrógeno y sus compuestos, el fósforo no consume O_2 en los cuerpos receptores donde se descargan. El problema radica en su eutroficación. El mejor procedimiento de eliminación es la precipitación química empleando cal o sales de aluminio o hierro trivalente.

* Tratamientos químicos

Si bien se emplean principalmente para el control de compuestos de fósforo en los efluentes líquidos, también coadyuvan en las distintas etapas de tratamiento y mejoran la eficiencia de depuración de plantas existentes.

En algunos casos, el tratamiento químico ha determinado la factibilidad de recuperar sustancias contenidas en el efluente, particularmente proteínas, con posibilidad de empleo en raciones animales y su correspondiente beneficio económico. También se emplean exitosamente polielectrolitos para el acondicionamiento y desaguado de lodos y como desestabilizantes de emulsiones agua/aceite.

6.3 Tratamiento de Residuos Industriales Sólidos

Bajo esta denominación se incluyen, además de los residuos sólidos propiamente dichos, los materiales semilíquidos o pastosos y los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de los efluentes industriales líquidos. Su naturaleza depende del tipo de industria en particular.

Por lo general, su producción está en una relación 1 a 10 con respecto a los líquidos. Conllevan perjuicios, en particular si son biodegradables, combustibles y/o tóxicos.

Siempre es conveniente analizar la factibilidad de reciclarlos en la propia industria o en otra que pueda utilizarlos. En cada caso particular es necesario realizar un estudio integral de su generación, manejo y disposición incluyendo su transporte que debe atenderse a una serie de requisitos. Este estudio permite priorizar las soluciones posibles aplicables a cada uno y optar por la más conveniente.

Los residuos sólidos producen en primer término daños estéticos y pueden originar daños sanitarios en su transferencia a los cursos de agua superficial y/o subterránea.

6.3.1 Disposición

*** Vertederos sanitarios**

El vertedero sanitario constituye el procedimiento más comúnmente utilizado para la disposición de residuos sólidos.

El terreno adecuado para emplazar un vertedero debe contar con un subsuelo impermeable que garantice la preservación de la

contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por lixiviado, es decir, de la penetración de compuestos transportados y/o arrastrados por la lluvia.

Paralelamente, se requiere el cumplimiento de exigencias estrictas de explotación, tales como: vallado, vigilancia, aplastamiento por estratos sucesivos recubiertos por tosca y tierra con cobertura vegetal superior, construcción de perforaciones a utilizar como pozos testigo para extracción de muestras de aguas subterráneas y monitoreo de su calidad. También, deben estar sujetos a un plan de reacondicionamiento posterior previendo que, cuando se alcance su saturación, se puedan transformar esas áreas en zonas destinadas a jardines, campos de deporte, etc.

Los costos y riesgos que derivan de este tipo de instalaciones y la escasez de espacios disponibles destinados a nuevos enclaves potenciales, hace que en muchas áreas se trate de optar por otras soluciones, en particular incineración.

* Incineración

Consiste en un proceso de combustión controlada (a temperaturas superiores a 800 C) que transforma los residuos sólidos en cenizas y en gases, produciendo energía calórica o eléctrica. También se requiere que la temperatura de los gases posterior a la combustión se mantenga a 850 C durante 2 segundos para destruir dioxinas y furanos eventualmente presentes.

La decisión de emplearla como tecnología de tratamiento y disposición se basa en razones de costo. Se requiere, en primer término, la ejecución de un estudio que incluya la medición del volumen, definir las características y determinar si la reducción en el origen y el reciclado pueden minimizar la cantidad de residuo a tratar.

Por lo general, la operación de un incinerador conlleva varias ventajas, tales como:

- * los residuos no se trasladan fuera del lugar donde fueron generados con excepción de los residuos calificados como peligrosos, en

cuyo caso deben procesarse en incineradores determinados definidos incluso a nivel de Acuerdos Internacionales,

- * se conoce su composición química,

- * posibilita recuperar energía.

No obstante, entre sus desventajas está que pueden liberar a la atmósfera material particulado, metales pesados (plomo, mercurio, etc.), ácido clorhídrico, etc.

Para evitar estos problemas, los incineradores deben satisfacer normas severas que imponen la reducción significativa de las emisiones, para satisfacer límites estrictos.

Al presente, los incineradores diseñados específicamente para destruir desechos orgánicos tóxicos operan con temperaturas del orden de 1200 °C y tiempos de residencia de 2 segundos.

Algunos de los tipos más comunes de residuos tóxicos factibles de incineración son: aceites usados y residuos aceitosos, residuos con PCB, con contenidos de fenol y formol, solventes residuales conteniendo halógenos, azufre y nitrógeno, xileno, benceno, residuos de pinturas y barnices, residuos con pesticidas, etc.

La incineración, también, produce cenizas resistentes que pueden representar entre 30% y 40% del peso de los residuos tratados y que contienen sales metálicas solubles y lixiviables que pueden emigrar fácilmente a través de las lluvias, hacia aguas superficiales y/o subterráneas.

Los hornos de cemento cumplen con los requerimientos técnicos necesarios para la incineración de los desechos orgánicos tóxicos, y proporcionan una buena alternativa para su disposición final tanto desde el punto de vista de la eficiencia de destrucción como del económico. En efecto, la temperatura de gases en la zona de combustión está en el rango de 1.400 °C a 2.000 °C, los tiempos de residencia son del orden de 6 a 10 segundos, los materiales sólidos en el horno alcanzan temperaturas de 1.400 °C, no se generan cenizas y los gases ácidos generados en el proceso de combustión son absorbidos por el clinker alcalino procesado en ellos.

* Reciclado

En principio constituye, a mediano plazo, la solución más razonable para la eliminación de residuos sólidos, por cuanto la recuperación de componentes de los desechos no sólo reduce su volumen, sino que conlleva un ahorro de energía y de recursos.

Para que el reciclado sea viable, se requiere la clasificación y selección de los residuos y, lo que es más difícil, asegurar un mercado para los materiales reciclados.

Dentro del reciclado puede mencionarse la obtención del compost a partir de los lodos estabilizados de las plantas de tratamiento biológico de residuos industriales y de otros residuos orgánicos. El compost, sin ser un fertilizante, contiene nutrientes y oligoelementos que regeneran los suelos y se obtiene mediante descomposición biológica aerobia en condiciones controladas de humedad, temperatura y tiempo, que también contribuyen a destruir una importante fracción de patógenos, en caso de estar presentes.

En lo que respecta a reciclado de plásticos para envasar productos alimenticios, debe cuidarse en ellos la presencia potencial de contaminantes tóxicos que pueden migrar del continente al contenido. En este sentido, la Food & Drug Administration (FDA) de Estados Unidos ha considerado varias propuestas de uso de polímeros para reciclarlos, como envases de alimentos. De las aplicaciones permitidas por la FDA, salvo en el caso del RPET (Polietileno tereftalato regenerado) usado para bebidas refrescantes, el contacto directo con los alimentos es mínimo.

Al aumentarse los volúmenes de polímeros a reciclar en aplicaciones que impliquen un contacto directo envase/alimento, será necesario estudiar el origen de las resinas recicladas y aún así, en caso de existir alguna contaminación con compuestos químicos, determinar si éstos pueden migrar hacia el alimento durante su uso como contenedor

Como garantía para evitar problemas se está sugiriendo su uso en la preparación de laminados, integrando las capas exteriores que no están en contacto directo con los alimentos.

* Manejo de lodos

Los tratamientos de efluentes y muchos procesos industriales generan lodos que constituyen un serio problema de manejo y disposición para no afectar negativamente al Medio Ambiente.

La tendencia actual respecto al manejo de lodos, es prohibir su vertido en los océanos y mantos acuíferos, limitando a un 5% el contenido en materia orgánica de los lodos y residuos a disponer mediante relleno sanitario.

Para reducir el contenido de agua en los lodos se han desarrollado centrífugas y filtros de banda que se están empleando en forma exitosa. No obstante, en muchos casos esta deshidratación no basta y se completa su reducción mediante quemado en incineradores. De ese modo los lodos disminuyen en un 90% su volumen, dando lugar a un residuo de cenizas con menos de 5% de materia orgánica.

Sin embargo, en algunos países como Japón, el nuevo marco legal ambiental limita la disposición de los lodos incinerados en relleno sanitario, en particular si contienen metales pesados; en consecuencia, la incineración no es una opción válida.

La solución en estos casos consiste en la fusión de los lodos en un horno a 1300/1500 °C en el que se introducen los lodos deshidratados (15-30% sustancia seca) junto con combustible.

En estas condiciones se transforman en un «vidrio» fundido que luego de enfriado puede transformarse en baldosas o en lana de vidrio si se trata con exceso de oxígeno, a temperaturas superiores a los 1500 °C.

Otra alternativa consiste en emplear los lodos para fabricar cemento portland, en particular si son ricos en sílice y en calcio.

6.4 Tratamiento de Residuos Industriales Gaseosos

A1 nivel de las organizaciones, las emisiones gaseosas incluyen material particulado, gases y vapores.

Por lo general, tienen su origen en los generadores estacionarios de energía, preferentemente calórica, en los procesos unitarios que integran los sistemas propios de la actividad industrial de las organizaciones y en sus plantas de tratamiento de residuos, preferentemente líquidos.

El Cuadro 17 enumera los residuos más relevantes, así como sus posibles orígenes.

CUADRO 17

EMISIONES GASEOSAS ORÍGENES Y TIPOS MÁS RELEVANTES

<p>* Generadores Estacionarios de Energía</p> <ul style="list-style-type: none">•Material Particulado.•CO₂•SO₂•NOX•Aldehidos (HCHO).•Hidrocarburos.
<p>* Procesos Unitarios Integrantes de Sistemas Industriales.</p> <ul style="list-style-type: none">•Material Particulado.•CO₂•CO•Hidrocarburos (parafinas, olefinas, aromáticos y oxigenados)•Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC)•NOX•SO₂/SO₃.•H₂S / R-SH, etc.
<p>* Tratamiento de Efluentes Líquidos.</p> <ul style="list-style-type: none">•CH₄•H₂S

A semejanza de lo que sucede con los otros tipos de residuos, el control de las emisiones gaseosas comprende distintos tipos de tratamiento que complementan las acciones previstas para minimizar su generación en el origen.

Como ejemplo de estas acciones, puede mencionarse la selección de combustibles con o sin un contenido de azufre mínimo con el objeto de controlar adecuadamente la producción de SO_2 en los generadores estacionarios de energía calórica.

Entre los procedimientos más comunes para tratar las emisiones gaseosas se distinguen los orientados a retener material particulado presente en forma de aerosol y los que se emplean para separar los contaminantes (vapores y/o gases) propiamente dichos.

6.4.1 Separación de material particulado

Se emplean distintos tipos de equipos que se clasifican de acuerdo con el principio físico o químico utilizado para llevarla a cabo.

Se distinguen:

*** Filtros de aire**

Medios porosos capaces de retener partículas y nieblas presentes en el fluido gaseoso que los atraviesa. Actúan en virtud de distintos tipos de interacción con las partículas que retienen, es decir, por intercepción directa, impacto inercial y movimiento browniano, complementadas por la acción de la gravedad.

Sus principales modalidades incluyen filtros de paño compactado, de fibra de vidrio, de carbón activado y de malla de acero. Su selección se basa en el tipo de polvo, su concentración y tamaño del material particulado presente.

*** Colectores de polvo**

Retienen el material particulado como consecuencia de su peso, mediante acción de la gravedad (colectores gravitacionales que separan partículas relativamente grandes 100-200 μm), de la inercia con que las partículas en suspensión en un flujo gaseoso tienden a

conservar su trayectoria rectilínea y que ésta solo es alterada por aplicación de una fuerza o un obstáculo, cayendo en un dispositivo de captación (colectores inerciales), y mediante la aplicación de un movimiento rotatorio al gas, de modo que la fuerza centrífuga sobre las partículas sea mayor que las fuerzas de cohesión molecular y de gravedad, lo que induce a que aquéllas sean lanzadas contra las paredes, retirándose de la masa gaseosa en escurrimiento (ciclones).

Se aplican a material particulado o fibroso, son económicos, pueden emplearse para gases a temperatura elevada pero son de bajo rendimiento para partículas con menos de 5 μm de diámetro y se desgastan en un tiempo relativamente corto.

* Precipitadores electrostáticos

Proceso físico por el cual las partículas en suspensión en un flujo gaseoso se cargan eléctricamente y son separados de dicho flujo.

El sistema empleado consta de superficies colectoras cargadas positivamente (conectadas a tierra) colocadas próximas a electrodos emisores con carga negativa. Debido a la elevada tensión eléctrica existente se generan electrones que bombardean a las moléculas de gas formando iones gaseosos positivos y negativos.

Los primeros se descargan en los electrodos emisores y, los segundos, establecen una corriente entre los hilos emisores y las placas, procurando que las partículas de polvo se carguen negativamente y sean retenidas por fuerza electrostática a las placas colectoras de las que, posteriormente, caen por acción de su peso (al debilitarse las placas por neutralización de cargas eléctricas, dispositivos electromagnéticos, vibradores, etc).

Se clasifican en filtros de alta tensión (40-100 KV), de baja tensión (10-25 KV) y de una etapa de flujo vertical u horizontal y de dos etapas, por lo general de flujo horizontal.

- Colectores húmedos

Destinados a retener material particulado y/o gases contaminantes. En el primer caso, el lodo que se separa puede ser reaprovechado

después de su separación del líquido mediante filtrado o centrifugación. Por su parte, si se trata de gases solubles, después de su disolución en agua, la solución obtenida puede someterse a un tratamiento químico posterior con el objeto de obtener una sal o compuesto insoluble.

El Cuadro 19 resume las características más relevantes de los tratamientos mencionados.

CUADRO 18

EMISIONES GASEOSAS SEPARACIÓN DE GASES/ VAPORES CONTAMINANTES. RELACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS MAS RELEVANTES

* Incineración térmica / Catalítica
* Procesos físicos - químicos <ul style="list-style-type: none"> • Condensación • Absorción • Adsorción
* Procesos biológicos <ul style="list-style-type: none"> • Biofiltros

CUADRO 19

EMISIONES GASEOSAS. RETENCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO.

Características de los Tratamientos más Relevantes.

Tipo	Contaminante	Tamaño Particulado (μ)	Temp. ($^{\circ}$ C)	Rend.(%) Separación	Residuo Generado	Contaminante	Observaciones
Filtros	Aerosol	<1	260	>99	Sólido	Polvo Seco	Paños sensibles a humedad/temp.
Colectores mecánicos * Gravitacional * Inercial * Ciclonas * Precipitador electrostático	Aerosol	>50	370	<50	Sólido	Polvo Seco	Uso en pretratamiento
	Aerosol	>1	370	>80	Sólido	Polvo Seco	
	Aerosol	5-25	370	50/90	Sólido	Polvo Seco	
	Aerosol	<1	540	95/99	Sólido	Polvo seco o húmedo	
Depuradores hidráulicos * Torres pulverización * Hidrociclones (a) * Venturi (b)	Aerosol	25	4/370	<80	Líquido	Líquido	Requieren tratar residuo resultante.
	Aerosol	5	4/370	<80	Líquido	Líquido	
	Aerosol	<1	4/370	<99	Líquido	Líquido	

(a) Ciclón al que se introduce agua

(b) Consiste en lavador - eyector mediante el empleo de un dispositivo venturi.

6.4.2 Separación de gases /vapores

Para tratar los gases y/o vapores contaminantes de emisiones que requieren la separación de aquéllos previo a su disposición a la atmósfera, se utilizan distintos procedimientos (Cuadro 19), a saber:

* Incineración térmica o catalítica

Constituye un procedimiento técnicamente confiable y económicamente efectivo, en particular, cuando el poder calorífico de los gases/vapores a quemar es tal que el incinerador puede operar sin el aporte de combustible complementario. Por lo general se emplea gas propano/butano por ser de fácil instalación y operación.

Para que los incineradores sean eficaces requieren asegurar una temperatura mínima de 870 °C. Por lo general se alimentan los gases con velocidades comprendidas entre 5 y 8 m/s, sometiénendose a esa temperatura durante un tiempo comprendido entre 0.2/0.5 segundos, para que la combustión sea completa.

Asegurando una mezcla aire/gases y un tiempo de retención adecuados se logran eficiencias de destrucción del 99.9% de mayoría de los compuestos orgánicos. No obstante, algunos, tales como los vapores de acrinonitrilo, benceno, metal-etil-cetona, requieren temperaturas mayores (985 °C).

Como alternativa a la incineración térmica, puede utilizarse la catalítica que emplea una cámara de combustión que contiene una capa de catalizador, por lo general a base de platino, a través de la cual se hace pasar al gas/vapor contaminante combustible. Este procedimiento permite oxidar los compuestos a temperaturas más bajas (370 °C) pero, en contrapartida, estos incineradores requieren mayor mantenimiento que los térmicos. Por lo general, los incineradores catalíticos se utilizan cuando deben tratarse volúmenes relativamente grandes de emisiones gaseosas diluidas.

Un aspecto que debe tenerse en cuenta en ambas opciones de este tratamiento es el evitar mezclas explosivas (gas/vapor-aire) así como prever la instalación de todos los dispositivos de seguridad necesarios.

* Procesos físicos -químicos

• Condensación

Consiste en tratar las emisiones gaseosas enfriándolas mediante el empleo de condensadores de superficie o de mezcla. Por lo general, constituye un pretratamiento que permite acondicionar a los gases/vapores a tratar a posteriori en unidades de incineración, adsorción, etc.

• Absorción

Consiste en poner en contacto la emisión gaseosa con un líquido en el cual, el gas sea soluble, existiendo o no una reacción química. Este proceso se lleva a cabo en torre con toberas, con platos o rellena.

Ejemplos:

- Fijación de amoníaco en agua,
- Fijación de CO_2 en soluciones acuosas alcalinas, como consecuencia de una reacción de neutralización que da lugar a carbonato y bicarbonato de sodio, etc.

El lavado de gases por lo general emplea soluciones acuosas de reactivos oxidantes, neutralizantes, etc.

La absorción es muy efectiva para una gran variedad de compuestos, alcanzando hasta 95% de eficiencia, pero es ineficaz para tratar hidrocarburos y compuestos con velocidades bajas de reacción. Paralelamente, los reactivos utilizados requieren, por lo general, condiciones especiales de almacenamiento, manejo y control, con el objeto de minimizar impactos negativos debidos a su naturaleza ácida corrosiva u oxidante.

• Adsorción

Se basa en la afinidad que poseen algunas sustancias tales como carbón activado, alúmina activada, sílica gel, tierra de diatomeas, [etc.](#) de atraer y retener ciertas sustancias.

Consiste en hacer fluir las emisiones gaseosas a razón de 10-20 m/ min, a través de capas de la sustancia adsorbente. Se requiere un

acondicionamiento previo de las emisiones gaseosas para eliminar material particulado, reducir su humedad relativa por debajo de un 50% y su temperatura a menos de 50 °C.

Una vez saturado el adsorbente, puede ser regenerado mediante el paso de vapor de agua, lo que produce un efluente que requiere ser tratado, previo a su disposición, en una planta de depuración de residuos líquidos.

Por otra parte, el inconveniente de este procedimiento es la necesidad de disponer del adsorbente una vez agotado irreversiblemente.

* Procesos biológicos

Consisten en biofiltros que son análogos a los usados para tratar efluentes líquidos. Utilizan microorganismos aerobios que degradan los compuestos orgánicos para satisfacer sus requerimientos energéticos, convirtiéndolos en CO_2 y agua.

Los biofiltros emplean materiales sólidos o soportes plásticos para fijar la biomasa que, en diseños recientes, están cubiertos con nutrientes y compuestos que regulan el pH para permitir la viabilidad y eficiencia de la colonia microbiana implantada en aquéllos. Para maximizar este proceso se requiere optimizar entre otros los siguientes factores: contenido de humedad, contenido de oxígeno, nivel de pH (6.5/8.0), temperatura correspondiente a la franja óptima de los microorganismos termófilos y cinética de degradación.

Los biofiltros son recomendados para control de olores tales como: NH_3 , tioles, H_2S , etc., en residuos de industrias alimenticias, tratamiento de residuos líquidos y operaciones de compostaje.