

Gestión integral de residuos químicos generados en actividades industriales

Integral management of chemical wastes generated in industrial activities

Jorge Loayza-Pérez¹, Marina Silva-Meza²

Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Lima, Perú.
e-mail: jloayzap@unmsm.edu.pe

Resumen

La gestión integral de residuos químicos permite minimizar la cantidad de residuos generados, reaprovechar los residuos que puedan volver a ser utilizados, tratarlos para disminuir su peligrosidad, y realizar una disposición final segura de aquellos residuos que no puedan ser reducidos. Se presentan los principios de gestión, el análisis del ciclo de vida de un residuo y diversas opciones de tratamiento (físico, químico, térmico y biológico) para la disposición final.

Palabras clave: Residuo peligroso, tratamiento físico, tratamiento químico, tratamiento térmico, tratamiento biológico.

Abstract

The integral management of chemical wastes allows to diminish the amount of generated wastes, to reutilize wastes so as to diminish their danger, and to make safe use of the final disposition of those wastes that cannot be reduced. Here we present the principles of chemical wastes management, the analysis of the service life of a waste and diverse treatment options (physical, chemical, thermal and biological) for its final disposition.

Key words: Hazardous waste, physical treatment, chemical treatment, thermal treatment, biological treatment.

1. Introducción

Los residuos químicos provenientes de actividades industriales pueden ser generados en industrias químicas o en industrias que requieren insumos químicos como parte de sus procesos. Los residuos químicos que son motivo de preocupación son aquellos que tienen alguna o algunas características de peligrosidad y comprenden todas aquellas sustancias que, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o inflamables representan un peligro para la salud humana y el ambiente, si no son adecuadamente gestionados.

Los residuos químicos son el resultado del uso intensivo de sustancias químicas en las distintas etapas del ciclo de vida de un producto. Se pueden generar residuos químicos en la extracción y en el enriquecimiento de recursos naturales. Por ejemplo, en la voladura de rocas se utilizan explosivos, mientras que en la separación de los metales de los minerales se emplean sustancias tóxicas, tales como el cianuro de sodio empleado en la lixiviación del oro. También se utilizan sustancias químicas en la transformación de materias primas en productos terminados, o en la producción de insumos para otros procesos industriales. Por ejemplo, la producción del ácido sulfúrico requiere óxidos de azufre y, a su vez, el ácido sulfúrico se utiliza como insumo en la producción de yeso. En el tratamiento de aguas residuales, se utilizan sustancias químicas como agentes coagulantes y floculantes, con la finalidad de realizar precipitaciones químicas, y así disminuir sus niveles de contaminación. Para el tratamiento de residuos también se utilizan sustancias químicas. Por ejemplo, se puede realizar la de-clorinación de PCBs utilizando metales alcalinos.

El consumo de determinados productos por parte de los habitantes de las ciudades generan residuos de naturaleza química, que por su cantidad requieren ser considerados en este tipo de residuos. Por ejemplo, las baterías plomo-ácido utilizadas por los vehículos de transporte, el aceite lubricante usado, o los neumáticos desechados.

El análisis de los residuos químicos, tomando en cuenta el ciclo de vida del producto, es decir, dentro y fuera del proceso de transformación industrial, proporciona diversas oportunidades y opciones para enfrentar el problema.

La gestión integral de residuos químicos generados en actividades industriales comprende tanto aspectos organizativos como

¹ Ingeniero Químico, Profesor Principal adscrito al Departamento Académico de Procesos de la Facultad de Química e Ingeniería Química (FQIQ) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Lima, Perú. Correo electrónico: jloayzap@unmsm.edu.pe

² Ingeniera Química, Profesora Asociada adscrita al Departamento Académico de Química Inorgánica de la FQIQ de la UNMSM.

aspectos operativos y se inicia con la minimización en la fuente de generación, teniendo en cuenta que los residuos generados son proporcionales al nivel de producción desarrollado (tomando como referencia una tecnología dada); seguida por etapas que van desde el acondicionamiento, recolección, transporte, almacenamiento, reaprovechamiento, tratamiento y la disposición final de los mismos. Cada una de estas etapas del ciclo de los residuos debe ser realizada de una forma segura, tanto para el personal que labora en dicha actividad, como para la población situada en el entorno, sin causar impactos negativos al medio ambiente, con los mínimos costos, respetando las normas legales nacionales y los convenios internacionales³.

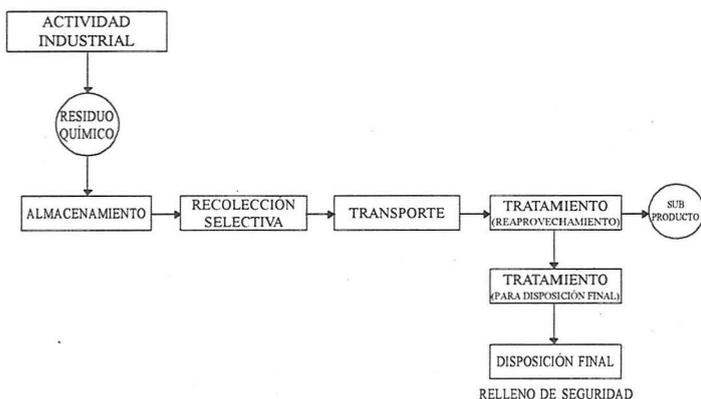


Figura 1. Ciclo de vida de un residuo químico industrial.

2. Consideraciones generales sobre los residuos

Existen muchas definiciones sobre residuos y sus diferencias también se enmarcan en la evolución del término a través del tiempo. Tradicionalmente, un residuo es todo material que no tiene un valor de uso directo para su generador y por lo tanto le plantea la necesidad de deshacerse de él al menor costo posible. La dificultad principal de esta definición es que no toma en cuenta el potencial que tiene un residuo para transformarse en un subproducto, ya que el residuo puede ser materia prima para la elaboración de otros productos. La generación y gestión de residuos constituyen problemas que preocupan a todos los países y los cuales han sido resueltos en diferentes formas. Es importante considerar como residuos aquellos materiales que son descartados por el generador, aun si están destinados al reciclaje; lo que garantiza la seguridad durante su manejo⁴.

En el texto del Convenio de Basilea se cita una definición que es considerada por la mayor parte de legislaciones a nivel mundial, pero que no hace referencia a los residuos sino a los desechos. Es así que la traducción oficial indica que, "por 'desechos' se entienden las sustancias u objetos a cuya eliminación

se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional"⁵. El Convenio de Basilea entró en vigor el 5 de mayo del 1992.

2.1. Residuo químico

Es aquel material que, en función de sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad, puede representar riesgo a la salud pública o causar efectos adversos al medio ambiente. Esta definición no incluye a los residuos radiactivos, que tienen una gestión específica, no considerada dentro de la gestión de residuos químicos industriales⁶. Aunque en términos reales estos presentan un peligro al ambiente, son controlados por agencias u organismos diferentes de la autoridad ambiental.

2.2 Tipos de residuos químicos generados en actividades industriales

Se pueden considerar los siguientes residuos que se generan de una u otra forma en las actividades industriales:

- Materias primas que no han reaccionado.
- Impurezas inertes presentes en la materia prima.
- Materiales generados como resultado de la reacción de impurezas no inertes.
- Materiales que se generan durante arranques y paradas de los procesos industriales.
- Materiales resultantes de labores de mantenimiento.
- Materiales agotados (aceites usados, solventes, otros).
- Materiales que se han generado por derrames, fugas u otros.
- Materiales obsoletos, caducados, vencidos o actualmente prohibidos.
- Materiales siniestrados.
- Materiales resultantes del tratamiento de emisiones, efluentes y suelos contaminados.

2.3 Tipos de residuos químicos en función de sus características de peligrosidad^{7,8}

1) Corrosivo (EPA, 1980)

Un residuo es corrosivo si presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

⁵ Convenio de Basilea. (Ref. 3)

⁶ Earls, A.R. (Ref. 5)

⁷ Benavides, L.; Rincones, M. (Ref. 1)

⁸ Environmental Protection Agency EPA (Ref. 6)

³ Loayza, J.; Silva, M. (Ref. 8)

⁴ CETESB. (Ref. 2)

- es acuoso y tiene un pH menor o igual a 2, o mayor o igual a 12.5;
- es líquido y corroe al acero a una tasa mayor que 6.35 mm al año a una temperatura de 55 °C, de acuerdo con el método NACE⁹.

2) Reactivo (EPA, 1980)

Un residuo es reactivo si muestra una de las siguientes propiedades:

- es normalmente inestable y reaccionar de forma violenta e inmediata sin detonar;
- puede reaccionar violentamente con agua;
- puede generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud o al ambiente cuando es mezclado con agua;
- posee, entre sus componentes, cianuros o sulfuros que, por reacción, liberan gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo a la salud humana o el ambiente;
- es capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados.

3) Explosivo (EPA, 1980)

Un residuo es explosivo si presenta una de las siguientes propiedades:

- puede formar mezclas potencialmente explosivas con el agua;
- es capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25 °C y 1 atm;
- es una sustancia fabricada con el objetivo de producir una explosión o efecto pirotécnico¹⁰.

4) Tóxico (EPA, 1980 – CETESB, 1985)

Un residuo es tóxico si puede causar la muerte, lesiones graves, efectos perjudiciales para la salud del ser humano al ser ingerido, inhalado o si entra en contacto con la piel.

Se ha optado por una definición de toxicidad totalmente cualitativa para evitar análisis sofisticados de laboratorio para la clasificación de los residuos. Sin embargo, una definición más exacta requiere la utilización de límites cuantitativos del contenido de sustancias tóxicas, tal como la DL₅₀ (dosis letal media, es decir, la que causa la muerte del 50% de los especímenes de prueba, como ratones, cobayos, conejos u otros).

⁹ NACE: National Association Corrosion Engineers. Standard TM-01-693, o equivalente.

¹⁰ La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), considera a los residuos explosivos como un subgrupo de los residuos reactivos.

5) Inflamable (EPA, 1980)

Un residuo es inflamable si presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60 °C¹¹, con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% en volumen de alcohol;
- no es líquido y es capaz de, bajo condiciones de temperatura y presión de 25 °C y 1 atm, producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas y, cuando se inflama, se quema vigorosa y persistentemente, dificultando la extinción del fuego;
- es un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material.

El sistema de clasificación más utilizado se basa, principalmente, en el contenido de sustancias peligrosas en el residuo (EPA, 1980)¹².

Las ventajas de este sistema de clasificación son:

- Facilita la gestión ambiental de los residuos peligrosos y agiliza los trámites legales asociados a la gestión.
- Evita el uso de pruebas normalizadas o el establecimiento de límites de concentración de sustancias peligrosas, los que implican un alto costo de monitoreo y control.
- Evita los análisis de laboratorio que requieren una sofisticada infraestructura y personal especializado, que actualmente no existen en muchos países.

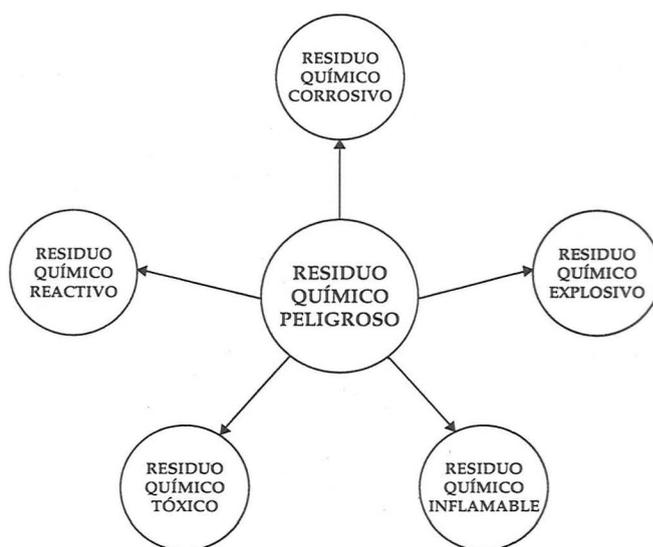


Figura 2. Tipos de residuos químicos peligrosos según su peligrosidad.

¹¹ Conforme el método del ASTM-D93-79 o el método ASTM-D-3278-78 (de la American Society for Testing and Materials).

¹² Yakowitz, H. (Ref. 11)

3. Principios generales que deben considerarse en la gestión integral de residuos químicos¹³

Existen dos principios éticos que deben ser tomados en cuenta cuando se planifican actividades de gestión de residuos:

Principio E1: En la gestión de los residuos debe utilizarse el mismo nivel de tecnología que se usó en la producción de los productos que, tras su uso, se transformaron en residuos.

Principio E2: No debería transferirse a las generaciones futuras la solución de los problemas ambientales derivados de la existencia de los residuos o del manejo inadecuado de los mismos. Cada generación debería asumir la solución de los problemas ambientales ocasionados.

La gestión de los residuos peligrosos debería considerarse como un objetivo social prioritario y ligado a las actividades que los generan.

Actualmente existe un conjunto de tecnologías suficientemente probadas para hacer frente a los residuos químicos peligrosos. No obstante, para algunos tipos de residuos puede resultar admisible el almacenamiento de los mismos durante largos periodos de tiempo en infraestructuras para disposición final (depósitos de seguridad), siempre que se tomen medidas para evitar los posibles efectos ambientales derivados de este tipo de confinamiento.

Junto a los anteriores principios éticos existen otros básicos, cuya aplicación está generalizada:

Principio B1: Quien contamina, paga. Principio que le otorga la responsabilidad de la gestión y carga los costos de descontaminación y tratamiento final al generador (o poseedor) de los residuos. Este principio ha orientado la legislación ambiental en muchos países.

Principio B2: La responsabilidad de un generador de residuos se extiende a todas las etapas del ciclo de vida de los residuos, desde su generación hasta que el residuo pierde las características de peligrosidad o hasta su disposición final. En el caso de las infraestructuras para disposición final (incluye los almacenamientos subterráneos), la obligación del control y la responsabilidad se prolongan más allá de la clausura de las instalaciones¹⁴, dependiendo de la naturaleza de los residuos. Es importante tener en cuenta la fiscalización de los residuos en los lugares destinados a la disposición final de los mismos.

Principio B3: Jerarquización en las opciones de manejo de los residuos. Es decir, es preferible la minimización (prevención de la generación, reduciendo tanto la cantidad como la peligrosidad de los residuos), a la valorización (reaprovechamiento de los residuos: reutilización, recuperación o reciclado), también se incluye la recuperación energética¹⁵, y esta al tratamiento para disposición final y a la disposición final. Se debe buscar que la menor cantidad de residuos químicos vayan a disposición final en rellenos de seguridad.

4. Minimización (prevención en la generación de residuos químicos)¹⁶

El mejor sistema de gestión consiste en evitar que se generen residuos químicos peligrosos; pero esto no siempre es posible, debido a las características de las materias primas, los insumos, los combustibles y las limitaciones tecnológicas propias de los procesos industriales, por lo cual se requieren opciones que impliquen tecnologías de tratamiento.

El concepto de prevención en la generación de residuos ha estado siempre presente en todas las actividades industriales, por la trascendencia económica directa derivada del ahorro de materias primas, insumos y energía, ya que la generación de residuos supone, en general, un nivel de ineficiencia del proceso de producción; la introducción de los costos derivados de la gestión de residuos como elemento de costo de producción, supone un estímulo para la adopción de tecnologías más eficientes.

A medida que la normativa ambiental se hace más exigente, las instalaciones de descontaminación son más complejas y con mayores costos de operación; el traslado de estos costos de gestión de residuos a los costos de producción debe actuar como un elemento motivador para la introducción de procedimientos más eficientes y con menor generación de residuos.

Otro camino de minimización de residuos es la introducción de cambios en las especificaciones de los productos de modo que puedan fabricarse con una menor cantidad de materiales o con materiales que presenten ventajas una vez que, tras su uso, se conviertan en residuos.

En esta línea se viene desarrollando desde hace algún tiempo la prohibición del uso de sustancias peligrosas que puedan ser sustituidas por otras que representen un riesgo ambiental menor; esta prohibición puede hacerse de forma directa o estableciendo limitaciones muy estrictas en la presencia de estas sustancias en los productos y en los residuos.

¹³ Palomino Guzmán, S. (Ref. 9)

¹⁴ El periodo de tiempo deberá ser consignado en el estudio de impacto ambiental para la construcción de la instalación.

¹⁵ Valorización energética.

¹⁶ Loayza, J.; Silva, M. (Ref. 8)

5. Valorización o reaprovechamiento de residuos químicos

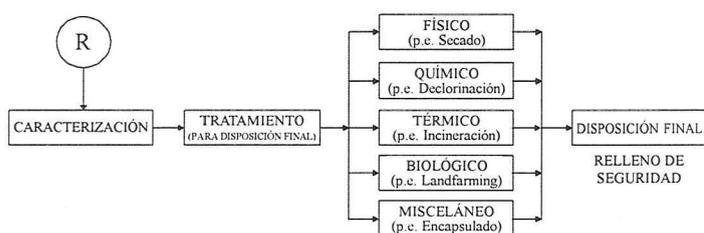
Conceptualmente, el reaprovechamiento de residuos (por ejemplo, la reutilización) se refiere al uso de estos para el mismo fin que tenían antes de ser considerados como tales. Para el caso de los residuos químicos (y en general, de los residuos industriales), esta posibilidad puede aplicarse en contadas ocasiones.

Mucha mayor aplicación práctica tiene el reciclado de los materiales que constituyen los residuos, que en algunos casos pueden ser considerados como subproductos de los procesos de producción. Debe propiciarse el hecho de que los residuos de una actividad podrían ser considerados como materias primas alternativas en otros procesos, siempre que su aprovechamiento ofrezca ventajas económicas y ambientales que compensen los mayores riesgos empresariales asumidos.

En todo caso, las actividades de reciclado de residuos peligrosos están limitadas a casos muy particulares, ya que difícilmente las características de un residuo de una actividad responden, razonablemente, a las exigencias de las materias primas de otras.

Entre estas posibilidades se han desarrollado algunas, que parten de residuos razonablemente homogéneos y que tienen aplicaciones muy concretas; las más habituales son la regeneración de aceites usados, la regeneración de ácidos diluidos y la de disolventes; asimismo tiene una gran importancia industrial y ambiental la recuperación de metales procedentes de residuos de producción siderúrgica o metalúrgica (escorias) o la recuperación de metales a partir de catalizadores sólidos.

6. Tratamientos para disposición final¹⁷



R = RESIDUO QUE NO PUEDE SER REAPROVECHADO

Figura 3. Diversos tratamientos para disposición final.

Los métodos de tratamiento tienen por objetivo principal disminuir la cantidad y la peligrosidad de los residuos. Para aquellos residuos que no pueden evitarse y para los que no resulte

¹⁷ Loayza, J.; Silva, M. (Ref. 8)

viable el reaprovechamiento (reutilización, recuperación o reciclado) existen otras opciones de tratamiento para su disposición final, que puede conducir a la eliminación parcial o casi total de los residuos; así como, a la reducción o a la desaparición sus las características de peligrosidad.

De acuerdo a su naturaleza, los métodos de tratamiento son de los siguientes tipos:

- tratamientos físicos, químicos o biológicos.
- tratamiento térmico y térmicos avanzados (o especiales).

La utilización de un sistema de tratamiento específico depende fundamentalmente de las características físicas y químicas de los residuos:

- los residuos inorgánicos (ácidos, álcalis y sales) no son aptos para ser sometidos a tratamientos térmicos; su detoxificación se realiza por un tratamiento físico-químico, ya que su estructura molecular no se destruye por calor sino por alguna reacción química específica.
- los residuos de naturaleza orgánica deben ser sometidos a tratamientos térmicos, aunque en algunos casos sea necesario algún tratamiento físico previo, con la finalidad de garantizar la eficiencia del tratamiento térmico.
- los tratamientos biológicos se aplican a residuos que contienen materia orgánica o aquellos en los cuales se ha encontrado microorganismos capaces de degradar compuestos químicos complejos. La factibilidad de este tipo de tratamientos está condicionada a la adaptación de los microorganismos específicos que realizan la detoxificación.

Es importante tener en cuenta que en la mayor parte de los casos no se puede utilizar un solo tipo de tratamiento, por lo que conviene considerar sistemas donde los tratamientos específicos son en realidad etapas.

6.1. Tratamientos físicos

Los tratamientos físicos son aquellos que no modifican la constitución de los componentes del residuo sino la forma de presentación, el objetivo fundamental es la separación de componentes y la concentración de las sustancias responsables de la peligrosidad de forma que permita una mejor manipulación o que el tratamiento de detoxificación se realice de forma más segura y eficiente.

Entre los principales tratamientos físicos se cuentan el despojamiento con aire o con vapor, con la finalidad de arrastrar el componente volátil, la absorción, la adsorción, la sedimentación, la centrifugación, la evaporación, la cristalización, la ósmosis inversa, entre las principales.

6.2. Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos producen una modificación de la estructura química de los componentes peligrosos de los residuos, transformando estos componentes en otros que tienen características distintas, en general menos peligrosas (o contaminantes); en algunos casos esta transformación es irreversible pero en otros pueden reproducirse las características de peligrosidad si se alteran las condiciones externas.

Entre los principales se cuentan la neutralización química, la reducción la oxidación, la precipitación química y la fotocatalisis. Como tratamientos específicos se podría considerar por ejemplo, la declorinación usando sodio¹⁸.

6.3. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos también cambian las características de los residuos de forma irreversible, pero por acción de microorganismos que transforman las moléculas complejas en especies químicas simples. Por ejemplo, el uso de microorganismos específicos para la eliminación de sustancias químicas tóxicas, como los fenoles. La biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos o sus derivados es también una aplicación de este tipo de tratamiento.

Los procesos biológicos se aplican, generalmente, en el tratamiento de efluentes líquidos y suelos contaminados (biorremediación).

6.4. Estabilización de residuos peligrosos

La estabilización de residuos peligrosos suele aplicarse a aquellos residuos peligrosos procedentes de tratamientos previos (residuos secundarios), antes de su depósito en rellenos sanitarios o rellenos de seguridad, según sea el caso.

De acuerdo a las características del producto final pueden definirse tres tipos de tratamiento: la fijación química (también conocida como inertización), el encapsulado y la solidificación.

6.5. Instalaciones de tratamiento

En la mayoría de las ocasiones los distintos tipos de tratamientos no son independientes, en el sentido de conseguir los

objetivos deseados en una sola etapa, sino que es necesaria la aplicación de varios tratamientos, incluso de forma reiterada, hasta conseguir la destrucción o estabilización de los residuos.

Por esto, a diferencia de las instalaciones de tratamiento de residuos sólidos municipales, las instalaciones dedicadas a residuos químicos peligrosos deben disponer de etapas sucesivas que configuran procesos completos de tratamiento; la aceptación de los distintos tipos de residuos en las instalaciones debe condicionarse a la existencia de las etapas adecuadas y a la compatibilidad con otros tipos de residuos.

Es conveniente que las instalaciones de tratamiento se especialicen en algunas formas de tratamiento, es decir, para tratar residuos específicos, tales como las regeneraciones de aceites lubricantes usados, de disolventes contaminados o de ácidos diluidos.

Los residuos peligrosos, tanto de origen industrial (no municipal) como los de origen municipal, raramente se presentan en forma homogénea, y por ello, las actividades necesarias para su transporte, tratamiento y eliminación final suelen ser de una complejidad técnica importante, y suponen costos económicos elevados para el logro de una gestión ambientalmente adecuada.

Componentes básicos de las instalaciones para el tratamiento de residuos peligrosos:

- Área para la recepción de residuos, que supone la existencia de procedimientos para la aceptación o el rechazo de los mismos y listas de residuos que pueden ser aceptados en las instalaciones (también conocidas como infraestructuras para disposición final), con la finalidad de lograr un tratamiento eficiente.
- Laboratorio para el control de los residuos aceptados y de las distintas operaciones de tratamiento.
- Área de almacenamiento temporal de residuos (residuos primarios).
- Área de tratamiento de residuos.
- Área de almacenamiento de residuos resultantes del tratamiento (residuos secundarios), también conocida como zona de confinamiento.

7. Tratamientos térmicos¹⁹

El único tratamiento térmico utilizado para la gestión de residuos químicos peligrosos es la incineración. Los hornos utilizados para este tipo de residuos suelen ser completamente distin-

¹⁸ DIGESA. (Ref. 4)

¹⁹ Loayza, J.; Silva, M. (Ref. 8)

tos de los usados para residuos urbanos, domésticos o domiciliarios. Los equipos más usados son los hornos rotatorios, los pirolíticos y los de inyección de líquidos.

Dentro de los sistemas de destrucción térmica existen algunos de reciente desarrollo y que pueden ser considerados adecuados para el tratamiento de residuos muy específicos.

Los tratamientos térmicos más sistemas avanzados son los que utilizan:

- las antorchas de plasma
- los reactores de microondas
- los reactores de infrarrojos

Para la mayor parte de las aplicaciones posibles, estas tecnologías suelen presentarse como soluciones alternativas a las instalaciones convencionales, ya que existe un rechazo generalizado a las instalaciones de incineración, debido a los residuos secundarios generados (gases de combustión y cenizas volantes).

Una parte de los residuos secundarios producidos en las instalaciones de incineración, tales como las escorias de los hornos, tienden a ser reutilizadas en distintas aplicaciones, ya que se trata de residuos inertes. Mientras otra parte, constituida por las cenizas volantes separadas en las calderas y en los sistemas de tratamiento de gases, deben ser considerados como residuos peligrosos ya que suelen contener cantidades apreciables de metales pesados, sustancias orgánicas tóxicas, etc.

8. Disposición final en depósitos de seguridad²⁰

El depósito de residuos en infraestructuras de seguridad, cualquiera que sea la categoría del mismo, exige, de forma casi general, un tratamiento previo (físico-químico o térmico) que produzca la estabilización, inertización o la inmovilización física de los componentes peligrosos de los residuos.

El depósito de residuos peligrosos en un relleno de seguridad y de forma controlada es más una forma de gestión que un tratamiento:

- para los residuos ya tratados e inertes es la forma de eliminación definitiva; esto permite un adecuado control de la persistencia de las condiciones de inertización o de la pérdida de nocividad del residuo con el tiempo.
- para aquellos que no sean inertes es la forma de evitar su difusión, hasta que el desarrollo tecnológico encuentre formas eficaces para su eliminación definitiva; puede considerarse como un almacenamiento prolongado en condiciones de seguridad y control.

Desde un punto de vista conceptual, no hay grandes diferencias entre los rellenos sanitarios para residuos sólidos municipales y los depósitos para residuos peligrosos; quizá sólo deban considerarse algunas diferencias en el comportamiento y evolución de los residuos depositados:

- en el caso de los residuos municipales, la evolución es muy importante ya que con el tiempo se generan gases y lixiviados, así como una disminución del volumen de los residuos depositados (compactación).
- en el caso de los residuos peligrosos esta evolución es considerablemente menor.

No debería depositarse ningún residuo si previamente no se ha aplicado un tratamiento de detoxificación y no se ha controlado la eficacia del mismo.

El simple depósito en un relleno de residuos que no hayan sido adecuadamente estabilizados, basándose en las características de estanqueidad de la instalación, suele conducir a situaciones de riesgo ambiental importantes y, en todo caso, mantendrán las características de peligrosidad, luego de haber concluido su vida útil.

La gestión de residuos químicos peligrosos debe priorizar la minimización de la generación, su reaprovechamiento o su tratamiento para disposición final en rellenos de seguridad. La existencia de este tipo de infraestructuras para la disposición final de residuos químicos peligrosos garantiza que estos se dispongan en forma segura. Si una región no cuenta con depósitos o rellenos de seguridad, se crean las condiciones para que exista una disposición inadecuada de los residuos químicos peligrosos, con el riesgo que esto implica, tanto para la salud como para el medio ambiente²¹.

²⁰ Martínez, J. y coautores. (Ref. 9).

²¹ Loayza, J. (Ref. 7)

9. Referencias bibliográficas

1. Benavides, L.; Rincones, M. *Memoria de la Primera Reunión del Núcleo Técnico en Manejo de Residuos Peligrosos*. CEPIS, Lima, 1990.
2. CETESB. *Residuos Sólidos Industriales*. Convenio CETESB / AS-CETESB. Companhia de Tecnología de Saneamiento Ambiental, Sao Paulo, 1985.
3. *Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación*, adoptado por la Conferencia de Plenipotenciarios del 22 de marzo 1989.
4. DIGESA. *Gestión de residuos peligrosos en el Perú. Manual de Difusión Técnica N° 01*. Dirección de Ecología y Protección del Ambiente, DEPA, Lima, noviembre 2006, pp 15-37.
5. Earls, A.R. *Código de materiales peligrosos*. Journal NFPA Latinoamericano. 2009, 400, 45-49.
6. Environmental Protection Agency. *Hazardous Waste Management System, Part III, Identification and Listing of Hazardous Waste*. Federal Register, 45 (98): 40 CFR. 1980, Part. 261.
7. Loayza, J. Boletín Electrónico Informativo sobre Productos y Residuos Químicos. 2006, No.17. Dirección en línea: www.unmsm.edu.pe/quimica/ (Publicación mensual desde mayo 2005).
8. Loayza, J.; Silva, M. *¿Qué hacer con los residuos peligrosos?* Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. 2006, 9(2), 50-62.
9. Martínez, J. (Autor); Mallo, M.; Lucas, R.; Álvarez, J.; Salvarrey, A.; Gristo, P. (Co autores). *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Fichas Temáticas. Tomo II*. Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Montevideo, 2005.
10. Palomino Guzmán, S. *Gestión de Residuos Peligrosos. IV Curso Superior en Políticas e Instrumentos de Gestión Ambiental*. Instituto de Estudios Europeos. Universidad CEU San Pablo. Madrid, 2006, 24 de mayo - 15 de junio.
11. Yakowitz, H. *Hazardous Waste Management: An International Overview*, presentado en el evento internacional Conference on National Strategies for Managing Hazardous Waste, Melbourne, 1985, 18-21 noviembre.