

# Guía Mejores Técnicas Disponibles para la prevención y minimización de residuos químicos en laboratorios y talleres en las instituciones de educación superior

---



## **MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES.**

El presente documento incluye información para la Prevención y Minimización de Residuos Químicos en Laboratorios y Talleres en las Instituciones de Educación Superior, a través de la aplicación de Mejores Técnicas Disponibles (MTD) que permitan hacer más sustentable esta actividad.

### **1. Mejores Técnicas Disponibles**

#### **1.1 DEFINICIÓN DE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES**

Las Mejores Técnicas Disponibles son aquel conjunto de técnicas aplicadas a procesos de diversos sectores productivos que se demuestran más eficaces para alcanzar un elevado nivel de protección medioambiental, siendo a su vez aplicables en condiciones económicas y técnicas viables.

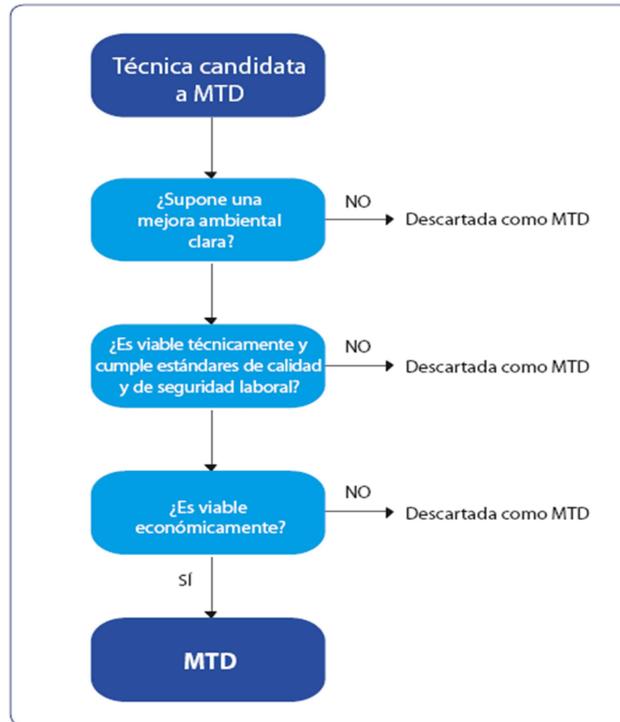
A estos efectos, se entiende por:

**Mejores:** las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto y de la salud de las personas.

**Técnicas:** la tecnología utilizada, junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada o paralizada; y

**Disponibles:** las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del correspondiente sector productivo, en condiciones económicas y técnicamente viables, tomando en consideración los costos y los beneficios, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables.

La Figura 1 representa un esquema simplificado del proceso de selección de MTD.



**Figura 1: Proceso de selección simplificado de MTD.**

En una primera fase de la selección, una técnica candidata a MTD, en comparación con otras técnicas disponibles empleadas para realizar una determinada operación o práctica, debe suponer un beneficio ambiental significativo en términos de ahorro/aprovechamiento de recursos y/o reducción del impacto ambiental producido.

Una vez superado este primer requisito, la técnica candidata a MTD deberá estar disponible en el mercado y ser además compatible con la producción según los estándares de calidad, no suponiendo un impacto significativo sobre otros medios, ni un mayor riesgo laboral o industrial (escasa productividad, complejidad, etc.).

Finalmente, una técnica no podrá considerarse MTD si resulta económicamente inviable para el sector. La adopción de MTD por parte de un productor/comercializador no supondrá un costo tal que ponga en riesgo la continuidad de la actividad. En este sentido, es conveniente recordar que la adopción o un cambio de tecnología es una inversión muy costosa, no siempre asumible debido a diversos factores.

Es importante señalar que las Mejores Técnicas Disponibles no fijan valores límite de emisión ni estándares de calidad ambiental, sino que proveen medidas para prevenir o reducir las emisiones a un costo razonable. Las MTD significan, por tanto, no un límite a no sobrepasar, sino un constante propósito de mejora ambiental que puede alcanzarse por diferentes vías y que pueden

utilizar otras tecnologías más apropiadas para determinada instalación o localización a las descritas como referencia.

## 2. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los laboratorios universitarios donde se realizan prácticas de química, talleres o actividades de investigación, se utilizan una considerable cantidad de productos y reactivos y se efectúan diversas prácticas que llevan a la generación de residuos que en la mayoría de los casos son peligrosos para la salud y el medio ambiente. Generalmente, el volumen de residuos que se generan en los laboratorios es pequeño al compararlo con el proveniente del sector industrial. Sin embargo, su composición y peligrosidad variable es uno de los principales problemas de este tipo de residuos. Una adecuada gestión de estos incluyen su control, tratamiento y disposición, siendo estos pasos imprescindibles en la organización de todo laboratorio.

### 2.1 Residuos Químicos

Los residuos químicos pueden ser inocuos o peligrosos. Los residuos químicos inocuos no presentan un peligro para el hombre y/o el medio ambiente, mientras que los residuos peligrosos son definidos como cualquier residuo que presente o que presentará en el futuro, una amenaza a los humanos o al medio ambiente, en mayor o menor medida.

Un residuo (o mezcla de residuos) es peligroso cuando presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algunas de las características señaladas a continuación (D.S. 148/03 del MINSAL):

- Inflamables
- Corrosivos – Líquidos acuosos con  $\text{pH} \leq 2$  o  $\text{pH} \geq 12,5$
- Reactivos – Reaccionan violentamente con agua, crean gases tóxicos o inflamables con agua o aire, y/o que detonan a presión y temperatura estándar
- Tóxico (agudo, crónico, extrínseco) – Un conjunto de metales pesados, pesticidas y químicos orgánicos declarados tóxicos por sus características, los cuales se encuentran listados en el D.S. 148/03 del MINSAL con sus Concentraciones Máximas Permisibles.

Diversa información concerniente a los residuos en general (tipos, clasificación, seguridad al disponer, etc.) se encuentra disponible en los siguientes recursos:

- <http://www.epa.gov/osw/hazard/>
- <http://www.purdue.edu/rem/home/booklets/HMMguide.pdf>

A modo de complemento, la EPA (Environmental Protection Agency, USA) ha publicado una lista de 850 compuestos químicos que están considerados como peligrosos, los cuales se pueden agrupar de acuerdo a la siguiente lista<sup>1</sup>:

1,1,1-Tricloroetano	Clordano	Fluoracetamida	Pentaclorofenato de Sodio
2,4,5-T, Sales, Esteres y Ácidos	Clorobenceno	Fluoroacetato de Sodio	Pentaclorofenol
2,4-D, Sales, Esteres y Ácidos	Clorobenzilatos	Formaldehído	Pentaclorofenato de Zinc
Acetato de plomo	Cresoles	Fósforo de Aluminio (AIP)	Pentaóxido de arsénico
Acetato fenilmercuríco (PMA)	D-D (1,2-Dicloropropano)	Fosforo de Zinc (<10%)	Pesticidas/Chemical
Acetona	DDD	Furfural	Phorate
Ácido arsénico	DDT	Heptacloro	PMA
Ácido cacodílico	Dialato	Hexaclorobenceno	Procytox
Acroleína	Dibromocloropropano (DBCP)	Hidracida maléica	Pronamide
Alcaloides de estricnina	Dibromuro de etileno	Isodrin	Safrole
Aldicarb	Dieldrin	Kepone	Sales de pentaclorofenol
Aldrin	Dimetoato	Lindano	Silvex, Sales, Ácidos y Esteres
Alil Alcohol	Dinoseb	Methomyl	Sulfato de Talio
Amitrole	Disulfoton	Methoxychlor	Sulfotep
A-Naftiltiourea (ANTU)	Disulfuro de carbono	Methyl Parathion	Tetracloruro de carbono
Avitrol	Endosulfan	Nicotina	Thiofanox
Bromuro de metilo	Endothall Disodio	Nitrobenzeno	Thiram
Chlordecone	Endrin	OMPA, Schradan	Toxaphene
Cianuro de calcio	Erbon	Ortodiclorobenceno	Trióxido de arsénico
Cianuro de Potasio	Estricnina y sus sales	Paradiclorobenceno	Warfarina
Cianuro de Sodio	Famphur	Parathion	Zinophos

Compuestos que contengan metales de arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, plomo y mercurio.

<sup>1</sup><http://psep.cce.cornell.edu/facts-slides-self/facts/pesthazard.aspx>.

<https://www.osha.gov/SLTC/metalsheavy/>

(algunos nombres comerciales han sido dejados en su idioma original)

## 2.2 Buenas prácticas en las actividades de los Establecimientos de Educación Superior

La contaminación es un subproducto inherente de las actividades académicas. Ésta ocurre cuando, por ejemplo, se producen residuos peligrosos y se descargan al alcantarillado, cuando se permite que reactivos volátiles se evaporen por mal uso de los equipos. Existe una variedad de métodos que pueden ser utilizados para reducir la contaminación.

En este sentido, el principal objetivo de las buenas prácticas es utilizar materiales de la manera más eficiente, y reducir la cantidad de desechos a disponer al final. Antes de establecer una estrategia de minimización de residuos, es esencial identificar y entender los procesos en los cuales los residuos son producidos dentro de un contexto global de buenas prácticas. En la Figura 2 se presenta la jerarquía que se debe tener en cuenta para la minimización de residuos.

Cualquier institución debiera, como primera medida, prevenir la generación de residuos cada vez que sea posible. Sin embargo, cuando esto no sea factible, se deben considerar otras opciones para minimizarlos, tales como el reuso, reciclaje o la recuperación de otros productos (por ej. energía). Sólo cuando el residuo no pueda ser minimizado de acuerdo a la anterior, este se debe disponer responsablemente. La disposición final causa el mayor impacto en el medio ambiente y es generalmente, la opción menos económica, por lo cual, es deseable moverse hacia la parte superior de la pirámide, de manera de ahorrar dinero, materiales, energía y recursos, y a su vez minimizar los impactos ambientales



Figura 2. Jerarquía para el adecuado manejo y disposición de residuos

Esta jerarquía establece las siguientes indicaciones (adaptado de referencias (1) y (14)):

- Eliminar la producción de los residuos
- Cuando la eliminación no sea posible, reducir la cantidad de éstos mediante reuso, reciclaje y/o recuperación.

- Disminuir la peligrosidad del residuo a disponer mediante técnicas de estabilización, inmovilización o destrucción
- Disponer el residuo remanente con el mínimo de impacto ambiental
- Contener, almacenar y/o aislar cualquier residuo peligroso cuya opción de tratamiento no sea aceptable bajo las técnicas actuales.

Como se mencionó anteriormente, todo trabajo en actividades de laboratorio, ya sea de enseñanza o de investigación, genera residuos químicos. Cada trabajador, docente, alumno y en general cada usuario del laboratorio es responsable de cumplir los procedimientos definidos para la prevención, minimización, manipulación y disposición final de todo los residuos generados en la labor que realizan.

### **2.3 Principales residuos químicos en instituciones de educación**

La literatura señala que en los laboratorios y actividades en talleres, los residuos de productos químicos se pueden clasificar en residuos huérfanos y residuos mixtos. Los residuos huérfanos son un problema recurrente, ya que corresponden a material sin identificación que ha sido dejado por estudiantes o académicos que han culminado su trabajo o investigación sin hacer disposición de ellos. Una forma de prevenirlo es concientizar al generador de la importancia de su retiro y disposición antes de que su permanencia termine o bien, remover periódicamente todo el material sin identificar. No sólo es suficiente que los residuos se identifiquen con siglas, deben tener la información necesaria y reglamentaria para que sean correctamente manejados y dispuestos. Los residuos mixtos se generan cuando dos a más residuos se mezclan, este nuevo residuo "combinado" puede presentar una serie de problemas, no sólo relacionado con la incompatibilidad de la mezcla, sino que también se puede volver confusa su forma de manipulación y disposición cuando se desconocen las propiedades de la mezcla final. Cada tipo de residuo tiene un conjunto específico de regulaciones asociadas a su manejo y disposición. Por ejemplo, si se mezcla tolueno con un isótopo radioactivo, este residuo debe cumplir con ambas regulaciones. En general, las prácticas de laboratorio deben evitar el generar este tipo de residuos y se deben considerar las modificaciones necesarias para que cada residuo sea recolectado de manera independiente.

La gran variedad de sustancias generadas en el trabajo en laboratorios y talleres, generalmente hace que los residuos generados en el área educacional y de investigación, sean más muchas veces más complejos en su identificación, manejo y disposición que los residuos producidos en la industria química. Lo anterior debido a la periodicidad y variabilidad propia de las actividades académicas. Entre los materiales que se han identificado dentro de los procesos que se realizan al interior de universidades e institutos de educación superior (diagnóstico sectorial), están los presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1: Principales corrientes de residuos químicos generados en los talleres y laboratorios de química y su clasificación**

Principales Corrientes de Residuos	Clasificación
Reactivos químicos varios	Reactivo
Gases comprimidos	Sin clasificar
Solventes halogenados y no halogenados	Inflamable
Medios de cultivo	Sin clasificar
Material de vidrio*	Sin clasificar
Envases vacíos de productos*	Sin clasificar
Refrigerante de equipos	Sin clasificar
Productos químicos de limpieza	Corrosivos
Soluciones inorgánicas	Sin clasificar
Mezclas de compuestos corrosivos	Corrosivos
Mercurio y compuestos de mercurio	Tóxico
Hidrocarburos	Tóxico
HPLC y compuestos inorgánicos	Reactivos
Bromuro de etidio	Tóxico
Líquidos de fijador fotográfico	Tóxico
Fertilizantes en desuso	Sin clasificar
Líquidos ácidos/básicos	Corrosivos
Geles de agarosa	Sin clasificar
Formalina sucia	Sin clasificar
Xilol sucio	Sin clasificar
Aceites de equipos	Sin clasificar

\*Se considera como residuo químico cuando no se ha realizado su limpieza y desinfección adecuada.

Fuente: Adaptado de Informe de Diagnóstico APL Campus Sustentable

Las instituciones de educación deben tomar ventaja de las oportunidades disponibles para crear sistemas de formación y evaluación de los futuros profesionales, cuyo perfil debiera incluir la preocupación, ética y responsabilidad por el ambiente. En la mayoría de los casos, las medidas implementadas en los distintos ámbitos económicos para la prevención de la contaminación son

en función de claros beneficios financieros por ahorro de energía y materias primas. Sin embargo, las instituciones de educación tienen la misión de formar o recursos humanos que consideren la reducción de la contaminación dentro de un concepto de sustentabilidad global y no sólo como un beneficio monetario.

Los principales beneficios resultantes de la prevención y minimización de la generación de residuos químicos se refieren a la mejora en la eficiencia en el uso de los recursos, incluyendo:

- Mejorar el rendimiento del proceso de investigación y enseñanza.
- Mejorar el desempeño medioambiental del establecimiento educacional.
- Incorporar las buenas prácticas a la enseñanza universitaria.
- Cumplir con la legislación y reducir los riesgos de accidentes humanos y ambientales.
- Conseguir ventajas estratégicas y comerciales frente a la competencia.

También es posible identificar beneficios específicos para los usuarios, tales como mejorar el ambiente de trabajo y la toma de conciencia que beneficia directamente al entorno.

<b>BENEFICIO EN EL SECTOR</b>	<b>BENEFICIO AMBIENTAL</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ahorro de materias primas.</li><li>• Ahorro en energía.</li><li>• Ahorro en manejo y/o tratamiento de residuos.</li><li>• Disminución de costos directos e indirectos debido al no cumplimiento de estándares ambientales: multas, cierre de establecimientos, etc.</li><li>• Recuperación y/o comercialización de subproductos.</li><li>• Imagen de la institución frente a la competencia.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ahorro en disposición de residuos.</li><li>• Disminución de emisiones atmosféricas y de gases de efecto invernadero (GEI).</li><li>• Reducción en los riesgos de disposición de los residuos, en especial de los peligrosos.</li></ul>

### 2.3 Costos asociados a la gestión en la prevención y minimización de residuos químicos

Algunos de los costos en la reducción de residuos, son más fáciles de cuantificar que otros, como son los costos de disposición y manejo del residuo. Los costos de manejo y disposición varían de acuerdo al tipo de residuos; si son sólidos o líquidos, la peligrosidad de éstos, el tipo de contenedor en los que están almacenados (tambores o a granel) y la cantidad de residuo a disponer, entre otros. Sin embargo, los costos no sólo consideran los gastos por manejo y disposición, sino que también, se deben considerar gastos “invisibles” que son relativamente fáciles de evitar cuando se implementa correctamente el sistema de gestión y monitoreo de las causas que generan los residuos. En la Figura 3 se presenta un esquema de la estructura de costos cuando al manejo y disposición de residuos se refiere.

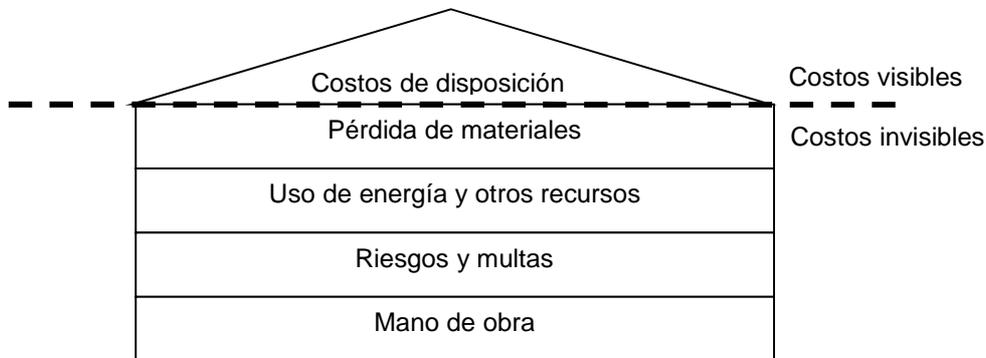


Figura 3. Estructura de costos visibles e invisibles asociados al manejo y disposición de residuos

En general, los costos asociados a las tecnologías de prevención y minimización de la generación de residuos consideran la compra de equipamiento necesario en cuanto al tema del uso de equipos más eficientes, es decir, equipos que trabajen con una menor cantidad de reactivos y/o recursos o que generen una menor cantidad de residuos. Gran parte de la prevención y reducción de la generación de los residuos se considera como la habituación a buenas prácticas (de sustentabilidad y de logística) que no involucren el incurrir en inversiones mayores, sino que se basan en la concientización y capacitación de los usuarios y generadores de residuos.

## **COSTOS EN EL SECTOR**

- Requerimientos de inversión para el mejoramiento del impacto ambiental de las actividades de enseñanza: reemplazo de unidades ineficientes, nuevos sistemas de control, modificaciones a las actividades, diseño e implementación de nuevas actividades, etc.
- Costos de operación asociados al mejoramiento del impacto ambiental de las actividades de enseñanza: incremento en el costo de insumos o materiales con menor potencial impacto.
- Mantenimiento de un sistema de gestión ambiental y responsabilidad social.
- Almacenamiento, transporte y disposición de los residuos generados en las actividades académicas.

### 3. NORMATIVA APLICABLE

Los Establecimientos de Educación Superior señalan que el manejo de sus residuos es parte de sus preocupaciones concernientes a la degradación del medio ambiente. Sin embargo, sólo algunas instituciones tienen protocolos efectivos de minimización, manejo y disposición de los residuos. Muchas veces la falta de infraestructura y recursos, así como de políticas públicas en la materia, limita la adecuada disposición de los residuos, especialmente los químicos.

A continuación se presenta una lista de la normativa aplicable y de los documentos de ayuda que permiten cumplir con la regulación establecida.

NORMATIVA APLICABLE	
<b>Residuos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental Decreto Supremo DS N° 95/2001. Artículo 93: “Permiso Disposición de Residuos, Basuras y desperdicios de cualquier clase” establecido en el Título VII.</li><li>• Decreto Fuerza de Ley N° 725/1967) del Ministerio de Salud, que establece el Código Sanitario.</li><li>• Decreto Fuerza de Ley N° 1/1990), del Ministerio de Salud, determina materias que requieren Autorización Sanitaria expresa.</li><li>• Decreto Supremo N° 78/2009 del Ministerio de Salud que aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas.</li><li>• Decreto Supremo N° 609/1998 del MOP que establece Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.</li><li>• Decreto Supremo N° 157/2005 del MINSAL que aprueba el “Reglamento de Pesticidas de Uso Sanitario y Doméstico”.</li><li>• Decreto Supremo N° 148/2003 del MINSAL, Reglamento Sanitario sobre manejo de Residuos Peligrosos.</li><li>• Decreto Supremo N° 594/1999 del Ministerio de Salud, aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los lugares de trabajo.</li></ul>
<b>Higiene y seguridad laboral</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Decreto Supremo N° 594/1999 del Ministerio de Salud, aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los lugares de trabajo.</li><li>• Decreto Supremo DS N° 40/1969 que aprueba “Reglamento Sobre prevención de Riesgos Profesionales” del Ministerio del</li></ul>

NORMATIVA APLICABLE	
	Trabajo.
<b>Otros documentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CONICYT, 2008. Manual de Normas de Bioseguridad, 2ª ed.</li> <li>• NCh 382. Of 98, Sustancias Peligrosas – Terminología y clasificación general.</li> <li>• NCh 2190. Of 93, Sustancias Peligrosas- Marcas para Información de Riesgos.</li> <li>• NCh 2120. Of 98, Sustancias Peligrosas – Parte 1 a 9.</li> <li>• NCh 387/55, Medidas de Seguridad en el empleo y manejo de materiales inflamables.</li> <li>• NCh 388. Of 55, Prevención y extinción de incendios en almacenamientos de materias inflamables y explosivas.</li> <li>• NCh 389. Of 74 sobre Sustancias Peligrosas - Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables - Medidas de seguridad.</li> <li>• NCh 758.E Of71, Sustancias Peligrosas - Almacenamiento de Líquidos Inflamables – Medidas particulares de seguridad.</li> <li>• NCh 1411/4.Of 78, Prevención de Riesgos - Parte 4: Identificación de Riesgos de Materiales.</li> <li>• Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobada el 17 de Enero de 2005 por el Consejo Directivo de CONAMA.</li> </ul>

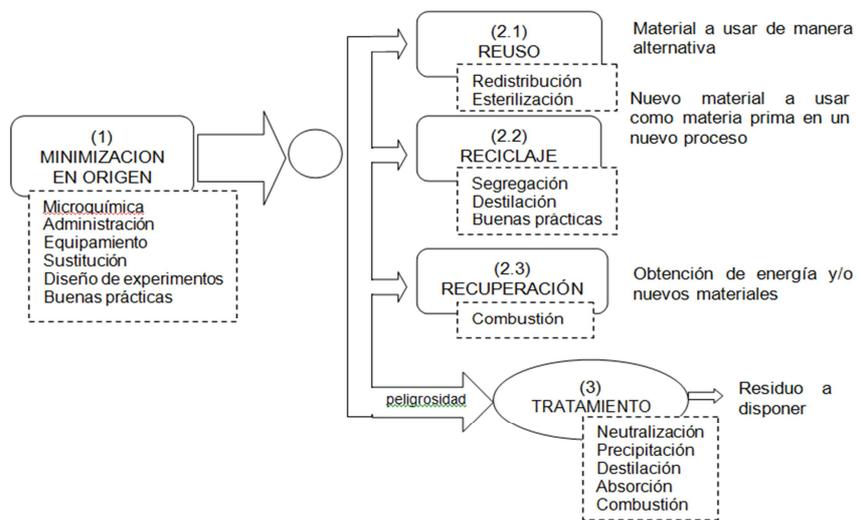
El no cumplimiento de lo indicado en la reglamentación puede generar sanciones por parte de la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) de Salud, las que pueden ir desde una amonestación hasta el cierre temporal del establecimiento.

#### **4. MTD SELECCIONADAS: PRÁCTICAS PARA LA PREVENCIÓN Y MINIMIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS QUÍMICOS**

Considerando los antecedentes anteriores, las técnicas que se han identificado para la prevención y minimización de residuos químicos consideran tres grupos:

1. Minimización en origen (Reducción)
  - MTD 1: Sistema de Gestión Integral de Residuos
  - MTD 2: Mejora en el diseño de las actividades de trabajo
  - MTD 3: Uso de equipos más eficientes para extracción (Accelerated Extraction Solvent, ASE)
2. Reinserción al proceso (Reuso, Reciclaje, Recuperación)
  - MTD 4: Recuperación de solventes
3. Tratamientos para reducir la peligrosidad de los residuos
  - MTD 5: Reducción de la peligrosidad por esterilización

Se debe señalar que estas prácticas se deben aplicar de forma integral para obtener los máximos beneficios medioambientales y económicos. En este caso, estas técnicas no son excluyentes y se hace énfasis en que el éxito de la gestión para la prevención y minimización de la generación de residuos se basa en la implementación conjunta de estas técnicas. En la Figura 4 se presenta un esquema general de diversas prácticas (que incluyen las mejores técnicas disponibles contenidas en este documento) que se pueden considerar dentro de laboratorios y talleres para la minimización de residuos.



**Figura 4: Diagrama de integración de diversas prácticas para la prevención y minimización de residuos**

## MTD 1: SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

### DESCRIPCIÓN



Un Sistema de Gestión es un conjunto de etapas unidas en un proceso continuo, con el objetivo de entregar los lineamientos para lograr las metas de una institución, mediante una serie de políticas y estrategias, que incluyen la optimización de procesos y actividades. Lo anterior para el cuidado de la seguridad y salud de los usuarios que tienen contacto con los residuos generados en una institución, así como del cuidado medioambiental. El sistema de gestión contempla una serie de políticas y acciones que derivan en la reducción de la emisión de residuos al interior del establecimiento y determina además la responsabilidad sobre la aplicación de éstos protocolos. El sistema de gestión debe considerar protocolos para la minimización de residuos, tratamiento in situ de los residuos generados, recogida selectiva de los residuos que no se pueden tratar, segregación en el almacenamiento de sustancias (ver Anexo 1) y para el monitoreo y control en la generación, manipulación y disposición de residuos.

4 enfoques: Reducir, Reusar, Reciclar y Recuperar, conocidos como las 4R.

- **Reducir:** Es la forma más efectiva de minimizar los residuos. Esto implica el uso de reactivos menos peligrosos, tratamiento de los residuos antes de su disposición.
- **Reciclar:** Involucra la recolección y reprocesamiento de los residuos para transformarlos en nuevos productos. Sólo parte de los residuos pueden ser reciclados, siendo fundamental la segregación en origen. Los residuos deben tener un alto contenido del material de interés para que el proceso sea eficaz.
- **Reusar:** Consiste en el uso directo del material sin transformar (o ligeramente transformado) para un uso similar o alternativo.
- **Recuperar:** Involucra la obtención de energía desde los residuos. Por ejemplo, los

solventes y el aceite pueden ser utilizados como combustibles

Cada política o protocolo asociado al sistema de gestión debe estar orientado a la realidad y a las necesidades específicas de la institución, laboratorio o taller. El desarrollo de estos documentos se encuentra enmarcado dentro del cumplimiento de las normativas y regulaciones nacionales e institucionales.

Este documento se encontrará a disposición de los usuarios de la instalación, debe ser claro, específico e inequívoco en cuanto a la aplicación de sus lineamientos y a las responsabilidades correspondientes.

El sistema de gestión integral de residuos contemplará su accionar, en particular, las actividades identificadas como las fuentes que generan una mayor cantidad de residuos y las que presentan las mayores oportunidades de minimización en su generación. A modo general, las actividades de mayor importancia en la generación de residuos en talleres y laboratorios son tres:

1. Adquisición de materias primas, reactivos y equipamiento
2. Actividades de trabajo
3. Almacenamiento de material – Almacenamiento de residuos

Una breve explicación de estas actividades se presenta a continuación:

- Adquisición del material: La prevención y minimización de residuos tiene como punto de origen la compra del material y equipamiento diverso. En este punto se consideran políticas de compra (qué, cuánto, a quién) a fin de minimizar tanto el material de interés que ingresa al recinto como el material de embalaje, en particular el que no se puede reciclar.
- Actividades de trabajo: Es la fuente principal de generación de residuos, peligrosos y no peligrosos. Considera todas las actividades experimentales dentro de laboratorios y talleres, así como las actividades de limpieza y mantención, así como cualquier otra actividad secundaria asociada.
- Almacenamiento: La mantención de los materiales en espera de su uso, o bien, durante el almacenamiento de los residuos provenientes de la actividad de trabajo, muchas veces carece de una estructura u orden definido, lo que hace que los productos caduquen aumentando el volumen de residuos a disponer y, además, se formen mezclas de

productos o residuos incompatibles. Por otra parte, es posible que se generen emisiones al aire por vaporización de compuestos, y al agua/suelo por derrames de productos líquidos y sólidos contenidos en el almacén cuando no se ponen en práctica los protocolos establecidos para el almacenamiento.

### BUENAS PRÁCTICAS ASOCIADAS

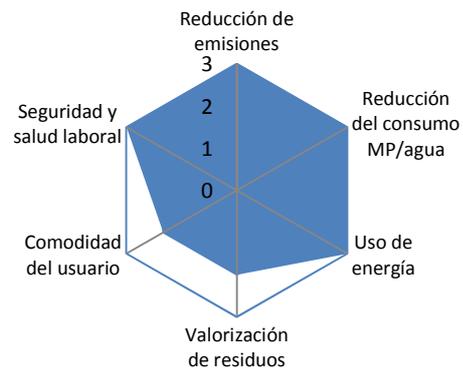
- Se debe realizar la inducción correspondiente a los usuarios a fin de que conozcan el Sistema de gestión integral de residuos de su lugar de trabajo.
- De manera anual – bianual, se debe realizar una revisión de los protocolos establecidos y contrastarlos con las técnicas y tecnologías nuevas del mercado.

### CONDICIONES DE USO

- La aplicación correcta del sistema de gestión está basada en la apropiada capacitación de los usuarios y de los encargados de su aplicación.

### BENEFICIOS AMBIENTALES

- Se disminuye el nivel de residuos a disponer y contaminantes a emitir en la instalación.
- Facilita el reciclaje de materiales por parte de terceros, disminuyendo la emisión de residuos al ambiente.
- Disminuye los riesgos de accidentes laborales por malas prácticas. Promueve la seguridad y salud de los usuarios.



### VENTAJAS

- Permite la entrega de información de manera centralizada, estandarizada e inequívoca sobre cómo proceder en cada una de los recintos asociados a una instalación.

### DESVENTAJAS

- Requiere de la capacitación del personal.
- Requiere de revisión para su mejora continua.

### APLICABILIDAD

Se puede implementar esta práctica para todo laboratorio y taller.

### COSTOS Y AHORROS ASOCIADOS

- Los costos asociados a esta técnica es el pago al encargado de la realización del documento, con un valor de asesoramiento entre 1,0 a 1,5 UF/h. Se considera que el levantamiento de información, análisis de resultados y redacción del informe considera alrededor de 96 a 100h de trabajo.
- El costo de capacitación se considera como la hora-hombre del taller de capacitación y del costo del relator.

### CASO PRÁCTICO

A continuación se entregan ejemplos que se pueden aplicar en las distintas actividades académicas, ya sea en talleres o en laboratorios, sobre los cuales un sistema de gestión integral de residuos puede generar protocolos para la reducción en la generación de residuos. Para su ejemplificación se consideraran las tres actividades de mayor impacto sobre la producción de residuos dentro de la instalación:

#### **Adquisición del material:**

- a. Inventario colaborativo. Se basa en la mantención de un inventario en común para los diversos laboratorio y talleres que funcionen dentro de un mismo establecimiento, el cual debe mantenerse al día y a cargo de una entidad centralizada, previniendo la compra excesiva, duplicada o innecesaria de materiales. Esto evita el desperdicio de material por vencimiento, mal estado, o por exceso de material.
- b. Distribución: Esta técnica complementa la mantención de un inventario colaborativo. Se refiere al intercambio de material y equipos entre laboratorios y talleres a fin de evitar la compra innecesaria de los reactivos y a considerar usos alternativos a equipos que ya no son requeridos para cierta actividad. Considera que los equipos dados de baja y que pueden ser utilizados de manera segura en otras actividades, se pueden redistribuir tanto a otros laboratorios como a otras instituciones.
- c. Buenas prácticas:
  - Limitar la compra de los reactivos a la cantidad precisa que se va a utilizar en cierto periodo de tiempo.
  - Se deben preferenciar los envases pequeños, comprar químicos a granel puede ahorrar dinero en la compra, pero la disposición del material sin utilizar puede costar aún más que el ahorro inicial.
  - Si se necesita utilizar una solución diluida, preferenciar la compra de la solución preparada y no la botella del sólido respectivo.

- Nunca acepte donaciones de materiales. Estas donaciones por lo general no tienen fecha de síntesis y su pureza y calidad son desconocidas.

### **Actividades de trabajo:**

Coordinación en el uso de los equipos. Se evita repetir ensayos si el equipo no está a su máxima capacidad. Otra forma es distribuir los equipos de acuerdo a su necesidad de uso, a fin de evitar los cuellos de botella y el uso innecesario de éstos.

- a. Sustitución de reactivos/materiales: Significa el reemplazo o la reducción de sustancias peligrosas en productos y procesos por sustancias menos peligrosas o no peligrosas, o mediante medidas tecnológicas u organizacionales que logren una funcionalidad equivalente que lleven a la reducción en volumen y/o peligrosidad de los residuos químicos. El uso de materiales menos peligrosos (menos inflamables, reactivos, tóxicos, etc.) involucra tanto los reactivos e insumos a utilizar dentro del trabajo, como de los productos de limpieza (por ej. soluciones de ácido crómico por detergentes enzimáticos) y equipamiento (por ej. termómetros de mercurio por electrónicos). Otra opción es sustituir el uso de solventes por técnicas tales como líquidos iónicos y fluidos supercríticos, entre otros.
- b. Buenas prácticas:
  - Se debe considerar la opción de presentaciones audiovisuales como sustituto a algunos experimentos con fines demostrativos.
  - Para los talleres demostrativos, es recomendado comprar los kit de análisis que vienen con las cantidades exactas para los experimentos.
  - Aumentar el uso del análisis instrumental, al contrario el de la química húmeda, cada vez que sea posible.
  - Entrenar al personal en seguridad ambiental, así como informar y formar al personal del laboratorio sobre el procedimiento de gestión de residuos.
  - Revisar constantemente los procesos que generan residuos, de manera de realizar las modificaciones pertinentes para disminuir el volumen de residuos generados.

### **Almacenamiento**

- a. Segregación. Durante el almacenamiento de los compuestos previo a su utilización, esta técnica se refiere a la separación de éstos de acuerdo a su compatibilidad a fin de prevenir reacciones peligrosas. De manera similar, durante el almacenamiento de los residuos, esta

técnica se refiere a la recogida selectiva en función a grupos de residuos establecidos. Esta separación previene que los residuos se contaminen por la mezcla de material inocuo con nocivos evitando la generación de una mayor cantidad de residuos peligrosos. Además, evita la reacción de compuestos incompatibles, minimizando la posibilidad de accidentes.

b. Buenas prácticas:

- Manipular las sustancias con el máximo cuidado para evitar pérdida de material y con los debidos implementos de protección.
- Distribuir de las zonas de almacenamiento según compatibilidad de residuos (ver Anexo 2).
- Revisar continuamente las instalaciones de almacenamiento y de los contenedores.
- Identificar correctamente los contenedores para cada tipo de sustancia.
- Proveer de un ambiente seguro para el almacenamiento (temperatura, humedad, ventilación, contenedores apropiados).
- Mantener actualizado el stock de los productos almacenados, principalmente tipo de producto, cantidad y fecha de vencimiento.
- Ordenar la salida de los productos de acuerdo a las fechas de vencimiento.

## MTD 2: MEJORA EN EL DISEÑO DE LAS ACTIVIDADES DE TRABAJO

### DESCRIPCIÓN



Las actividades experimentales generan una gran cantidad de residuos de diversa índoles y en cantidades variables. En un recinto educacional, es posible encontrar distintos tipos de talleres y laboratorios que involucra la manipulación de una amplia gama de materias primas y equipos, desde inocuos como papeles y cartones, hasta peligrosos como solventes y productos biológicos.

Para prevenir o minimizar la generación de estos residuos, el trabajo debe estar diseñado para minimizar el uso de materia prima, entregar altas productividades y/o rendimientos, y minimizar finalmente la producción de residuos.

Esta técnica se refiere a la administración y planificación de las actividades de trabajo al interior del recinto, mediante estrategias tales como la coordinación entre grupos de trabajo, el diseño de actividades enlazadas y distribución de materiales y equipos de manera eficiente. Esta técnica involucra que se formen lazos, tanto dentro del taller o laboratorio, cómo entre los distintos talleres dentro del recinto institucional.

Estas estrategias se evalúan de acuerdo a los perfiles de las actividades realizadas en el taller o en el laboratorio, y deben ajustarse a los requisitos que se contemplan dentro de la programación educacional, por lo cual se antes de su instauración, se debe evaluar su impacto sobre éste. Por lo general, no involucran modificaciones sustanciales en el desarrollo específico de la actividad, sino que involucran cambios sobre la planificación de éstas.

### BUENAS PRÁCTICAS ASOCIADAS

- Capacitación inmediata de los usuarios que ingresen al sector de trabajo por primera vez.
- Revisión periódica de las actividades que permita su mejora continua.

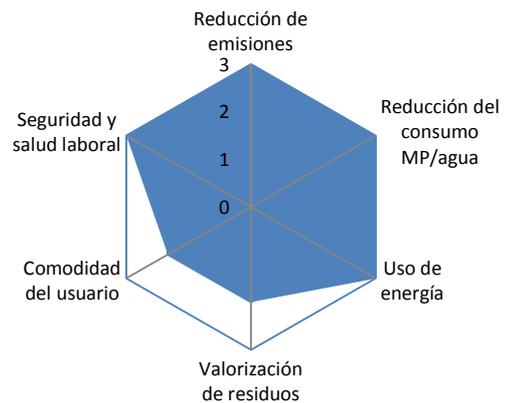
### CONDICIONES DE USO

- Estas técnicas no tienen condiciones especiales de uso o distintas a las que se consideran para dicho trabajo en específico.
- Se debe cerciorar que el usuario haya sido inducido en estas técnicas antes de las actividades.

### BENEFICIOS AMBIENTALES

- Se disminuye el nivel de residuos a disponer y contaminantes a emitir a la atmósfera.
- Disminuye los riesgos de accidentes laborales por malas prácticas y disminuye las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

### BRECHAS



### VENTAJAS

- Estas técnicas son de inmediata implementación y bajo costo.
- Aumenta la seguridad del recinto al minimizar la exposición del usuario a los potenciales peligros químicos.
- Alienta a los alumnos a concientizarse sobre la minimización de residuos.

### DESVENTAJAS

- No presenta desventajas directas en su aplicación.
- Requiere de la capacitación de los usuarios.

### APLICABILIDAD

Se puede implementar esta práctica para todo laboratorio y taller.

### COSTOS Y AHORROS ASOCIADOS

- No involucra costos mayores de inversión o de operación, considera el tiempo del personal destinado a la inducción de los usuarios y de los encargados de supervisar las actividades de trabajo y el almacenamiento de las materias primas e insumos.

## CASO PRÁCTICO

A modo de ejemplo, se presentarán prácticas que pueden ser instauradas en distintos tipos de talleres y laboratorios.

- Los grupos de trabajo que realicen experiencias similares pueden planificar sus actividades a fin de utilizar al máximo la capacidad de los equipos requeridos. De esta forma se minimiza el número de ciclos de operación de un equipo (centrífuga, bombas, extractores, compresores) y se disminuye el tiempo de operación de equipos sin uso efectivo (hornos, incubadoras).
- Planificar la actividad de trabajo con otros grupos y determinar las materias primas que pueden ser compartidas, compradas en mayor cantidad o a granel reduciendo la cantidad de embalaje necesario (aceites, pinturas, reactivos, etc.).
- Al probar nuevos métodos de trabajo o al utilizar equipos y herramientas por primera vez, se sugiere pedir prestado un poco del material o el equipo/herramienta en cuestión, evaluando su idoneidad antes de su encargo final. Se recomienda la implementación de un inventario centralizado de los distintos talleres y laboratorios de la institución.
- Evaluar la alternativa de contar con un paso final que disminuya la peligrosidad del residuo o permita su valorización como parte de la actividad educacional, en particular para trabajos con reactivos químicos (neutralización, precipitación, decantación de aceites). Este nuevo residuo inocuo (o producto recuperado) es integrado dentro la planificación para nuevas actividades (ej., recuperación de plata en talleres fotográficos, de solventes para limpieza y de aceite de lubricación para demostraciones en talleres mecánicos).
- Coordinar experiencias (a corto y largo plazo) para permitir que el producto final de la primera sea la materia prima de la siguiente. Al final de la primera experiencia, los usuarios deberán entregar este producto final a un encargado designado para este fin, para que lo almacene correctamente y lo distribuya como materia prima para la experiencia siguiente. En ningún caso, estos productos quedarán sin resguardo entre experimentos. Esto mismo aplica para el abandono de instalaciones, donde los productos deben ser redistribuidos a nuevos usuarios.

### MTD 3: USO DE EQUIPOS MÁS EFICIENTES PARA EXTRACCIÓN (ACCELERATED EXTRACTION SOLVENT, ASE)

#### DESCRIPCIÓN



En el uso de equipos más eficientes, se puede mencionar la sustitución de un equipo Soxhlet por un equipo ASE (Accelerated Solvent Extraction) en la recuperación de compuestos por extracción. ASE es una técnica de extracción desde matrices sólidas y semisólidas usando solventes comunes a elevadas presiones (1.500 – 2.000 psi) y temperatura (50 – 200°C), entregando resultados en minutos, en vez de las horas que toma una extracción tradicional con equipos Soxhlet o sonicadores. Además, este equipo disminuye en un 90% el uso de solventes y a 1/3 el costo de procesamiento por muestra.

El aumento de temperatura y presión mejora los coeficientes de difusión y la transferencia de masa, así como la capacidad del solvente de solubilizar los compuestos de interés. Disminuye la viscosidad y mejora la penetración del solvente en la matriz. Por otra parte, la engorrosa preparación de las muestras puede ser automatizada, donde la limpieza de las muestras se pueden llevar a cabo en mejor tiempo y en un paso único. A continuación se presenta una comparación entre distintas técnicas de extracción.

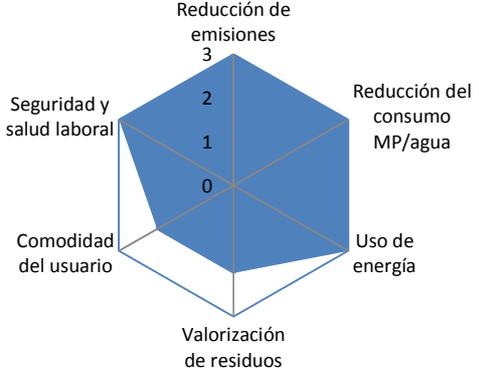
Técnica	Tamaño de muestra (g)	Vol. solvente (mL)	Temp. (°C)	Presión	Tiempo extracción (h)	Número de muestras	Costo
Soxhlet	10 – 20	200 – 500	40 – 100	Atm	12 – 24	1 (serie)	Muy bajo
Soxhlet automatizado	10 – 20	50 – 100	40 – 100	Atm	1 – 4	6 (lote)	Medio
Extracción por fluido supercrítico	5 – 10	10 – 20	50 – 150	2,0 – 4,0 mPsi	0,5 – 1,0	44 (serie)	Alto
ASE	1 – 30	10 – 45	50 – 200	1,5 – 2,0 mPsi	0,2 - 0,3	24 (serie) – 6 (lote)	Alto

#### BUENAS PRÁCTICAS ASOCIADAS

- Se recomienda seguir las indicaciones del proveedor para la limpieza y mantención del equipo.
- Se recomienda utilizar los solventes y reactivos de calidad adecuada para aumentar la vida útil del equipo.
- Los solventes agotados y otros residuos deben ser manipulados y dispuestos de acuerdo a los protocolos definidos para la minimización de su impacto.

#### CONDICIONES DE USO

- Su uso es automatizado.
- Se utiliza para matrices sólidas, por lo que se recomienda secar la muestra antes de su extracción.
- Se recomienda utilizar filtros de celulosa en el fondo de las celdas de extracción a fin de evitar la acumulación de material particulado en el vial.

BENEFICIOS AMBIENTALES	BRECHAS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se disminuye el nivel de residuos a disponer y contaminantes a emitir para un mismo proceso de extracción.</li></ul>	 <p>A radar chart with six axes representing different environmental and user-related metrics. The axes are: Reducción de emisiones (top), Reducción del consumo MP/agua (top-right), Uso de energía (right), Valorización de residuos (bottom), Comodidad del usuario (bottom-left), and Seguridad y salud laboral (left). The chart has a scale from 0 to 3. The 'Reducción de emisiones' axis is marked with 3, 2, 1, and 0. The 'Reducción del consumo MP/agua' axis is marked with 2, 1, and 0. The 'Uso de energía' axis is marked with 1 and 0. The 'Valorización de residuos' axis is marked with 1 and 0. The 'Comodidad del usuario' axis is marked with 1 and 0. The 'Seguridad y salud laboral' axis is marked with 1 and 0. The chart shows a score of 3 for 'Reducción de emisiones', 2 for 'Reducción del consumo MP/agua', 1 for 'Uso de energía', 1 for 'Valorización de residuos', 1 for 'Comodidad del usuario', and 1 for 'Seguridad y salud laboral'.</p>

### COSTOS Y AHORROS ASOCIADOS

Este equipo disminuye en un 90% el uso de solventes y a 1/3 el costo de procesamiento por muestra. A continuación se muestra una comparación entre los costos de distintos sistemas de extracción<sup>2</sup>.

Técnica	Volumen promedio de solvente (mL)	Tiempo promedio de extracción (h)	Costo promedio por muestra (\$)
Soxhlet	200 – 500	4 – 48	13.500
Soxhlet automatizado	50 – 100	1 – 4	8.000
Sonicación	100 – 300	0,5 – 1	12.000
Extracción por fluido supercrítico	8 – 50	0,5 – 1	11.500
ASE	15 – 40	0,25 – 0,3	7.000

### VENTAJAS

- Las extracciones desde material (1 a 100 g) se puede realizar en minutos.
- Promueve el ahorro en solventes.
- Amplio rango de aplicaciones.
- Puede manejar matrices ácidas y alcalinas.
- Automatiza hasta 24 muestras.

### DESVENTAJAS

- Es una técnica más compleja pero menos selectiva.
- Requiere mayores temperaturas de operación por lo que aumenta el peligro potencial de volatilización de compuestos.
- El equipo posee un alto costo.

### APLICABILIDAD

Se puede implementar esta práctica para todo laboratorio y taller que realice actividades de docencia.

<sup>2</sup> [http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course\\_info/2302548/Wk11.pdf](http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302548/Wk11.pdf)

### CASO PRÁCTICO

Como ejemplo de cálculo, se considera la compra de un ASE como sustitución de un equipo Soxhlet tradicional.

Periodo de inversión: 5 años

Tasa de interés: 10%

Inversión inicial: \$ 4.000.000

Costos operación: \$ 480.000 (considerando una disminución de 10 veces en el uso de reactivos y de 1/3 en los costos de procesamiento)

Costos de mantención: \$120.000 (mantención y operación como el 15% del costo del equipo)

Ahorro anual neto: \$ 2.100.000

#### Resultados

PRI: 2 año - TIR: 44% - VAN: \$3.960.652

#### MTD 4: RECUPERACIÓN DE SOLVENTES

##### DESCRIPCIÓN



Los solventes tienden a ser recuperados en mayor proporción que otros residuos. La primera etapa en seleccionar una tecnología para la recuperación de solventes es identificando cual es la técnica más simple, efectiva y menos costosa. Entre las técnicas se pueden considerar la decantación, la filtración y la centrifugación, en especial para los contaminantes particulados. Si el contaminante no se puede remover mediante estas técnicas, se puede considerar la destilación, la destilación a vacío, la filtración por membrana, la evaporación y la pervaporación.

Cuando el análisis económico indica que la recuperación del solvente no es rentable, estos solventes son derivados para su utilización como combustible alternativo. Sin embargo, requiere de una evaluación cuidadosa, ya que las características del residuo deben corresponder con la capacidad del proceso en el que se pretende realizar la combustión.

Solvente Taller – laboratorio	Xileno	Metanol	Tolueno	Tetracloroetileno	Cloruro de metileno	Metil etil cetona	Tricloroetileno	1,1,1-tricloroetileno	Acetona	Metil isbutil cetona
	Pinturas y similares	X	X	X		X	X		X	X
Limpieza de metales				X	X		X	X	X	
Pesticidas	X				X			X		X
Farmacéutica y químicos	X	X	X		X	X		X	X	X
Imprentas	X	X	X			X			X	

Todas las máquinas de lavado de solventes se diseñan generalmente con un sistema de destilación instalado apropiadamente. El reciclado en el sitio se ha vuelto conveniente debido al alto costo de algunos de los solventes, especialmente para solventes como el CFC-113. Por otra parte, la recuperación de solventes clorados es técnicamente factible debido a la estabilidad de la mayoría de los solventes clorados y sus puntos de ebullición relativamente bajos.

La destilación puede ser el método más común para el reciclaje de solventes, ya que los solventes suelen contaminados con otros solventes similares. La destilación puede realizarse in situ o por terceros. En caso de ser in situ debe ser evaluada en cuanto al costo del solvente, al de su recuperación y al costo de la disposición de su residuo. Esta tecnología es relativamente fácil de operar y puede entregar altas purzas (95% o mayor) y es posible recuperar entre el 80 a 99% del solvente dependiendo de su nivel de contaminación.

En toda recuperación de solventes, hay una etapa inicial donde se remueven los sólidos suspendidos y agua mediante separación mecánica. Estos métodos de separación mecánica incluyen filtración y decantación. Esta última también es usada para separar el agua del solvente inmiscible. Después del tratamiento inicial, los solventes sucios destinados para reuso como tal son destilados para separar las mezclas de solventes y para remover impurezas disueltas. En la destilación simple por lotes, una cantidad de solvente usado es alimentada al evaporador. Después de ser cargado, los vapores son removidos y condensados continuamente. Los residuos remanentes en el fondo del destilador son removidos del equipo después de la evaporación del solvente. La destilación continua simple es similar a la destilación por lotes exceptuando que el solvente es alimentado continuamente al evaporador durante la destilación, y los residuos del fondo del evaporador son descargados continuamente.

#### **BUENAS PRÁCTICAS ASOCIADAS**

No se detectaron buenas prácticas asociadas a esta técnica.

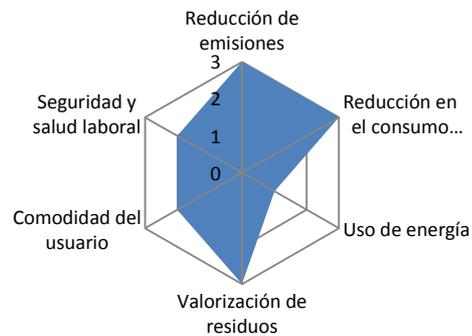
### CONDICIONES DE USO

- Se debe evitar la contaminación de los solventes con sustancias incompatibles para evitar incurrir en gastos de limpieza antes de su recuperación.

### BENEFICIOS AMBIENTALES

- Diminución de volumen de desechos nocivos para el ambiente.
- Disminución de costos por concepto de compra de solventes.

### BRECHAS



### VENTAJAS

- La destilación, cómo método más utilizado en laboratorios, es relativamente fácil de operar y puede entregar altas purzas (95% o mayor) y es posible recuperar entre el 80 a 99% del solvente dependiendo de su nivel de contaminación.

### DESVENTAJAS

- Muchas de las tecnologías mencionadas son aplicables a nivel industrial pero a escala de laboratorio aún no es rentable su uso (filtración por membrana, centrifugación, pervaporación).
- Tener un equipo de destilación aumenta los peligros de accidentes en el sitio.

### APLICABILIDAD

Aplicable a todo laboratorio o taller.

### COSTOS Y AHORROS ASOCIADOS

- Los costos operativos del equipo destilador incluyen mano de obra, energía, agua de enfriamiento y mantenimiento.
- Para tener un estimado, es posible encontrar en la web, herramientas de cálculo que entregan los costos asociados, por ej.  
[http://www.distinet.net/solvent\\_payback\\_calculator.aspx](http://www.distinet.net/solvent_payback_calculator.aspx)

### CASO PRÁCTICO

Para el ejemplo de cálculo, se consideró la comparación entre distintos sistemas de recuperación de solventes. El escenario base considerado corresponde al desechado del material.

Consideraciones:

Período de inversión: 5 años

Tasa de interés: 10% en todos los casos.

Costo de operación y mantención: 15% de la inversión inicial

#### Resultados

A continuación se muestra un resumen de los casos cuya rentabilidad resultó favorable al comparar distintos tipos de recuperación de solventes. Sin embargo estas opciones muchas veces no son factibles técnicamente según las características de los compuestos.

#### **Decantación**

Inversión inicial: \$ 100.000

Costos operación: Despreciable

Ahorro anual neto: \$450.000

PRI: 0 años

TIR: 450%

VAN: \$ 1.605.854

#### **Destilación**

Inversión inicial: \$200.400

Costos operación y mantención: \$30.000

Ahorro anual neto: \$420.000

PRI: 0 años

TIR: 209%

VAN: \$ 1.391.730

#### **Destilación a vacío**

Inversión inicial: \$425.850

Costos operación y mantención: \$63.878

Ahorro anual neto: \$386.122

PRI: 1 año

TIR: 87%

VAN: \$ 1.037.856

#### **Evaporación**

Inversión inicial: \$380.760

Costos operación y mantención: \$57.114

Ahorro anual neto: \$392.886

PRI: 1 año

TIR: 100%

VAN: \$ 1.108.587

## MTD 5: REDUCCIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR ESTERILIZACIÓN

### DESCRIPCIÓN



El material especial puede ser reutilizado mediante métodos de sanitización, desinfección o esterilización a fin de disminuir la cantidad de estos materiales que se disponen sin reusar, o bien, para disminuir su carga contaminante al momento de su disposición final. La esterilización es la destrucción o eliminación completa de toda forma de vida microbiana (incluidos hongos y bacterias esporuladas). Por otra parte, la desinfección es el proceso que elimina todos o prácticamente todas las bacterias presentes en el material. Entre los métodos se encuentran los físicos y los químicos:

- Métodos físicos: calor húmedo o autoclave, calor seco u horno Pasteur, irradiación ionizante gamma.
- Métodos químicos: óxido de etileno, formaldehído, ácido paracético, gas-plasma a partir del peróxido de hidrógeno

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de estos métodos.

- **Autoclave:** Es el método de elección en todo lo que pueda esterilizarse por ser termo resistente. Se basa en la aplicación de calor húmedo en forma de vapor sobre el material, por un periodo determinado de tiempo, dependiendo de la resistencia de los contaminantes. Producen naturalización y coagulación de proteínas debido, en primer lugar a la reactividad del agua ya que en muchas estructuras biológicas se produce por las reacciones que eliminan agua y en segundo lugar porque el vapor de agua es más caliente que el aire en la transferencia.
- **Calor seco o Poupinel:** Su acción es igual que la del calor húmedo o autoclave, salvo que el agua no participa en la desnaturalización de las proteínas de los microorganismos, por eso el calor seco necesita de más temperatura para destruir el microorganismo. Este método se

utiliza para esterilizar jeringas de cristal y material de vidrio, instrumentos cortantes, polvos y grasas.

- **Radiaciones ionizantes:** Se aplican mediante radiaciones gamma (cobalto-60) o mediante un acelerador de electrones. Se utilizan en la industria farmacéutica o en la esterilización de dispositivos sanitarios (catéteres, jeringas y material de plástico).
- **Óxido de etileno:** Es un gas a temperatura y presión normales que actúa eficazmente frente a todos los microorganismos.
- **Formaldehído:** Compuesto químico que inactiva microorganismos a través de la alcalinización de las proteínas.
- **Ácido paracético:** Se utiliza para material termosensible. Se trata de un compuesto químico con propiedades germicidas, sin productos tóxicos de descomposición y con gran capacidad de solubilización en agua. Es esporicida a bajas temperaturas, y permanece efectivo ante la presencia de algún material orgánico. El mayor problema que presenta este compuesto para ser considerado un excelente agente esterilizante es su poder de corrosión sobre los diferentes metales, dado su carácter oxidante.
- **Gas-plasma a partir del peróxido de hidrógeno:** Proceso a baja temperatura, para la transmisión de peróxido de hidrógeno en fase plasma, que destruye, neutraliza e impide la acción sobre cualquier microorganismo dañino por medios químicos o biológicos (biocida).

El ácido paracético y el gas-plasma son una alternativa eficaz al óxido de etileno, pero previamente debe efectuarse una limpieza y secado del material.

El autoclavado se preferencia cuando se cuenta con material contaminado con residuos de índole orgánico (sólido o líquido) tales como medios de cultivo, tejido animal/humano/vegetal, u otros, mientras que los otros tipos de esterilización se consideran para el material de laboratorio u otro insumo. A continuación se presenta un cuadro resumen con las técnicas más comunes de esterilización y sanitización (adaptado de 17).

	<b>Térmicos</b> Autoclave	<b>Químicos</b> Peróxido de hidrógeno	Ácido paraacético	Óxido de etileno	<b>Radiactivos</b> Rayos gama
Impacto ambiental	Mínimo	Mínimo	Importante	Mínimo	Mínimo
Ventajas	Seguro Efectivo Económico Confiable Rápido	Seguro Efectivo No tóxico Compatible con termolábiles	Seguro No tóxico Rápido	Efectivo Baja temperatura de uso Para materiales delicados Confiable	Simple Confiable Costos competitivos Rápido
Desventajas	Corrosivo Incompatible con material termolábil Posible deterioro del material plástico, filos metálicos Incompatible con soluciones que formen emulsiones con el agua, grasas y polvos	Incompatible con nylon, madera, celulosa, algodón Para materiales sólidos y de mínima humedad Muy costoso	Para materiales pequeños Aplicaciones puntuales	Lento Genera productos tóxicos Carcinogénico Costoso Necesita aireación Tóxico	Incompatible con PVC, PTFE y acetal.

Finalmente, para monitorear la efectividad de la esterilización, se puede verificar por medio de indicadores, tales como:

- Biológicos: utilizan esporas de *Bacillus stearothermophilus* (microorganismo termófilo). Se recomienda un control biológico cada semana.
- Químicos: Prueba de Bowie-Dick (papel que cambia de color).
- Físicos: Gráficas que registran la presión del vapor, la temperatura y el tiempo en cada ciclo de esterilización.

### BUENAS PRÁCTICAS ASOCIADAS

- Reparar y reusar del material de vidrio hace posible ahorrar entre un 25 a 35% de los costos de compra de material de vidrio.

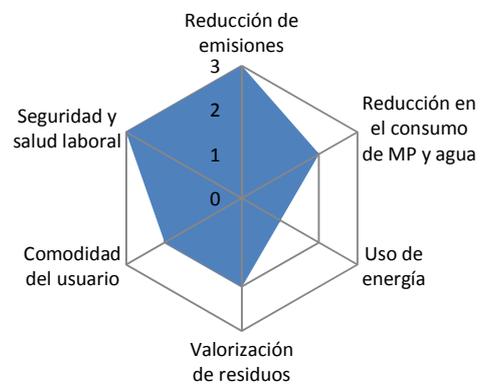
### CONDICIONES DE USO

- Las condiciones de uso se refieren a lo indicado directamente por el proveedor para cada caso.

### BENEFICIOS AMBIENTALES

- Reducción en la disposición de material peligroso al ambiente.

### BRECHAS



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso de sistemas de esterilización permite el ahorro por disposición de material biológico peligroso al convertirlo en inerte.</li> <li>• Esto permite su disposición general como desecho común.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si no se sigue un sistema de limpieza y mantenimiento adecuado, se puede estar reusando material contaminado. Esto disminuiría la eficiencia de los procesos posteriores y/o contaminaría otras secciones de los laboratorios.</li> <li>• Ciertos componentes de los residuos pueden provocar mal olor durante la operación de los autoclaves a vapor.</li> </ul>

APLICABILIDAD
Aplicable a todo laboratorio o taller

COSTOS Y AHORROS ASOCIADOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debido a que el beneficio medioambiental no se puede cuantificar en este caso. Los costos suponen la inversión inicial de la compra de los equipos, su operación y mantención.</li> <li>• Los ahorros se obtienen al evitar la disposición final del material.</li> </ul>

## CASO PRÁCTICO

Para la evaluación de un sistema de esterilización en un laboratorio o taller afín, se compararon distintas técnicas de esterilización a fin de determinar cuáles son las que presentan el mejor beneficio económico.

### Consideraciones

Costo de mantención de los equipos: 6% del valor del equipo.

Periodo de inversión: 5 años

Tasa de interés: 10% en todos los casos.

El escenario base considerado corresponde al desechado del material, por lo que el ahorro se considera al evitar su disposición.

### Resultados

#### **Autoclave a vapor**

Inversión inicial: \$ 4.768.905

Costos operación: \$57.717

Ahorro anual neto: \$2.642.283

PRI: 2 año - TIR: 46% - VAN: \$ 5.028.634

#### **Calor seco (horno)**

Inversión inicial: \$617.448

Costos operación: \$25.740 (electricidad)

Ahorro anual neto: \$2.674.260

PRI: 0 año - TIR: 424% - VAN: \$ 9.301.309

#### **Glutaraldehido 2%**

Inversión inicial y operación: \$136.305

Ahorro anual neto: \$2.563.695

PRI: 0 año - TIR: 424% - VAN: \$ 9.201.715

El caso de esterilización por óxido de etileno no se presenta ya que al ser evaluado se determinó que no es rentable y en 5 años no se recupera la inversión inicial.

## 5. REFERENCIAS

1. Chemical Recycling and Waste Minimization Procedures. 2011. University of Houston. Disponible en [http://www.uh.edu/ehs/manuals\\_and\\_forms/ecbs\\_chemrecyclewasteminproc012605.pdf](http://www.uh.edu/ehs/manuals_and_forms/ecbs_chemrecyclewasteminproc012605.pdf)
2. Hazardous Waste Management Guide. University of Florida. Disponible En <http://webfiles.ehs.ufl.edu/chemwastemgtguide.pdf>
3. Waste Minimization Guide. University of South Florida Disponible en <http://usfweb2.usf.edu/eh&s/hazwaste/wminimizationguide.pdf>
4. Waste Minimization. University of Miami. Disponible en <https://www6.miami.edu/health-safety/05umwasteminimization.pdf>
5. Management of Hazardous Waste. A Policy and Procedures Manual. 2000. Yale University. Disponible en <http://ehs.yale.edu/sites/default/files/hazwaste%20manual%20chemical%20section.pdf>
6. Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/gtz/defclarp/guiares.html>.
7. Manual de Gestión de Residuos de la Universidad de Extremadura. Disponible en <http://www.hazard.com/msds/>
8. Manual de Gestión de Residuos Peligrosos. Universidad de Salamanca. Disponible en [http://www3.usal.es/personal/usalud/calid\\_amb/manual.htm](http://www3.usal.es/personal/usalud/calid_amb/manual.htm).
9. Reglamento de Manejo de Residuos Peligrosos. Universidad de Concepción. Disponible en <http://www2.udec.cl/sqrt/reglamento/reglresiduos.html>
10. An Executive Guide to Pharmaceutical Manufacturing Efficiency and the Effect of Environmental Legislation. Disponible en [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/ssb-wp001\\_-en-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/ssb-wp001_-en-e.pdf)
11. Prudent Practices in the Laboratory, Handling and Disposal of Chemicals. National Research Council, National Academy Press, 1995.
12. Diagnóstico sectorial APL Campus sustentable.
13. Emission Estimation Techniques for Solvent Recycling. Disponible en <http://www.npi.gov.au/publications/emission-estimation-technique/pubs/fsolvent.pdf>
14. Patel, M. Medical sterilization methods - White paper. LEMO. Disponible en <http://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/lemo-1124/pdf/lemo-rf-medical-steril.pdf?redirected=1>
15. NTP 276: Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales. INSHT Disponible en [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp\\_276.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_276.pdf)

## Anexo 1

### Segregación de residuos no peligrosos

Estos residuos son catalogados como inocuos, y generalmente se pueden clasificar como reciclables y no reciclables. Los no reciclables son asimilados como basura domiciliaria y dispuestos en contenedores especialmente diseñados para ello. Cuando se trate de residuos inocuos (orgánicos e inorgánicos) provenientes de actividades experimentales, éstos deben ser dispuestos en bolsas adecuadas y selladas. Los residuos reciclables se deben separar en origen según:

- Vidrio
- Plástico
- Papel – Cartón
- Metal
- Baterías
- Orgánicos alimenticios

Esta separación facilita el reuso y el reciclaje según sea el caso. Los contenedores deben estar debidamente rotulados e identificados para no mezclar los residuos y dificultar las operaciones de recuperación. No se requieren condiciones especiales para su almacenamiento, con la única condición de que este material no se encuentra contaminado con residuos químicos u otro tipo de residuo peligroso. El material cortopunzante debe estar debidamente protegido para que no sea un peligro potencial para el manipulador final de los residuos. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de cómo se pueden separar estos residuos.



**Figura 5: Separación de residuos no peligrosos**

### Segregación de residuos químicos y/o peligrosos

El artículo 18 del DS 148/03 del MINSAL entrega una lista de residuos a fin de facilitar su identificación como peligrosos, los cuales se pueden agrupar en Corrosivos, Inflamables y Tóxicos. En la Tabla 2 se presenta el cuadro resumen con la identificación de los residuos y sus características.

**Tabla 2: Identificación de los residuos por tipo y sus características principales.**

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Característica</b>
Solvente halogenado	Inflamable
Solvente orgánico no halogenado	Inflamable
Tóxicos	Tóxico Crónico
Material biológico	Tóxico Crónico
Otros	Tóxico Crónico - Inflamable - Corrosivo
Solución acida	Corrosivo
Mezclas complejas	Tóxico Crónico - Inflamable - Corrosivo
Solución alcalina	Corrosivo
Tubos fluorescentes	Tóxico Crónico
Cartón y toner	Tóxico Crónico
Chatarra electrónica	Tóxico Crónico

Dentro del manejo de residuos para su minimización se encuentra la segregación en origen, la cual permite que el disponedor final de los residuos pueda recolectar y tratar cada tipo de residuo de acuerdo a su peligrosidad y potencial de recuperación o reciclaje.

La segregación involucra la mantención o almacenamiento de los residuos por un tiempo determinado dependiendo de la frecuencia con que una empresa externa los retira. Es por esto que las sustancias peligrosas deben ser almacenadas en contenedores separados por tipo, de material adecuado y en áreas seguras, siempre contemplando lo que la normativa vigente establece en el título IV del D.S. 148/03 del MINSAL. Los contenedores deben ser de material altamente resistente que eviten fugas de líquidos contaminantes, realizándose inspecciones frecuentes a fin de evitar los derrames y filtraciones. La adecuada separación de los residuos depende de la correcta identificación y rotulación de los éstos. En la Tabla 3 se presenta como ejemplo el modelo PUCV para la segregación de residuos.

**Tabla 3: Segregación de residuos en origen (modelo PUCV)**

Tipo de solvente	Tipo de contenedor	Color	Responsable de la segregación y eliminación primaria
Solvente halogenado	Bidón de 5 L	Blanco	Jefe de laboratorio
Solvente orgánico no halogenado			
Tóxicos			
Material biológico			
Otros			
Solución acida			
Mezclas complejas			
Solución alcalina			
Tubos fluorescentes	Tambor de 200 L	Negro	Servicios generales
Cartón y toner	Caja de cartón	Café	
Chatarra electrónica	Cajas	Café	

En cuanto al manejo de los residuos, en particular de los residuos químicos, la unidad generadora o laboratorio es la encargada de acopiar correctamente los residuos en el contenedor apropiado. Cada unidad debe llevar el control de cuánto y cuáles residuos se producen y es la responsable de la entrega al personal autorizado para el retiro de éste.

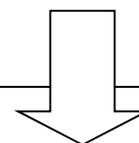
Las zonas de almacenamiento primario estarán ubicadas en cada laboratorio, siendo exclusivo para este fin, con la señalética adecuada y con acceso restringido al personal autorizado, cumpliendo con los requisitos del D.S. 148/03 del MINSAL.

Además de estar cada contenedor con un tipo de residuo en específico y rotulado por separado, no se debe almacenar más de 30 kg por residuo ni llenar el contenedor con más del 85% de su capacidad, manteniéndolo cerrado en toda ocasión. El transporte del residuo hacia el contenedor se hará en recipientes adecuados (plástico) y en pequeñas cantidades. Los contenedores se ubicarán en el suelo o en muebles que cuenten con barreras de contención. Los residuos incompatibles estarán físicamente distantes o con barreras de protección (las tablas de incompatibilidad se entregan en el DS 148/03 del MINSAL).

Se debe mantener siempre el contenedor en posición vertical sobre una superficie lisa. No cargar un envase sobre otro. La manipulación de los contenedores para el traslado y envasado de los residuos debe hacerse ocupando equipos de protección personal (calzado protector, guantes, gafas, etc.) y evitando todo derrame y contacto con la piel y los ojos del operador. Todo transporte de los contenedores se hará mediante un carro de transporte. Cada contenedor de residuos debe tener en forma visible las características de peligrosidad del residuo químico que contiene

(pictograma de riesgos), el servicio o laboratorio generador, la fecha de su ubicación en el acopio transitorio, como lo indicado en la Figura 6.

(LOGO INSTITUCIONAL)		Nombre del residuo	
Nombre del establecimiento			Símbolo
Nombre del servicio, laboratorio o unidad			
Código Lista A	Número de Naciones Unidas (NU)		
Fecha inicio	Fecha término		



Sustancia peligrosa	Inflamable	Corrosivo	Tóxico	Biopeligro	Otros tóxicos
Todos los contenedores	Solvente orgánico halogenado/ no halogenado	Mezcla complejas Otros		Material biológico	Tubos fluorescentes Toner Chatarra electrónica
		Soluciones alcalinas/ácidas			

Figura 6: Etiqueta tipo para contenedores de residuos (modelo PUCV)

Los residuos químicos permanecerán en el acopio transitorio de cada laboratorio del EIB, hasta reunir un volumen económicamente viable para su eliminación, no debiendo superar un periodo mayor a un mes o 12 Kg. de tóxicos agudos, momento en el cual se gestionará su retiro por parte de una empresa externa, la cual cuenta con las debidas autorizaciones sanitarias para el transporte, disposición final o reciclaje de los mismos.

1. Plan de manejo de residuos peligrosos. Escuela de Ingeniería Bioquímica. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 2012. Versión 1.
2. Manual de procedimientos para el manejo de residuos de la Universidad Austral de Chile. Universidad Austral de Chile. 2009. Versión 2. Disponible en

[http://www.uach.cl/direccion/investigacion/archivos/manual\\_manejo\\_residuos\\_peligrosos.pdf](http://www.uach.cl/direccion/investigacion/archivos/manual_manejo_residuos_peligrosos.pdf)

3. Plan de Manejo Sustancias y Residuos peligrosos. Universidad de Concepción. Disponible en <http://www2.udec.cl/matpel/gestionresiduos.php>

## Anexo 2

### Tratamiento de reducción de peligrosidad

Los residuos pueden ser tratados de manera química, física, biológica o térmicamente. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno.

#### 1. Química

- Neutralización. Los ácidos pueden neutralizarse utilizando bases y vice versa, a fin de lograr un pH cercano al neutro antes de ser dispuestas.
- Oxidación. Por ej. residuos de cianidas con hipoclorito de calcio.
- Reducción. Se utiliza para convertir sustancias peligrosas en sus formas menos móviles o tóxicas, por ej. Cr(VI) a Cr(III) mediante sulfato ferroso.
- Hidrólisis. Se refiere a la descomposición de sustancias peligrosas. Por ej. descomponer pesticidas organofosforados utilizando hidróxido de sodio.
- Precipitación. Principalmente se usa para convertir metales pesados peligrosos en sus formas menos móviles o insolubles previo a su disposición. Por ej. precipitación de cadmio mediante hidróxido de sodio. Otra forma para soluciones de metales muy diluidas es utilizar resinas de intercambio iónico o carbón activado.

#### 2. Físicas

- Encapsulamiento. Los materiales peligrosos se pueden estabilizar e incorporar en una matriz sólida como concreto o polímeros orgánicos. Por ej. encapsulamiento de berilio en concreto.
- Separación/centrifugación/filtración. Se refiere a la separación física de fases que contienen sustancias peligrosas de los constituyentes no peligrosos. Por ej. separación de aceites de aguas residuales.
- Secado y evaporación. Se emplea para residuos que no pueden destilarse y para remover agua de los residuos acuosos.

#### 3. Biológicas

- Microorganismos. Se utiliza bajo condiciones controladas para mineralizar sustancias orgánicas. Por ej. el uso de pseudomonas bajo condiciones aeróbicas para romper fenoles.

#### 4. Térmicas

- Incineración. Involucra la aplicación de calor para convertir los residuos en formas menos peligrosas. Esta técnica reduce el volumen y a la vez entrega oportunidades de recuperar energía del residuo. Por ej. para destruir residuos orgánicos, incluyendo organoclorados como los PCB.

- o Autoclavado. Consiste en la aplicación de calor húmedo para la esterilización del material biológica, reduciendo su peligrosidad al minimizar su carga infecciosa y contaminante. El autoclavado se preferencia cuando se cuenta con material de índole orgánico (sólido o líquido) tales como medios de cultivo, tejido animal/humano/vegetal, u otros, mientras otros tipos de esterilización se consideran para el material de laboratorio u otro insumo. En la Tabla 4 se presenta un cuadro resumen con las técnicas más comunes de esterilización<sup>3</sup>.

**Tabla 4: Sistemas de esterilización y sus características principales.**

	Térmicos		Químicos		Radiación
	Autoclave	Peróxido de hidrógeno	Ácido para-acético	Óxido de etileno	Rayos gama
Ecoamigable	Si	Si	No	Si	Si
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguro</li> <li>- Efectivo</li> <li>- Económico</li> <li>- Confiable</li> <li>- Rápido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguro</li> <li>- Efectivo</li> <li>- Sin residuos tóxicos</li> <li>- Para materiales termolábiles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguro</li> <li>- No tóxico</li> <li>- Rápido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efectivo</li> <li>- Baja temperatura de uso</li> <li>- Para materiales delicados</li> <li>- Confiable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simple</li> <li>- Confiable</li> <li>- Costos competitivos</li> <li>- Rápido</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posibilidad de corrosión</li> <li>- No se puede utilizar en material termolábil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daña el nylon</li> <li>- Muy costoso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para materiales pequeños</li> <li>- Aplicaciones puntuales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lento</li> <li>- Productos tóxicos</li> <li>- Carcinogénico</li> <li>- Costoso</li> <li>- Necesita aireación</li> <li>- Peligroso para la salud</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incompatible con PVC, PTFE y acetal.</li> </ul>

<sup>3</sup><http://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/lemo-1124/pdf/lemo-rf-medical-steril.pdf?redirected=1>