



CONVENIO DE BASILEA

DIRECTRICES TÉCNICAS

**Directrices técnicas para
el reciclado/regeneración
ambientalmente racional
de metales y compuestos
metálicos (R4)**



CONVENIO DE BASILEA

Directrices técnicas para el reciclado/regeneración ambientalmente racional de metales y compuestos metálicos (R4)

Adoptadas en la séptima reunión de la Conferencia de las Partes del Convenio de Basilea en su decisión VII/14 (Ginebra, octubre 2004)

Índice

I.	Introducción	1
A.	Alcance de las directrices: Metales	1
B.	Alcance de las directrices: Procesos	2
C.	Alcance de las directrices: Temas	4
II.	Fuentes y uso de metales secundarios del anexo I	4
A.	Antimonio	5
B.	Arsénico	5
C.	Berilio	6
D.	Cadmio	6
E.	Compuestos de cromo hexavalente	7
F.	Compuestos de cobre	7
G.	Plomo	8
H.	Mercurio	9
I.	Selenio	10
J.	Telurio	10
K.	Talio	10
L.	Compuestos de zinc	11
III.	Aptitud de los metales de desecho para la recuperación y regeneración	12
IV.	Establecimiento de una planta de reciclado o recuperación	16
V.	Establecimiento de una planta de regeneración	17
VI.	Plantas de regeneración ambientalmente racional	19
VII.	Consideraciones ambientales y sanitarias	21
A.	Desechos y residuos	21
B.	Sistemas de recolección	22
C.	Transporte y almacenamiento	22
D.	Medidas de emergencia	23
E.	Manejo ambientalmente racional	24
F.	Sistemas de manejo ambiental	24
VIII.	Evaluación de impactos ambientales previstos	25
IX.	Prevención de desechos y producción más limpia	26
X.	Potenciales peligros ambientales y su control	27
A.	Peligros y control	27
B.	Vigilancia	31
XI.	Clausura de plantas de regeneración de metales	31

Anexos

I.	Glosario	33
II.	Referencias y bibliografía	35
III.	Otras referencias útiles	36
IV.	Sitios en Internet	37

I. Introducción

1. Las presentes directrices técnicas están destinadas principalmente a brindar orientación a los países que se están dotando de capacidad para el manejo de desechos en forma ambientalmente racional y eficiente, en el contexto de su elaboración de procedimientos o estrategias de reciclado de metales y compuestos metálicos, y a promover un reciclado más intenso de metales en forma ambientalmente racional. Algunos desechos contendrán metales y compuestos metálicos en formas y volúmenes suficientes como para que se considere al reciclado y la regeneración como preferibles a la eliminación, en cuyo caso debe darse preferencia a las dos primeras operaciones mencionadas.

A. Alcance de las directrices: Metales

2. Estas directrices se refieren principalmente al reciclado y la regeneración de los metales y compuestos metálicos que figuran en el anexo I del Convenio de Basilea en las categorías de desechos que deben controlarse. Esas categorías comprenden los siguientes metales y sus compuestos: antimonio (Sb), arsénico (As), berilio (Be), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg), selenio (Se), telurio (Te) y talio (Tl). También comprenden compuestos de cobre, zinc y cromo hexavalente, pero no los metales mismos. Puede hacerse referencia a esos metales y compuestos metálicos como metales y compuestos metálicos del anexo I, o, en forma más simple, como metales del anexo I. Los materiales que los contienen están controlados conforme al Convenio de Basilea si están comprendidos en la definición de desechos del Convenio, a menos que no posean ninguna de las características peligrosas que se mencionan en el anexo III del Convenio.

3. Como la mayoría de los desechos peligrosos que contienen metales que figuran en el anexo VIII del Convenio de Basilea son no ferrosos, y a fin de que se mantengan dentro de proporciones manejables, las presentes directrices no se refieren directamente a metales ferrosos, como el hierro y el acero, ni a metales preciosos, como el oro y la plata.

4. Gran parte de lo que más abajo se expresa con respecto a recuperación, reciclado y regeneración se aplica a todos los metales no ferrosos comunes, figuren o no en el anexo I del Convenio de Basilea. No obstante, se presta especial atención a los metales del anexo I o de la lista Y. Se señalará que las sustancias básicas de reciclado y regeneración son metales, aleaciones de metales y algunos compuestos metálicos. Los compuestos metálicos son, según su forma física o química, materias primas o productos (intermedios), y no materiales destinados a corrientes de desechos. Los compuestos que son reutilizados comúnmente mediante reciclado o extraídos o producidos mediante regeneración, provienen de usos de metales, como el galvanizado, o de productos metálicos que se encuentran en polvos o lodos de operaciones de control de la contaminación.

5. Otros posibles componentes pertinentes de la lista Y son los siguientes: Y5, desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera (por ejemplo arsenatos de cobre o compuestos metálicos similares que contienen arsénico); Y7, desechos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y las operaciones de temple; Y14, sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan, e Y17, desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos (por ejemplo de galvanoplastia). Nótese que los desechos de Y16, resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos, sólo se incluyen en esas directrices si los materiales no contienen plata. Esos desechos suelen contener plata, que no está regulada conforme al Convenio de Basilea, y comúnmente se regeneran para obtener ese metal, pero ello se logra mediante procesos químicos que difieren de la mayor parte de los restantes procesos de recuperación.

6. En general, el Convenio de Basilea procura regular sustancias con considerable potencial de suscitación de efectos ambientales o sanitarios nocivos si se eliminan en forma inadecuada; no tiene en cuenta otros metales con un peligro potencial menor y algunas formas de los metales de la lista que presentan un menor potencial de producción de efectos ambientales, como los desechos de plomo metálico en forma no dispersable. Por ejemplo, los desechos de cobre y zinc metálicos no están regulados conforme al Convenio, sí lo están los compuestos de cobre y zinc si presentan una característica del anexo III. Más abajo se da un ejemplo en que se analizan los subproductos del zinc.

B. Alcance de las directrices: Procesos

7. Las directrices están destinadas a proporcionar información sobre las opciones de manejo disponibles para el reciclado y la regeneración de metales no ferrosos y compuestos metálicos, y sobre las prácticas que deben considerarse para evitar efectos ambientales nocivos vinculados con ese reciclado. Se ofrece cierta orientación sobre la eliminación final de los desechos que pueden producir esas operaciones.
8. Al examinar el tema de los metales no ferrosos se utilizan muchos términos técnicos y especializados. En <http://www.amm.com/ref/glossary.htm> aparece un glosario.
9. En las directrices se distingue entre diferentes segmentos de la estructura industrial, la *recuperación*, el *reciclado* y la *regeneración*. La recuperación puede considerarse como la retención de objetos que contienen metal y trozos metálicos antes de que lleguen a la corriente de desechos, o su extracción de la misma. A esa operación sigue la de reciclado, consistente en la preparación de esos objetos y fragmentos de modo que puedan utilizarse directamente (por ejemplo en refundición directa) o enviados a regeneración. Por regeneración en general se entiende un proceso metalúrgico, generalmente pirometalúrgico, pero hidrometalúrgico en el caso de algunos metales y procesos, en virtud del cual el metal recuperado o reciclado es purificado y refundido o refinado de modo de darle una forma que pueda ser utilizada como si se tratara de metal virgen. Debe señalarse que la recuperación, el reciclado y la regeneración no siempre forman parte del régimen al que se someten los desechos en todos los países. En cambio el reciclado y la regeneración de desechos peligrosos sí están sujetos al régimen de manejo de Basilea conforme a las definiciones de desechos (inciso a) del párrafo 1 del artículo 1 y la sección B del anexo IV).
10. La recuperación y el reciclado de metales del anexo I no tiene por qué representar un proceso muy costoso o técnicamente complicado, aunque la administración y los trabajadores deben haber sido adecuadamente capacitados y equipados para enfrentar peligros a la salud humana y al medio ambiente. Como se explica en este documento, la recuperación puede realizarse mediante identificación, acumulación, clasificación conforme a especificaciones y venta de metales del anexo I en los mercados nacionales o mundiales. Los metales recuperados pueden ser enviados a un taller de refundición, como una fundición, a una empresa refinadora o a una planta de regeneración. La regeneración tiene lugar en un horno primario o un horno secundario dedicado, o se realiza, en algunos casos, mediante procesos hidrometalúrgicos.
11. Pocos países pueden permitirse la construcción u operación de hornos de fundición complejos y de su infraestructura conexas. Los hornos ofrecen economías de escala; especialmente los primarios (basados en minerales), por lo cual en general conviene que sean de mayor escala. Los hornos primarios suelen estar ubicados cerca de los yacimientos de minerales. Los secundarios se diseñan específicamente para la regeneración de metales. Los metales secundarios, los materiales que contienen metales y algunos de los residuos pueden enviarse a plantas de fundición primarias o secundarias, en que se realiza la regeneración. Puede ser necesario introducir controles ambientales adicionales para manejar y procesar en forma segura algunos materiales secundarios, que representan una creciente proporción de material de alimentación en algunas fundiciones.
12. La fundición de materiales secundarios generalmente da lugar a un producto principal y a varios subproductos. Por ejemplo, una fundición de cobre típica utiliza un proceso de tres etapas para producir cobre puro. Los subproductos son el óxido de zinc, aleaciones de estaño y plomo, el sulfato de níquel, el selenio y metales preciosos cuya refinación requiere otros hornos, y también el arsénico. Cabe la posibilidad de utilizar escoria como material de construcción o para la limpieza con chorros de arena, pero históricamente esos usos de la escoria de cobre han provocado contaminación de arsénico y plomo. La entrada B2040 del anexo IX del Convenio de Basilea incluye escorias de la producción de cobre, principalmente con fines de construcción y abrasión, a condición de que se trate de una sustancia químicamente estabilizada, con alto contenido de hierro (más de 20%), y elaborada de conformidad con especificaciones industriales, como DIN 4301 y DIN 8201. Algunas escorias de cobre tienen un alto contenido metálico recuperable, y la entrada B1100 del anexo IX del Convenio de Basilea incluye escorias de la elaboración del cobre destinado a una elaboración o refinación posteriores, siempre que no contengan arsénico, plomo o cadmio en concentraciones peligrosas.

13. Estas directrices están destinadas a administradores o reguladores, no a ingenieros de diseño u otro personal altamente técnico, a quienes se recomienda acudir a la literatura técnica de reciclado de metales. Por ejemplo, en un libro exhaustivo de Henstock¹ se detalla gran parte de la química de la recuperación y regeneración de metales no ferrosos, aunque algunos de los procesos descritos por razones técnicas o económicas no son comerciales. En el volumen general, enciclopédico, del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea² se detallan modernas soluciones de ingeniería para la producción y regeneración de metales no ferrosos.

14. Este texto no está destinado a proporcionar información sobre diseño o procesos que puedan utilizarse para llevar a cabo el reciclado o la regeneración de metales o compuestos metálicos, sino a pasar revista a algunas opciones disponibles, con comentarios sobre su aplicación. Si se propone la recuperación, el reciclado – o en especial la regeneración – de metales o compuestos metálicos, debe realizarse un proceso detallado, económico, de estudio del mercado, de ingeniería y de diseño para proteger la inversión de capital, junto con una estimación y evaluación de impactos ambientales y estrategias de control. Los metales son productos que se comercian y reciclan en un mercado mundial; los pasos preparatorios que abajo se mencionan deben adoptarse teniendo en cuenta ese hecho.

15. Estas directrices no están destinadas a sustituir a la reglamentación interna de los metales o compuestos metálicos, ni a proporcionar orientación con respecto a los mismos. Se espera que los órganos regulatorios locales, como el servicio de protección ambiental pertinente, establezca los controles regulatorios que deban aplicarse en cada caso. La regeneración, a través de fundición o hidrometalurgia, requiere una avanzada infraestructura reglamentaria. Para el reciclado –realizado, por ejemplo, mediante recolección, clasificación y preparación conforme a especificaciones-- basta un régimen regulatorio mucho más simple, por lo cual es apropiado para nuevas instalaciones, especialmente en países en desarrollo. Las presentes directrices tampoco están destinadas a examinar las diferencias entre desechos y recursos secundarios o materias primas secundarias. Debe consultarse, a este respecto, la norma ISO 14040:1997 de la Organización Internacional de Normalización, que define las materias primas como “materias de fuentes primarias o secundarias que se utilizan para producir un producto (intermedio o final)”.³

16. Las presentes directrices no están destinadas a proporcionar un listado definitivo de todas las formas de metales y compuestos metálicos que pueden regularse en el marco del Convenio de Basilea. Debe hacerse referencia, a esos efectos, al texto de este último, sus anexos y la documentación de apoyo producida en los países miembros. Además se recuerdan al lector las diferencias entre los desechos peligrosos del Convenio de Basilea [inciso a) del párrafo 1 del artículo 1] y los desechos considerados peligrosos conforme a la legislación interna [inciso b) del párrafo 1 del artículo 1], ya que pueden no ser siempre iguales.

- **Precaución: Los metales en forma de partículas finamente divididas, por ejemplo los polvos finos, pueden ser peligrosos.**

17. En las presentes directrices se hace hincapié en la recuperación y venta de materiales conforme a especificaciones. Es imposible que los materiales se vendan de otro modo. Las especificaciones suelen incluir límites sobre limpieza, que promueven una producción más limpia y la protección del medio ambiente. No obstante, algunas especificaciones se aplican meramente al origen, es decir que establecen que el material debe surgir de un proceso establecido.

18. Las especificaciones son proporcionadas por compradores y vendedores o negociadas mutuamente por los mismos. Unos y otros pueden basarse en especificaciones internacionalmente establecidas y publicadas. Las especificaciones internacionales pueden obtenerse a través del Bureau for International Recycling (BIR), www.bir.org, o del Institute of Scrap Recycling Industries (ISRI), www.isri.org.

¹ M. E. Henstock, *The Recycling of Non-Ferrous Metals* (Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente, Ottawa, 1996). http://www.icmm.com/html/pubs_intro.php.

² Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, *Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC): Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en los sectores de los metales no ferrosos* (2000). <http://www.jrc.org/>.

³ Véase <http://www.iso.ch/>.

19. Los metales pueden recuperarse, reciclarse o regenerarse una y otra vez sin que pierdan sus propiedades. En su forma final los metales reciclados no se distinguen de los metales vírgenes.

20. La recuperación, el reciclado y la regeneración de metales son procesos industriales que requieren controles ambientales. La recuperación y el reciclado, tal como se describen en el presente texto, en general requieren un nivel de control muy diferente del aplicable a la regeneración, porque esas operaciones, más rudimentarias, suelen ser mucho menos propensas a dispersar contaminantes en el medio ambiente o en el lugar de trabajo.

C. Alcance de las directrices: Temas

21. Estas directrices abarcan varios amplios temas que se exponen en diversos capítulos:

- Fuentes y uso de metales secundarios del anexo I
- Aptitud de los metales de desecho para la recuperación y regeneración
- Establecimiento de una planta de reciclado o recuperación
- Plantas de regeneración ambientalmente racional
- Consideraciones ambientales y sanitarias
- Evaluación de impactos ambientales previstos
- Prevención de desechos y producción más limpia
- Potenciales peligros ambientales y su control
- Cierre de plantas de regeneración de metales
- Glosario

II. Fuentes y uso de metales secundarios del anexo I

22. Los metales secundarios pueden recuperarse a partir de chatarra de metales o de cenizas, residuos, escorias, sedimentos, batiduras, espumados, escamas, polvo común y granulado, lodo, masa sin pensar y catalizadores que contengan metales. La chatarra de metales proviene predominantemente de tres fuentes: chatarra de origen, de plantas fabriles o desechos de producción, chatarra pronta o de fabricación (o recortes); y chatarra obsoleta de objetos desmantelados o descartados.

23. Se entiende por chatarra de origen, de plantas fabriles o desechos de producción a los desechos que provienen de la producción de metales. Puede consistir, por ejemplo, en extremos de láminas metálicas, o en la acumulación removida de cazos de metal fundido, o en recortes de una fundición, como mazarotas o canaletas. En un horno de fundición no ferroso se producen diversos metales impuros o compuestos metálicos intermedios, que no son desechos, sino productos intermedios valiosos y materiales en proceso para el próximo paso, a menudo el siguiente metal, del proceso de refinación y regeneración, que puede realizarse en el mismo o en otro lugar.

24. La chatarra (o los recortes) provienen de la producción de productos intermedios (por ejemplo, varillas, barras, láminas, tiras, tubos, perfiles, chapas, lingotes) o del maquinado o moldeado de productos intermedios y productos finales. La chatarra tiene forma de torneaduras, desechos de perforación, recortes, desechos de punzonado, cortes o partes rechazadas (por no cumplir las especificaciones). Esta chatarra es limpia, por cuanto en cierto sentido nunca ha sido utilizada, y es de composición conocida, es decir que es idéntica al material vendido a la planta. Se trata de un material valioso y que a veces es buscado por el proveedor del metal. También es valioso para los procesadores de chatarra. El reciclado se realiza mediante reutilización directa y refundición.

25. La chatarra obsoleta es el tipo de chatarra en que se centra la atención de quienes realizan el manejo de desechos. Proviene de objetos obsoletos, como edificios demolidos y automóviles, artefactos y dispositivos electrónicos que han llegado al fin de su vida útil. Suele ser necesario desmantelar el objeto obsoleto mediante un triturador de vehículos, cizallas o por acción de trabajadores provistos de herramientas manuales. Los metales no ferrosos que contengan deben identificarse, prepararse y clasificarse

conforme a las especificaciones de los compradores para que puedan ser vendidos con fines de reciclado. Los adquirentes utilizarán esa chatarra preparada para la producción de productos tales como barras metálicas no terminadas, cátodos, gránulos o chapas. En algunos casos esas nuevas formas de materias primas pueden estar sujetas a los controles del Convenio de Basilea (anexo VIII) o a controles nacionales.

26. Los procesadores de chatarra obsoleta también pueden manejar chatarra pronta. Restos de operaciones de torneadura, perforación o recorte, y otras formas, si es necesario adecuadamente preparadas por procesadores de chatarra, se utilizan directamente como materias primas para producir productos, por ejemplo mediante refundición directa.

27. La mayor parte de los metales no ferrosos recogidos, clasificados y graduados con fines de reciclado no son peligrosos, por lo cual no figuran en el anexo VIII. El gran volumen de productos intermedios o finales producidos a partir de chatarra de metales no ferrosos preparada con recursos secundarios consiste comúnmente en aluminio, cobre, plomo o aleaciones de cobre, aluminio y zinc metálicos básicos. No obstante, el análisis siguiente se ofrece como guía para algunas de las fuentes de chatarra obsoleta de metales, sus aleaciones y los compuestos mencionados en el anexo VIII.

A. Antimonio

28. El antimonio no se utiliza en forma pura, sino como aditivo de aleación menor, aunque importante. Su uso más importante es como endurecedor del plomo para acumuladores. Tiene también aplicaciones en soldaduras y otras aleaciones, como tipos de imprenta. En pequeñas cantidades se utiliza como elemento de aleación en rulemanes y en aleaciones de estaño, como aleaciones de peltre y de joyería de vestidos de gala. Sus compuestos se utilizan como catalizadores, pigmentos, en cerillas y fuegos artificiales y en parasiticidas veterinarios. El trióxido de antimonio es el más importante de los compuestos de antimonio y se utiliza principalmente en fórmulas de sustancias pirorretardadoras, como las utilizadas en ropa infantil, aeronaves y cubreasientos de automóviles. Todos esos objetos son fuentes improbables de antimonio reciclable.

29. Cuando se regeneran aleaciones que contienen antimonio es probable que los volúmenes menores de ese elemento permanezcan en el metal básico de la aleación. Por ejemplo, si se funde una aleación de antimonio y plomo es mucho más probable que el equipo de control de la contaminación del aire capte el plomo que el antimonio. El plomo se funde a 327°C y el antimonio a 630°C.

30. Una posible excepción es la de la solución de tricloruro de antimonio, que a veces se utiliza para “broncear” el hierro, ennegrecer el zinc y teñir maderas. Todos esos usos pueden dar lugar a residuos dudosamente reciclables pero que requieren un manejo especial.

31. Es sumamente improbable que llegue a encontrarse antimonio aislado en forma de desechos.

B. Arsénico

32. El arsénico se genera como subproducto de la industria de los metales no ferrosos. Además se agregan pequeños porcentajes de ese elemento a las aleaciones de plomo para rejillas de baterías y recubrimiento de cables, para darles mayor dureza. En volúmenes de hasta 3%, el arsénico mejora las propiedades de las aleaciones de rulemanes de base de plomo. Se utilizan cantidades más pequeñas en unas pocas aleaciones de cobre. El arsénico ha sido utilizado para la fabricación de vidrios para especialidades con bajo punto de fusión, en que se extrae por completo, y es un componente menor de una clase de semiconductores. Ninguna de esas aplicaciones generará arsénico con fines de reciclado.

- **Precaución: El arsénico metálico genera rápidamente una cobertura blancuzca del óxido. Si por rara casualidad encuentra arsénico metálico, no intente reciclarlo sin orientación de expertos. El revestimiento, al igual que muchos compuestos de arsénico, es altamente tóxico. El metal no debe fundirse, a menos que lo hagan técnicos especializados.**

33. El arsénico, en ínfimas cantidades, cumple diversas funciones en la industria electrónica. Se utiliza para el procesamiento de cristales de arseniato de galio (como teléfonos móviles, aparatos láser, etc.), como agente impurificador en plaquetas de silicio y para fabricar gas arsina (H_3As), que se utiliza para confeccionar materiales superreticulados y circuitos integrados de alto rendimiento. Además el arsénico en forma de metal aumenta la resistencia a la corrosión y la resistencia a la tensión de las aleaciones de cobre, y refuerza las pernos de polo y las rejillas de los acumuladores de plomo. Los

desechos que contienen arsénico requieren un manejo cuidadoso, ya que el metal se lixivia y tiene un punto de ebullición relativamente bajo (614°C).

34. Se han usado compuestos de arsénico como insecticidas, productos de preservación de madera, pigmentos en vidrios y cerámicas, y en terapias veterinarias. La mayor parte del arsénico se consume como trióxido, principalmente para la fabricación de productos de preservación de madera tratada a presión. Son fuentes improbables de materiales reciclables.

35. Es sumamente improbable que lleguen a encontrarse desechos de arsénico como tal.

C. Berilio

36. El berilio se usa como aditivo de aleaciones para el cobre y el níquel (hasta un máximo de 2%) para resortes, contactos eléctricos, rulemanes del tren de aterrizaje de aeronaves, herramientas de moldeo de plástico, equipo de exploración y perforación de yacimientos petrolíferos, brazos de apoyo de electrodos de soldadoras de punto y herramientas de seguridad. El berilio no utilizado para aleaciones se usa en armas nucleares, naves espaciales, reflectores de radiación de reactores nucleares, ventanillas de rayos X, sistemas de orientación inercial y otro instrumental de precisión. El óxido de berilio (BeO) se utiliza en algunos equipos electrónicos como sumidero de calor. Las fuentes de este producto para el reciclado consisten en la chatarra pronta generada en el procesamiento de aleaciones de berilio y cobre y ciertas cantidades de equipos militares obsoletos que contienen berilio metálico. Puede encontrarse cierto pequeño volumen del óxido en el reciclado de aparatos electrónicos, y es preciso recuperarlo o aislarlo de otra manera del medio ambiente. Es sumamente improbable encontrar berilio metálico, salvo por parte de especialistas que manejen ese metal.

- **Precaución: El manejo de berilio en forma masiva, pura o en aleaciones no es peligrosa. El peligro, incluido el de contraer beriliosis, surge cuando el berilio o el berilia se presenta en forma de partículas muy pequeñas, arrastradas por el aire, que pueden inhalarse. Sólo técnicos y plantas especializados deben serruchar, maquinar, calentar, fundir o incinerar el material. Se pueden vender en la forma en que se encuentren cantidades suficientes de hallazgos de aleaciones o desechos de metal. Pueden manejarse sin problemas utilizando guantes. Véase también la sección referente al cobre.**

37. Los compuestos de berilio, con excepción del óxido de berilio (berilia) suelen ser curiosidades de laboratorio, y es sumamente improbable encontrarlos. No obstante, como el berilio está presente en muy pequeñas concentraciones en casi toda la chatarra electrónica (y en mayores concentraciones en un muy pequeño número de aparatos electrónicos), requiere atención, ya que esa chatarra es comúnmente reciclada para regeneración de cobre y metales preciosos. En los bajos niveles de berilio que normalmente se encuentran en equipo de manejo de chatarra (< 0.1%) en general no se requieren precauciones especiales, y las trazas de berilio y sus compuestos intermedios se integran a la corriente de chatarra de cobre con fines de recuperación. En cambio en los casos en que el contenido de berilio de la chatarra es mayor la fusión puede provocar riesgo de inhalación de berilia en escorias, y deben utilizarse equipos de extracción y filtrado de aire para controlar ese riesgo.

D. Cadmio

38. El cadmio en forma de metal se utiliza en la actualidad principalmente en baterías de níquel-cadmio. Su uso como enchapado anticorrosivo y en pigmentos y estabilizadores está prohibido en los países de Europa septentrional, aunque en otros países el cadmio se sigue usando, en cierta medida, para esos fines. Se utiliza también en componentes electrónicos, como semiconductores, y en las varillas de control de reactores nucleares. Fertilizantes producidos a partir de minerales de fosfatos pueden constituir una fuente importante de contaminación difusa del cadmio. En Australia, por ejemplo, los fertilizantes fosfatados han sido una fuente importante de aumento del cadmio en el suelo agrícola. La industria de fertilizantes de Australia ha logrado reducciones significativas del contenido de cadmio de los fertilizantes en los últimos diez años y ahora utiliza fosfato mineral con menores concentraciones de cadmio para manufactura local (<http://www.cadmium-management.org.au/>). En los Estados Unidos de América la Agencia de Protección Ambiental (USEPA) ha establecido una concentración máxima permitida de cadmio de 1,4 mg/kg (ppm) por unidad (1%) de contenido de zinc en fertilizantes de micronutrientes de zinc producidos a partir de desechos de zinc reciclados (<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/recycle/fertiliz/index.htm>)

39. Alrededor del 75% del consumo de cadmio corresponde a baterías de níquel cadmio, y como éstas pueden recogerse fácilmente con fines de reciclado, la mayor parte del cadmio secundario proviene de baterías de ese tipo usadas. El cadmio surge también como subproducto del proceso de producción de zinc y cierto cadmio secundario proviene del polvo de conductos generado durante la fundición de chatarra de acero galvanizado reciclado en hornos de arco eléctrico. La recuperación de cadmio de baterías y polvo de conductos es complicada y peligrosa, y sólo puede realizarse en una planta especializada. También puede regenerarse a partir de lodos de control de plantas de galvanoplastia, que provienen del tratamiento de las aguas residuales.

- **Precaución: Si se encuentra cadmio en forma de metal puro, no debe crearse polvo o humos, por ejemplo por maquinado o fusión. Sólo técnicos especializados deben ser autorizados a fundir cadmio en forma de metal.**

E. Compuestos de cromo hexavalente

40. El cromo es un agente de aleación utilizado en acero y diversas superaleaciones basadas en níquel y en cobalto, aleaciones basadas en aluminio, aleaciones de resistencia eléctrica, granos y polvos de superficie dura y galvanoplastia. No se requieren precauciones especiales para manejar cromo en forma de metal o sus aleaciones.

41. Las aleaciones de cromo, como los aceros inoxidables y las superaleaciones, son sumamente deseables con fines de reciclado. La mayor parte del cromo se recicla como componente de acero inoxidable, para volver a obtener acero inoxidable. Es escaso el metal de cromo encontrado como tal o reciclado.

42. Los compuestos de cromo hexavalente [Cr^{6+} o Cr(VI)] son peligrosos. Esta forma de cromo se encuentra en soluciones de enchapado y puede ser eliminado mediante aditivos químicos. No obstante, algunos pueden permanecer, sin que los elimine el agua por enjuagado. Si se reduce ("mata") el Cr^{6+} en las soluciones de enchapado, es posible recuperar el cromo del lodo del tratamiento ulterior de aguas residuales. Si bien en general es difícil lograr la pureza del producto y las concentraciones requeridas a un costo económicamente atractivo, dadas las circunstancias adecuadas se puede reciclar el Cr^{6+} . La mayoría de los talleres de enchapado más grandes reciclan en alguna medida sus aguas de enjuagado. Además, bien pueden existir situaciones en que la alternativa ambiental práctica óptima consiste en reciclar los desechos que contienen cromo hexavalente sin someterlos primero a una reducción química (dentro de una operación, o, si los desechos en cuestión son química y físicamente adecuados, en una planta de fabricación de productos químicos de cromo). En general los compuestos de Cr^{6+} se identifican en cantidades insignificantes cuando están presentes, salvo para el tratamiento de maderas, en que predomina la presencia de cromo trivalente en el producto de madera tratado (>99.9%) y, en virtud de la presencia de agentes reductores naturales en la madera, el cromo hexavalente rara vez está presente, aun en trazas.

43. El cromo hexavalente se utiliza por sus propiedades de preservación y como sal soluble en galvanoplastia con cromo metal. En materia de teñido, generalmente se utiliza la forma trivalente (como alumbre de cromo [$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$]). En el tratamiento de maderas el elemento de preservación no es el cromo hexavalente (si es que el cromo realmente actúa como preservador). El cromo constituye un agente de fijación, y en maderas adecuadamente fijadas, está presente en forma trivalente. El cromo trivalente hecho complejo por medios químicos en la madera tratada es muy diferente del ácido crómico u otro compuesto de cromo hexavalente utilizado en el tratamiento original.

44. El cromo puede regenerarse a partir de los lodos de control de la contaminación provenientes de plantas de galvanoplastia. Esos lodos se originan en el tratamiento de aguas residuales. También es posible regenerar el cromo de polvos metálicos y varios catalizadores gastados diversos.

F. Compuestos de cobre

45. La mayoría de los compuestos de cobre no son peligrosos, por lo cual figuran en el anexo IX del Convenio. En el anexo VIII se identifican tan sólo unos pocos. El cobre en forma de metal y sus aleaciones (por ejemplo latones y bronces) son sumamente deseables con fines de recuperación. Al igual que el zinc (párrafo 63, infra), el cobre es un elemento esencial.

46. No es probable encontrar para reciclado los compuestos de cobre que figuran en el anexo VIII. Unos pocos son productos intermedios o sustancias químicas para procesos en hornos de fundición; muchos nunca salen del horno, en que habitualmente se regeneran. Una excepción son las soluciones de ácidos para grabar usadas que contienen cobre provenientes de la fabricación de tableros de circuitos. Se puede volver a dar una forma utilizable a esas soluciones, y por lo tanto reciclarlas. Las reacciones químicas para lograrlo, o para recuperar de otra forma el cobre, deben ser realizadas por procesadores experimentados, que en algunos casos son los proveedores de las soluciones de ácidos para grabar.

- **Precaución: Se requieren consideraciones especiales para montajes eléctricos y electrónicos o chatarra que contienen componentes peligrosos. La incineración de chatarra eléctrica y electrónica, así como la incineración de cables, producen humos peligrosos y requieren controles ambientales. Los cables eléctricos deben pelarse y no incinerarse. Una vez pelados, su fusión no ofrece peligro, porque se trata de cobre de muy alta calidad.**

47. También es posible regenerar el cobre de diversas escorias, cenizas, batiduras, catalizadores y polvos, así como de lodos, provenientes, por ejemplo, del tratamiento de las aguas residuales de plantas de galvanoplastia. El cobre es uno de los metales más ampliamente utilizados y objeto de más intensa recuperación, reciclado y regeneración, especialmente porque es fácil de recuperar debido al aspecto característico del metal y sus aleaciones.

- **Precaución: La fundición de cobre requiere modernos equipos de control de la contaminación. El cobre proveniente de chatarra electrónica puede contener berilio, que debido al peligro para la salud que plantea debe retenerse en el equipo de control de la contaminación del aire.**
- **Precaución: Si se muele chatarra electrónica que contenga cobre con fines de recuperación, es preciso controlar y retener el polvo. El fresado puede liberar polvos que contengan berilio.**

G. Plomo

48. El plomo es ubicuo en la corteza terrestre, existiendo ricos yacimientos en muchos países. Además, su punto de fusión relativamente bajo, y su maleabilidad han llevado a utilizarlo en muchas aplicaciones desde tempranas épocas históricas. Actualmente el plomo se utiliza principalmente para baterías de automotores. En consecuencia, su consumo se incrementa a medida que crece la economía de un país y su parque de vehículos.

49. A mediados de la década de los ochenta varió considerablemente la utilización de plomo, por preocupaciones referentes a la salud y al medio ambiente. Sigue disminuyendo la utilización de plomo en productos distintos de las baterías. En los Estados Unidos de América, por ejemplo, el 88% del plomo utilizado se destina a baterías. Tan sólo de baterías usadas se recuperó alrededor de un millón de toneladas (equivalentes al 61% del consumo de los Estados Unidos). El uso total de plomo secundario representó el 76% del plomo producido en 1999 en los Estados Unidos. En ese año, tan sólo en los Estados Unidos la recuperación del plomo de acumuladores de plomo llegó al 18% de la producción mundial de ese metal, lo que pone de manifiesto la importancia y facilidad de su reciclado.

50. A nivel mundial, las principales fuentes de plomo secundario para reciclado son los acumuladores de plomo usados (automóviles, camiones, usos marinos y estacionarios), polvos y escorias de hornos de fundición y recubrimiento de cables (una forma masiva, anexo IX). La recuperación del plomo de baterías usadas requiere un manejo especial; debiendo evitarse, por ejemplo, el desarmado manual (por ejemplo partirlas con un hacha) o su incineración en lugares abiertos, y en su decisión VI/22, la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea adoptó las Directrices Técnicas para el Manejo Ambientalmente Racional de los Acumuladores de Plomo de Desecho. Se encontrará otra información en www.ilmc.org, y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo ha presentado estudios sobre sus experiencias en la labor de ayuda a los países en desarrollo para mejorar la recolección y fundición de baterías y hornos (desempeño técnico y ambiental) y un mayor reciclado (véase www.unctad.org). Los hornos aceptan también el sulfato de plomo existente en las baterías usadas, por lo cual no es necesario sacarlo antes de la regeneración.

51. El reciclado de acumuladores de plomo es importante por otra razón: los mantiene fuera de la corriente de desechos destinada a su eliminación final. El plomo de los acumuladores de plomo en vertederos sin recubrimiento puede filtrarse hasta el agua potable si no se somete a procesos que lo conviertan en compuestos químicos y lo fijen en el suelo específico que encuentre.

52. El plomo puede regenerarse a partir del lodo de control de la contaminación proveniente del tratamiento de aguas servidas de plantas de galvanoplastia, y también a partir de desechos de soldadura, pero puede ser muy peligroso reciclar soldaduras de plomo/estaño, dada la probabilidad de que se emitan dioxinas, berilio, arsénico, isocianatos y el plomo mismo.

53. El plomo puede regenerarse a partir de tubos de rayos catódicos como los utilizados en monitores de computadoras personales. Se puede romper el vidrio del tubo y enviar a una planta para la regeneración del vidrio o el plomo, pero deben precaverse peligros tales como exposición a fósforos tóxicos y silicosis. También puede utilizarse el vidrio como agente fundente en un horno de fundición de plomo. En cualquiera de esos dos casos la planta que recupera el vidrio con plomo de los tubos de rayos catódicos debe cortarlo, separándolo de los otros componentes del tubo con cuidado de no aplastar el vidrio creando finas partículas que puedan ser aspiradas por los trabajadores.

54. En algunos plásticos se utilizan pequeñas cantidades de compuestos de plomo, aunque este uso está siendo eliminado por etapas. Unos pocos compuestos se usan en medicina veterinaria. Pueden usarse óxidos y cromatos de plomo en pinturas especializadas para estructuras tales como puentes, debido a la excelente resistencia a la corrosión que imparten las pinturas. Se usa tetraetilo de plomo en combustibles, como supercarburante, aunque su utilización a esos efectos se está reduciendo. La mayor parte del mundo (por población) ha ido eliminando este uso del plomo (<http://www.ilmc.org/>). El plomo se sigue usando en forma amplia en alambres revestidos de PVC (2% – 5%), uso que aún no está siendo eliminado. Este plomo no se recicla, pero se libera si se queman los alambres o el material aislante.

- **Precaución: El plomo recuperado, y especialmente las baterías, no debe fundirse al aire libre, sino exclusivamente en hornos de fundición especialmente equipados. Los trabajadores deben vestir equipos de protección personal; por ejemplo máscaras faciales aprobadas. Además deben cambiarse de ropa y ducharse al final de la jornada de trabajo, para no llevar polvo de plomo a su domicilio.**

55. El latón puede incluir hasta un 3% de plomo, para incrementar las posibilidades de maquinado. El plomo es casi insoluble en latón, pero está disperso en forma de finos glóbulos. Además, su bajo punto de fusión le permite actuar como lubricante, reduciendo el coeficiente de fricción entre las herramientas y el producto. Esto reduce el desgaste de las herramientas y mejora el acabado de la superficie de los productos. En Europa alrededor de dos tercios del tonelaje producido está constituido por latón con plomo reciclado que se ha vuelto a fundir; la mitad del total consiste en chatarra maquinada devuelta al proveedor. En las operaciones de los hornos de latón, los operadores deben adoptar precauciones similares a las de producción de plomo, aunque las restricciones son menores, porque la concentración de plomo es muy inferior. El plomo también se utiliza como elemento de aleación con otros metales, como el aluminio, en general para facilitar el maquinado.

H. Mercurio

56. El mercurio es una rareza de la naturaleza, ya que es el único metal líquido a temperatura ambiente. Como consecuencia de esta singular propiedad, incluida su expansión térmica volumétrica uniforme y el hecho de que es un buen conductor eléctrico, tiene usos para especialidades, inclusive en equipo de laboratorio. Se utiliza en cierta medida para aparatos eléctricos y fabricación de productos químicos; se está dejando de usar en baterías de pila seca o como electrodo en células electrolíticas. La mayor parte del mercurio se utiliza para la fabricación de productos químicos industriales o para aplicaciones eléctricas y electrónicas, incluido un nuevo uso en computadoras y aparatos de televisión de pantalla plana. Se encuentra en tubos de luz fluorescentes. Es raro encontrar mercurio en una típica operación de recuperación o reciclado de metales no ferrosos. Lo siguen usando algunos mineros artesanales para amalgamar oro de minerales, pero esta práctica no es ambientalmente racional. En la naturaleza puede formarse metilmercurio a partir de mercurio elemental; es uno de los tóxicos más peligrosos conocidos. Implica graves inconvenientes y riesgos para quienes se ocupan de la eliminación o reciclado de desechos de mercurio.

- **Precaución: Los vapores de mercurio son un peligro para la salud. Los contenedores deben taparse en forma segura y todas las operaciones referentes al mercurio metálico deben realizarse en un espacio adecuadamente ventilado o en un sistema cerrado, para impedir la acumulación de vapor de mercurio en el lugar de trabajo. Esto reviste suma importancia si en el curso de la operación se calienta mercurio a temperatura superior a la ambiente. Además existen peligros más amplios para la salud pública.**

57. El mercurio se usa en odontología para oclusión. Se utilizan compuestos de mercurio en pequeña medida en medicina veterinaria, explosivos, fuegos artificiales y productos antibacterianos para especialidades. Se encuentran compuestos de mercurio destinados a reciclado, como amalgamas dentales y calomel (cloruro de mercurio), que se reciclan en fórmulas farmacéuticas. El mercurio es un metal presente en estado de traza en algunas minerales y se recupera de lavadoras de gas instaladas en hornos de fundición de zinc, cobre y plomo.

58. El mercurio metálico puede reciclarse en plantas especiales mediante destilación al vacío. No obstante, el reciclado del mercurio es potencialmente peligroso, y se han producido tragedias, como el deceso de tres trabajadores y la enfermedad de no menos de otros 20 por exposición al mercurio en Sudáfrica a principios de los años noventa. El reciclado es una fuente importante de mercurio; representa la mayor parte del mercurio de producción nacional en los Estados Unidos de América. Como sigue utilizándose mercurio en productos y procesos, el reciclado puede seguir siendo una fuente importante de mercurio para reducir al mínimo la producción del mercurio primario. Para impedir la recirculación de este metal en la sociedad, algunos países están considerando métodos de eliminación definitiva, como almacenamiento por encima del nivel del piso, en forma segura y recuperable, bajo control, junto con la adopción de políticas de producción, comercialización y uso. En los países desarrollados se están eliminando más y más usos del mercurio, pero el uso está aumentando en los países en desarrollo, en que en general es muy escasa la capacidad de manejar desechos de mercurio.

I. Selenio

59. Se generan desechos de selenio en el sector de la refinación del cobre (fangos anódicos) y en lavadoras de gas, en hornos de fundición de níquel, en plantas de aleaciones, etc. Se utiliza el selenio como agente de aleación, especialmente para sustituir al plomo en latón de maquinado libre para cañerías. Este metal se utiliza también en rectificadores eléctricos, aunque este uso está dejando paso rápidamente al de las siliconas, como agente de aleación, en los cartuchos de entintado de copadoras xerográficas, aunque este uso está dejando paso rápidamente a los compuestos orgánicos, en pigmentos y como colorante del vidrio. Un uso importante es el de aditivo a los piensos para el ganado, y en algunos suplementos dietéticos se usa como agente contra el cáncer, ya que el selenio es un nutriente esencial. Unos pocos compuestos de selenio se usan en medicina veterinaria. Las cantidades de selenio o de sus compuestos destinadas a reciclado varían entre extremadamente escasas e insignificantes.

J. Telurio

60. El telurio es un elemento relativa raro y además es un subproducto de la producción de cobre. Se utiliza como agente de aleación de hierro y acero (ese es el uso predominante; llega al 0,1%), en aleaciones termoeléctricas, en alambres de detonadores para explosivos, en agentes catalizadores, en vulcanización y como colorante en vidrios y cerámicas. El telurio de alta pureza se utiliza en semiconductores. Sus compuestos pueden sustituir al elemento mismo como agentes colorantes. Las cantidades de telurio o de sus compuestos destinados a reciclado varían entre extremadamente escasas e insignificantes.

K. Talio

61. El talio y sus compuestos son materiales altamente tóxicos, sujetos a un estricto control para prevenir riesgos para la salud humana y el medio ambiente. El talio tiene usos limitados; por ejemplo como agente de aleación del mercurio en interruptores eléctricos en vehículos espaciales y en artefactos electrónicos de alta tecnología. Unos pocos compuestos de talio radioactivo se utilizan en procedimientos de diagnóstico médico. La probabilidad de encontrar talio o sus compuestos para reciclado es prácticamente nula.

- **Precaución: Si por cualquier razón se encuentra talio metálico, no debe manipularse, debido a su alta toxicidad. Póngase en contacto con las autoridades competentes.**

62. El sulfuro de talio se usa como raticida, y el sulfato de talio como insecticida y plaguicida. Unos pocos compuestos de talio radioactivo se utilizan en procedimientos de diagnóstico médico. La probabilidad de encontrar talio o sus compuestos para reciclado es prácticamente nula. No obstante, se están comenzando a utilizar superconductores de alta temperatura basados en talio para artefactos electrónicos avanzados de superconducción.

L. Compuestos de zinc

63. Alrededor de un tercio de la producción de zinc proviene del reciclado. El zinc es necesario para la vida y la salud en la época moderna; en cuanto al tonelaje de producción figura en cuarto lugar entre los metales del mundo, superado tan sólo por el hierro, el aluminio y el cobre. Alrededor del 75% del total se consume como metal, principalmente como revestimiento para proteger al hierro y al acero de la corrosión (metal galvanizado), como metal para aleación para la fabricación de bronce y latón, como aleación de la fundición en coquilla basada en zinc y en forma de zinc laminado. El 25% restante se consume en forma de compuestos de zinc, principalmente por parte de las industrias del caucho, los productos químicos, la pintura y el sector agropecuario, principalmente como óxido de zinc. El zinc es un elemento necesario para el crecimiento y desarrollo adecuados de seres humanos, animales y plantas. Ocupa el segundo lugar entre los metales en estado de trazas más comunes, después del hierro, y está presente naturalmente en el cuerpo humano. El óxido de zinc se utiliza como medicamento.⁴

64. Debido a las amplias diferencias de carácter y contenido de zinc de la chatarra, los procesos de reciclado de la chatarra que contiene zinc varían ampliamente. El reciclado de chatarra limpia y nueva, como latones, recortes de zinc laminados y fundición de coquilla rechazada, generalmente sólo requiere refundición. En el caso de chatarra de metales triturados no ferrosos mezclados, el zinc se separa de otros materiales a mano o mediante separación magnética. El zinc tiene un punto de fusión relativamente bajo y puede ser separado de otros metales en un horno de exudación⁵. La mayor parte del zinc recuperado de polvo de hornos de arco eléctrico se recupera en hornos de rotación mediante el proceso de Waelz.

65. En el anexo VIII del Convenio de Basilea se presenta una lista de compuestos de zinc, y no el metal. Muy pocos compuestos de zinc son peligrosos⁶. Las cenizas y desechos de zinc comúnmente se reciclan y en unos pocos informes se mencionan desechos que contienen suficiente plomo como para presentar una característica del anexo III. No obstante, los niveles de plomo y cadmio en cenizas o desechos dependen de los niveles del zinc, que en general son escasos o trazas; en gran parte del zinc utilizado en procesos de galvanización continuos se producen cenizas y desechos que cumplen cualquiera de las pruebas del anexo III.

66. “Cenizas” y “desechos” son términos comúnmente usados en metalurgia. Por ejemplo en el proceso de refundición del zinc, no se crea una “ceniza” por incineración de ningún material de por sí, sino que es la capa superior del zinc fundido la que se oxida en el aire. Cuando se cuele, la ceniza es una mezcla limpia de óxido de zinc y zinc metálico, por lo cual es un material adecuado para el reciclado. Los desechos consisten en espumas y en los restos del contenedor de zinc fundido, siendo también una fuente excelente de metal para recuperación y reutilización. Los desechos provenientes de procesos de galvanización continua en que el aluminio es el agente de aleación no contienen plomo. En cambio las cenizas, espumas y restos de procesos de galvanización por inmersión en caliente generalmente contienen plomo en concentraciones peligrosas si se utiliza zinc de grado Prime Western o si se utiliza plomo en el fondo de la pileta.

⁴ De los compuestos de zinc producidos, la mayor parte corresponde al óxido de zinc, que en su forma comercial es muy puro.

⁵ Los hornos de exudación (también conocidos como de crisol de proceso seco) separan los metales por fusión basándose en sus diversos puntos de fusión.

⁶ En algunas referencias se menciona, correctamente, al trietilo de zinc como peligroso. Este compuesto se usa en explosivos militares y es una curiosidad de laboratorio. No se presenta para reciclado.

67. Otra fuente de zinc consiste en los polvos de control de la contaminación del aire provenientes de procesos de elaboración de acero en hornos de arco eléctrico. Gran parte del acero usado en esos hornos proviene de automóviles que han llegado al final de su vida útil, triturados. El acero en hojas usado en los vehículos modernos se recubre con zinc (galvanizado). El zinc se vaporiza en el horno de arco eléctrico y es captado en el equipo de control de la contaminación del aire; sólo es adecuado para reciclado en plantas especializadas. Las principales autoridades reguladoras identifican como peligrosos esos polvos finos, debido a su contenido de cadmio y plomo, pero pueden reciclarse para producir fertilizantes con micronutrientes de zinc. En los Estados Unidos de América, por ejemplo, alrededor de la mitad de los fertilizantes de zinc se elaboran con desechos industriales peligrosos que pueden incluir polvos de control de emisiones de hornos de acero de arco eléctrico y fundiciones de latón, así como cenizas de plantas de recuperación de energía que queman cubiertas. La USEPA regula la conversión de desechos de zinc en fertilizantes, la mayor parte de los cuales se aplican, en escasa proporción, en granjas (por lo general unas pocas libras por acre por año), y se utilizan para fertilizar cultivos como el maíz, las patatas y los frutales. Las normas reglamentarias limitan los metales peligrosos que pueden contener los fertilizantes de zinc reciclados, estableciendo normas basadas en buenas prácticas de fabricación probadas e imponiendo a las dioxinas límites basados en niveles de referencia de los suelos.

III. Aptitud de los metales de desecho para la recuperación y regeneración

68. En general, los metales de desecho para recuperación y regeneración son materiales que comprenden metales puros o compuestos metálicos o que pueden reducirse fácilmente a esas formas. Si se mezclan con otros materiales pueden introducirse impurezas que encarezcan la purificación, o que si no se eliminan afecten desfavorablemente a los procesos de producción o el uso final previstos del metal o del compuesto metálico. No obstante, algunos procesos metalúrgicos están destinados a procesar metales y materiales mezclados. Son ejemplos de procesos de separación que suelen dar lugar a un metal puro a partir de mezclas la electrólisis (especialmente aplicable al cobre y al zinc); la vaporización/sublimación/volatilización (especialmente aplicable al cadmio y al mercurio); y la eliminación de escorias (aplicable, en especial, al plomo).

69. La recuperación del metal generalmente se determina mediante una evaluación comercial acerca de si es posible volver a usarlo con ganancia. Los usuarios del metal siempre estarán en condiciones de adquirirlo de fuentes primarias, y el metal producido de fuentes secundarias debe competir en los mismos mercados. Los siguientes son factores que determinan la viabilidad del reciclado y la regeneración:⁷

- La pureza inicial de los metales que han de recuperarse
- El mercado de los productos de los procesos de reciclado y regeneración
- El valor monetario del metal
- El costo de recolección y transporte
- El costo de clasificación y transformación en metal reutilizable
- El costo de los dispositivos de protección especiales o adicionales para los trabajadores y para el medio ambiente vinculados con el material
- El costo de cumplimiento de reglamentos ambientales adicionales vinculados con el material
- El costo de eliminación definitiva que se evita mediante el reciclado
- El costo de eliminación de materiales residuales que determinen los procesos de reciclado y regeneración una vez culminados

Otros factores determinantes son la disminución del consumo de energía en comparación con la producción primaria, y también la disponibilidad a largo plazo de las fuentes del material que ha de reciclarse, que está vinculada con la decisión de invertir en plantas específicas de reciclado de determinada capacidad, que deben utilizarse para mantener la competitividad.

⁷ Véase M. C. Campbell, *Non-ferrous Metals Recycling* (Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente, Ottawa, 1996).

70. En la sociedad mundial los metales no ferrosos son objeto de una amplia recuperación, reciclado y regeneración.⁸ El cuadro 1 da cierta idea de la magnitud de la recuperación de algunos metales no ferrosos. Las plantas de fundición pueden ser una importante fuente de contaminación puntual en la fuente si no operan en forma limpia, y las emisiones típicas de esas plantas en un país de la Organización de Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) pueden encontrarse en http://www.ec.gc.ca/pdb/npri/npri_home_e.cfm.

71. Algunos datos del cuadro 1 corresponden exclusivamente a los Estados Unidos de América porque se dispone de los mismos; aunque algunos son atrasados, siguen siendo los más recientes de que se dispone. No obstante, los coeficientes de reciclado en general son altos para los metales no ferrosos, lo que da una idea del valor del reciclado. También se incluyen cifras de producción mundial de unos pocos metales del anexo IX, para brindar una perspectiva.⁹

72. Por varias razones, los coeficientes de reciclado deben examinarse con prudencia. La mayor parte de los metales reciclados fueron producidos años o décadas atrás (proviene de chatarra obsoleta). Dichos coeficientes suelen compararse con el consumo actual, que puede ser mucho mayor que los correspondientes a la fabricación inicial de los objetos obsoletos. Aritméricamente, al aumentar la producción de un metal se puede reducir el reciclado como porcentaje de la producción, aunque aumente el tonelaje reciclado. De hecho, se puede calcular un coeficiente de reciclado a partir del volumen total del metal que genera la aplicación después del final de la vida útil y lo que realmente se recicla. Ésta es la comparación entre el metal disponible para reciclado y el que, por varias razones (dificultad de reciclar debido a su forma física, o simplemente eliminación del mismo en un vertedero), abandona el ciclo cerrado.

73. El reciclado en gran escala de metales no ferrosos y los residuos de los mismos comúnmente presentes está sujeto a limitaciones (un residuo con contenido de metal suele ser un compuesto del metal, como el óxido o un silicato complejo que constituye una escoria).

74. Para que la recuperación valga la pena, la cantidad y el valor de material deben ser suficientes. Para determinarlo debe tenerse en cuenta el costo de sustitución con nuevo material y el costo de eliminación del material de desecho. Puede valer la pena acumular mayores cantidades a lo largo de periodos más prolongados o provenientes de regiones geográficas más extensas. Los costos de transporte pueden ser un factor importante, en especial si el contenido de metal no representa más que una pequeña fracción del total. Con frecuencia un simple análisis de costos bastará para indicar si la recuperación será práctica. Con respecto a los metales considerados en las presentes directrices, las cantidades de metales y compuestos metálicos varían grandemente de un metal a otro y pueden oscilar entre miles de toneladas y apenas cientos de kilogramos por año a escala mundial.

75. Para determinar la posibilidad de recuperar metales o compuestos metálicos es esencial consultar al usuario final del material, es decir a la empresa de reciclado o a la planta de regeneración del metal. Es esencial determinar limitaciones y especificaciones referentes a cantidad, forma física, elementos constitutivos aceptables e inaceptables y requisitos de garantía de calidad. De hecho, antes de la aceptación las refineras suelen especificar los niveles máximos de impurezas vinculados con un desecho de metal requerido, y el precio (la viabilidad económica) variará también en función de los niveles de impurezas. Por ejemplo:

- Una empresa de refinación de níquel puede adquirir desechos de níquel que contengan cobre como elemento constituyente --y el precio variará en función del contenido de cobre-- pero imponer límites estrictos al zinc.
- Una fundición de cobre puede aceptar desechos de cobre con un pequeño porcentaje de níquel, así como zinc, estaño y plomo, pero es probable que aplique una especificación estricta a la concentración máxima de mercurio, berilio, bismuto, cromo o sodio.

⁸ Esos metales se reciclan ya desde la edad de bronce (4500 A.C. en el Oriente Medio), porque eran demasiado valiosos como para descartarlos. Esa situación no ha variado.

⁹ Los datos provienen de M. C. Campbell, *Non-ferrous Metals Recycling* (Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente, Ottawa, 1996), http://www.icmm.com/html/pubs_intro.php; H. Alter, "Industrial Recycling and the Basel Convention" (*Resources Conservation and Recycling*, vol. 19, págs. 29-53, 1997), en que se citan cifras de la Oficina de Minería de los Estados Unidos de América, Servicio Geológico de los Estados Unidos de América, *Minerals Yearbook* (Departamento de Comercio de los Estados Unidos, Imprenta Oficial, Washington D.C., 2000).

- Los fabricantes de acero inoxidable pueden aceptar materiales de desecho que contengan una combinación de hierro, níquel y cromo, con una composición definida.
- Puede ser necesario convertir ciertas formas de metales, como los haluros o cianuros, en otros compuestos, como el hidróxido correspondiente, para que sean aceptables para una fundición.

76. Los materiales consistentes simplemente en metales (o simplemente en algunos compuestos metálicos, lo que representa una solución improbable), o que sean fácilmente reducibles, son los más adecuados para recuperación y regeneración. Las especificaciones de los adquirentes indicarán en detalle los contaminantes que deben controlarse. Siempre es mejor haber clasificado (o preparado de otro modo) metales únicos y aleaciones o mezclas de chatarra permitidas a los efectos del reciclado. Por ejemplo, una mezcla de chatarra de cobre y zinc será adecuada para una fundición de latón.

77. Se han diseñado algunos procesos para aceptar y procesar mezclas en forma eficiente. Por ejemplo, algunas fundiciones de cobre han agregado sistemas especializados de control de la contaminación, por lo cual pueden usar circuitos impresos como material de alimentación para recuperar metales preciosos, cobre y otros metales.

78. Las especificaciones también se refieren a la chatarra pronta, lo que es importante para controlar una producción más limpia si el fabricante desea estar en condiciones de vender dicha chatarra.

79. Algunos metales pueden recuperarse a partir de mezclas bastante crudas. Por ejemplo, la chatarra de cañerías formada por cobre, latón y cierta proporción de plomo (de las soldaduras) puede venderse a fundiciones de latón especiales. Las fundiciones de cobre secundario aceptan chatarra de cañerías sin restricción alguna, porque producen subproductos de plomo o que contienen plomo.

80. Rara vez se encuentran fuera de las industrias primarias de metales no ferrosos mezclas complejas de metales (y compuestos metálicos). Esas mezclas son el resultado de los procesos de refinación y fundición. Se procesan y separan a través de esos mismos procesos (las minerales de metales no ferrosos, salvo el aluminio, contienen más de un metal recuperable, y se procesan mediante una secuencia de pasos en virtud de la cual el residuo de una recuperación es el material de alimentación para la siguiente).

81. Se recuperan varios metales no ferrosos a partir de lodos de tratamiento de aguas residuales de galvanoplastia. Los lodos pueden venderse en función de su contenido de metal y luego regenerarse.

82. Las plantas de galvanoplastia ambientalmente racionales tratan sus baños de enchapado y enjuague usados antes de eliminarlos. Los pequeños volúmenes de compuestos metálicos que contienen esas descargas potenciales (por ejemplo, cobre, cromo, plomo, zinc, cadmio o níquel) pueden eliminarse por diversos medios de sus soluciones de dilución. El método más sencillo consiste en aumentar la alcalinidad (adición de cáusticos) para precipitar los hidróxidos de metal, cuyo valor se basa en su contenido de metal. El valor se incrementa cuando se adoptan por anticipado determinadas precauciones. Para obtener asistencia, véase <http://www.namf.org/>.

83. Los lodos de tratamiento de aguas residuales que contienen hidróxidos de metal (u otros lodos) son idénticos a los de muchos otros desechos (o minerales) de metales no ferrosos en cuanto su valor depende de su medida (contenido de metal). Los adquirentes proporcionan las especificaciones. Para obtener asistencia, véase <http://www.namf.org/>.

84. Algunas escorias y otros residuos provenientes de procesos pirometalúrgicos tienen valor de mercado (su contenido de metal es alto) para otras plantas pirometalúrgicas. No obstante, una fundición que funcione adecuadamente tendrá escoria de bajo tenor, ya que no desperdicia metales valiosos. Algunos polvos y lodos de sistemas de control de la contaminación del aire necesariamente tendrán bajos valores de contenido metálico. En esos casos lo mejor es que su recuperación se realice en la misma fundición, siempre que ello no cause acumulación de impurezas. Los técnicos y las plantas adecuadamente preparados y experimentados son los mejor calificados para manejar esos polvos y lodos de control de la contaminación, muchos de los cuales son peligrosos.

**Cuadro 1. Producción y recuperación de metales
(miles de toneladas por año de metales seleccionados, datos correspondientes a 1989, cifras de reciclado como porcentaje del consumo)**

Metal	Producción 1999		Reciclado		Reciclado como porcentaje de la producción		NOTAS
	Mundo occidental	Estados Unidos	Mundo occidental	Estados Unidos	Mundo occidental	Estados Unidos	
Antimonio	122	0,5	20			49 (1989)	Producción exclusivamente de minerales
Berilio	6,2	5,1					Producción exclusivamente de minerales
Cadmio	19,1	1,2	19			10	Monto reciclado al que se agrega reciclado adicional de baterías
Cromo	14.000			118		21(1989)	Recuperado como acero inoxidable, aleaciones de hierro, producción de minerales
Cobalto	31,2			0,3		22 (1989)	Residuos para reciclado limitados
Cobre	11.582	2.132	5.582	1.257	34	31	
Plomo	4.944	1.447	2.953	1.097	60	76	Mayor recuperación con mayor reciclado de acumuladores de plomo
Mercurio	3				62		Disminución de la demanda de mercurio
Níquel	1.050			71		33	Alta recuperación como acero inoxidable
Selenio	0,15						
Telurio	0,01						
Estaño	269	16	17	16		30	
Zinc	5.831	371	555	140	30	>25	Mayor recuperación con polvos de hornos de arco disponibles

IV. Establecimiento de una planta de reciclado o recuperación

85. En el presente capítulo se describe la manera en que puede establecerse una planta de recuperación para la recolección, el almacenamiento, la clasificación, incluso por calidades o tamaños (para cumplir las especificaciones), el empaque y la venta de metales no ferrosos. Algunas de esas plantas pueden describirse como de baja tecnología; no se requiere un equipo de gran volumen y complicado. Su finalidad consiste en recibir y clasificar metales, incluso por calidades o tamaños, para venderlos a empresas de fundición, refundición y refinación. Esas plantas o depósitos de chatarra son un componente de la infraestructura del reciclado mundial de metales no ferrosos¹⁰. En el diagrama siguiente se presenta una típica planta de procesamiento para la recuperación de metales.

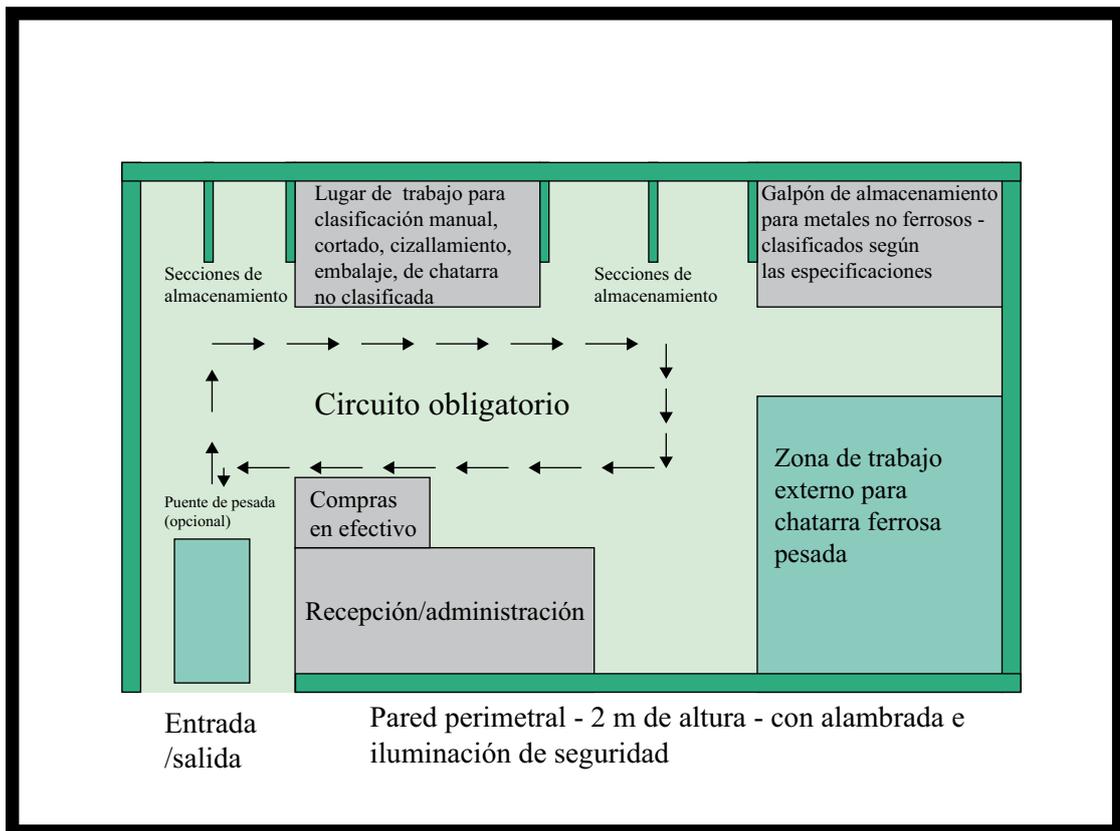


Figura 1. Diagrama de una típica planta de recuperación (depósito de chatarra)

86. En general, una planta consiste en una zona de recepción (en la que hay una balanza para pesar y un cajero), una terminal o un galpón de almacenamiento, un lugar de clasificación y una plataforma de despacho. El galpón de clasificación está equipado con herramientas de corte, que se requieren para cortar trozos de acuerdo al tamaño de las especificaciones y recortar piezas compuestas de modo de separar diferentes tipos de metales (un ejemplo consiste en sacar un caño de cobre de una válvula de bronce, o sacar acero inoxidable del hierro). La planta puede contar también con aparatos de pelar cables y/o cortadoras, si acepta chatarra de alambres y cables.

87. La planta debe estar cercada en su totalidad de modo de reducir el polvo y los residuos arrastrados por el viento e impedir la entrada de ladrones: la chatarra es valiosa.

88. La zona de recepción está destinada a permitir a personas y vehículos ingresar para entregar chatarra para la planta. El material se pesa y el vendedor puede recibir el pago de inmediato. La chatarra no ferrosa se lleva a la zona de almacenamiento.

¹⁰ Los depósitos son también un componente del proceso de reciclado del hierro y del acero. Generalmente el reciclado de esos metales requiere equipos más grandes, como cizallas y enfardadoras. Algunas instalaciones tienen grandes trituradores para vehículos que han llegado al fin de su vida útil.

89. La zona de almacenamiento debe estar en una zona aislada, de modo de proteger el piso de todo contacto con la chatarra y de ese modo proteger al medio ambiente, y en un edificio o galpón para proteger del tiempo las existencias cuando sea necesario. El espacio de almacenamiento debe estar equipado con cajones u otros contenedores (por ejemplo tambores vacíos limpios o cajas grandes de cartón). En general la chatarra no ferrosa se vende en forma de trozos pequeños. Deben recogerse y desplazarse los contenedores llenos, aquí o en el espacio de clasificación; por lo tanto los contenedores, por sus dimensiones, deben poder movilizarse en forma manual o mediante máquinas (vehículos de carga frontal). Se encuentran recomendaciones referentes a almacenamiento y manipulación, operaciones de transferencia y tráfico y vías de circulación en la recomendación 98/1 de la Comisión del Convenio para la protección del medio marino del Atlántico nordeste (OSPAR) referente a las mejores técnicas disponibles y prácticas ambientales óptimas para la industria de metales no ferrosos primarios (talleres de zinc, cobre, plomo y níquel) (véase <http://www.ospar.org/>).

90. La zona de clasificación debe cerrarse en forma similar, y su piso debe ser pavimentado. Debe estar equipada con mesas y contenedores. Cuando sea necesario, las piezas de metales no ferrosos se cortan (para cumplir las especificaciones) y clasifican en contenedores, que pueden ser los de transporte final. La clasificación debe estar a cargo de personal capacitado, que sepa distinguir entre diferentes grados de, por ejemplo, aleaciones de cobre (cobre, latón o común) o diferentes grados de acero inoxidable. Esas operaciones son necesarias para cumplir las especificaciones y obtener el más alto precio posible.

91. La plataforma de despacho tiene como fin la carga de camiones para la movilización de la chatarra clasificada a las fundiciones. Con frecuencia, los embarques a las fundiciones son transfronterizos, en cuyo caso los tambores o las grandes cajas de cartón se colocan en contenedores de transporte. En esos casos es útil contar con la asistencia de un despachante de aduanas.

92. Los métodos de embalaje deben ser compatibles con la Reglamentación Modelo de las Naciones Unidas sobre transporte de mercancías peligrosas. Para obtener asistencia véase http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/rev13/13nature_e.html.

93. Para obtener asistencia sobre clasificación, y especialmente especificaciones, consúltese <http://www.bir.org/> o www.isri.org.

94. El éxito de este tipo de empresas generalmente está determinado por una evaluación comercial que depende del cumplimiento de normas internacionales de formas y especificaciones y del hallazgo de un mercado (los corredores y agentes de comercialización son muy útiles a ese respecto). El éxito dependerá también del precio de los metales en el mercado mundial, que influye sobre las cantidades que se reciben y el precio que se ha de pagar por ellas.

95. Otros factores que afectan al éxito económico son el costo de eliminación de todo material residual proveniente del depósito de chatarra y el costo de recolección y transporte.

96. Las plantas de recuperación arriba descritas (depósitos de chatarra) obtienen sus materias primas haciendo llamados para su envío. Las dos principales fuentes de metales son las plantas manufactureras o de fabricación que utilizan metales no ferrosos y las empresas de desmantelamiento de automóviles (negociantes de partes usadas). Los radiadores, las cajas de cambios, los burros de arranque, los alternadores y piezas similares obsoletas son ricas fuentes de metales no ferrosos. Los operadores pueden contar con la asistencia de estudios especializados disponibles.¹¹

97. Se puede obtener acceso a los precios mundiales a través de *Metal Bulletin* (www.metalbulletin.co.uk) o *American Metal Market* (<http://www.amm.com/>).

V. Establecimiento de una planta de regeneración

98. Establecer una planta (primaria o secundaria) de refundición o regeneración puede representar un importante esfuerzo. Para ambos tipos de plantas se requieren, entre otras cosas, investigaciones detalladas, planificación, ingeniería y análisis económicos, personal calificado y considerables inversiones. Los períodos de planificación y construcción pueden ser prolongados: de una década o

¹¹ Por ejemplo, A. A. Nijkerk, *Handbook of Recycling Techniques* [Nijkerk Consultancy, La Haya [distribuido en los Estados Unidos de América y Canadá por American Metal Market, Nueva York], 2000].

más. Por lo tanto debe realizarse una previsión de la demanda del mercado después que la planta está en funcionamiento. Los riesgos financieros son considerables. Las plantas de refundición son más sencillas que las de regeneración, porque suelen usar como material de alimentación metales recuperados en depósitos de chatarra. Lo más probable es que las plantas de regeneración sean fundiciones de minerales primarias, ya que el material de alimentación pasa a través de operaciones de separación del (de los) metal(es) deseado(s). En la figura 2, que aparece más abajo, se presenta una típica planta de procesamiento para la regeneración de metales. (Nota: el término “filtro” que aparece en la figura 2 se refiere genéricamente al sistema de control de la contaminación del aire que resulte apropiado).

99. El diseño y la operación de una planta (primaria o secundaria) de regeneración en forma ambientalmente racional requiere ingeniería avanzada, aptitudes técnicas y un alto nivel de mantenimiento. No es una empresa para timoratos ni para quienes carezcan del capital necesario. En <http://www.jrc.org> aparece un reciente compendio de la mejor tecnología, que en gran medida es de grandes proporciones y suele ser complicada. Por ello no es sorprendente que la mayor parte de las fundiciones y otras plantas de regeneración de metales sean de propiedad de grandes compañías mundiales, y operadas por ellas, en contraste con las fundiciones, y las compañías de refundición y refinación secundarias, que es más probable que sean de carácter local.

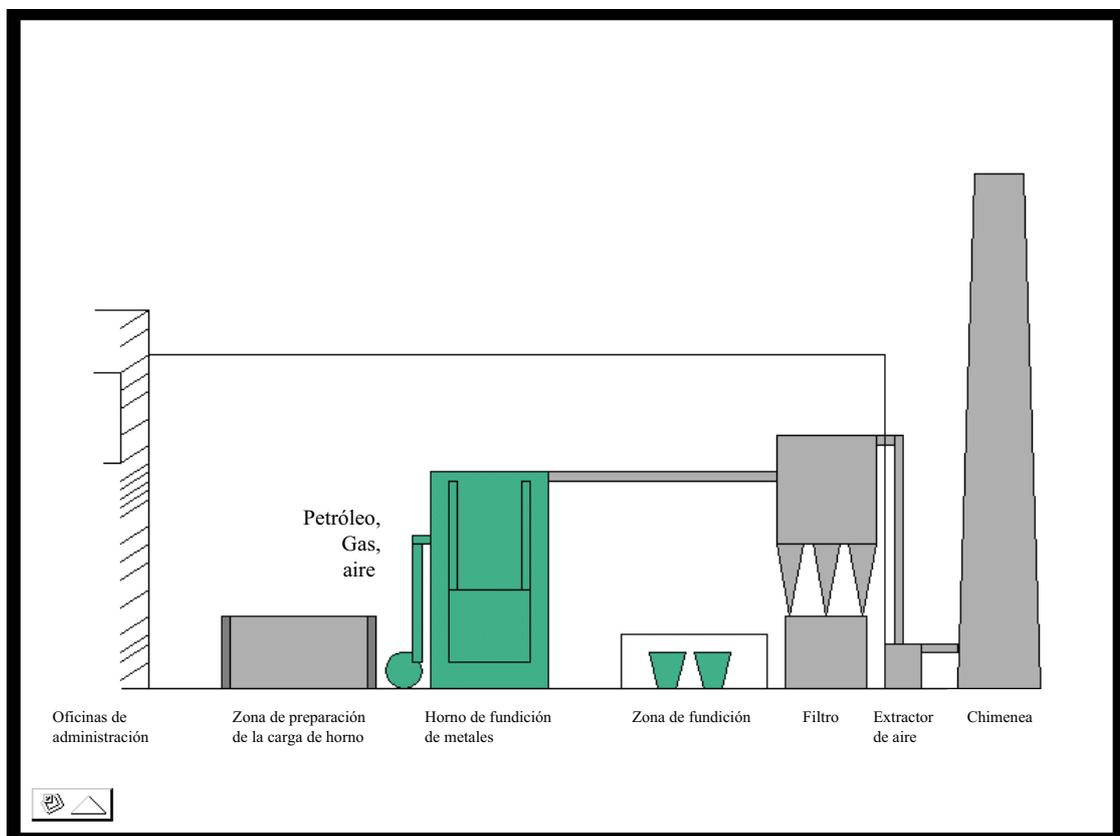


Figura 2. Diagrama de una planta de refundición

100. Históricamente, la demanda y los precios mundiales de los metales no ferrosos son cíclicos. Dichos metales son productos básicos. La capacidad no es cíclica, porque las fundiciones se construyen y operan en forma continua. En períodos de escasa demanda (y bajos precios) operan por debajo de su capacidad. Cuando la demanda es escasa, también lo es la demanda (y el precio) de las fuentes secundarias. Afortunadamente para el sector del reciclado, las fundiciones suelen usar cierta pequeña cantidad de material de alimentación en forma de metales reciclables. A la fecha en que esto se escribe (2003), los precios mundiales de los metales no ferrosos son relativamente bajos en términos históricos. Esos factores económicos, de mercados y técnicos introducen un considerable grado de riesgo financiero para la construcción de nuevas plantas de regeneración.

101. En unos pocos casos los procesos hidrometalúrgicos ofrecen alternativas técnicas a la regeneración pirometalúrgica de determinados metales y materiales de alimentación. Por ejemplo, los residuos de recuperadores provenientes de hornos de níquel y cobre pueden lavarse, escurrirse y

lixiviarse con una solución de sulfito de sodio a alta temperatura y determinado pH. El sulfito de sodio es extremadamente selectivo a los efectos de la disolución y formación de compuestos del selenio, y todo el selenio metálico libre existente en el material disuelto en la solución del sulfito de sodio forma un compuesto de selenosulfito de sodio soluble. Luego se hierve la solución lixiviada para evaporar el agua en forma de vapor y concentrar la solución. Cuando se alcanza el límite de solubilidad del selenio en la solución del sulfito de sodio, el selenio negro se separa por precipitación, formando una suspensión negra que luego se filtra, de modo de producir un concentrado de selenio que se vende como selenio de grado comercial.

VI. Plantas de regeneración ambientalmente racional

102. Tras examinar, como primera prioridad, las posibilidades de evitar y reducir al mínimo la formación de desechos, pueden considerarse opciones de recuperación y regeneración. Esa labor debe incluir en primer lugar la identificación de una amplia gama de posibles opciones, seguidas por el análisis de las mismas para determinar la más atractiva a los efectos de un análisis más detallado.

103. Existen numerosas tecnologías de recuperación y regeneración. Su aplicabilidad dependerá de la forma física del metal y de su composición. Algunas tecnologías son aplicables a desechos metálicos en forma sólida y otras a desechos disueltos en agua y aguas residuales. En el cuadro 2, que aparece más abajo, se indica la gama de métodos de recuperación y su aplicabilidad a los diversos metales. La información que contiene el cuadro es indicativa y no constituye un listado definitivo o exhaustivo de opciones.

Cuadro 2: Listado de métodos de recuperación de metales y su aplicabilidad

Método de recuperación	Sb	As	Be	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Se	Te	Tl	Zn
A partir de desechos en forma sólida												
Lixiviación	✓	✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓
Desprendimiento				✓	✓	✓	✓					✓
Fundición	✓				✓	✓	✓					✓
Volatilización (térmica)		✓		✓			✓	✓				✓
A partir de desechos en forma de disolución												
Adsorción	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓				✓
Cementación						✓						
Precipitación		✓		✓	✓	✓	✓					✓
Concentración					✓	✓						
Extracción de solventes				✓		✓	✓	✓				✓

Sb = antimonio; As = arsénico; Be = berilio; Cd = cadmio; Cr = cromo; Cu = cobre; Pb = plomo; Hg = mercurio; Se = selenio; Te = telurio; Tl = talio; Zn = zinc

104. Un aspecto esencial de toda operación de recuperación y regeneración es que la misma debe realizarse en forma ambientalmente racional, lo que implica la adopción de todas las medidas factibles a fin de que los desechos peligrosos u otros desechos se manejen en forma de proteger la salud humana y el medio ambiente contra sus posibles efectos nocivos.

105. Las plantas de regeneración deben contar con un eficaz sistema de gestión que garantice la protección ambiental y sanitaria. Esas plantas pueden liberar gases nocivos [dióxido de azufre (SO₂)] en la atmósfera, generar polvos y efluentes que contengan metales y producir desechos sólidos que pueden ser peligrosos. Muchas plantas de todas partes del mundo aplican procedimientos de protección para el manejo de esas emisiones, efluentes y residuos. El sistema de gestión debe incluir todas las medidas factibles a fin de que los desechos peligrosos se manejen de modo de proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos nocivos que pueden provocar esos desechos.¹²

¹² En la decisión II/13 de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea y en H. Alter, "Environmentally Sound Management of the Recycling of Hazardous Wastes in the Context of the Basel Convention", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 29, págs. 111-130, 2000, se describen esos sistemas de gestión.

106. En el contexto de un sistema de manejo ambientalmente racional, el operador:

- Debe dedicarse profesionalmente al reciclado.
- Debe operar con pleno conocimiento y autorización de las autoridades locales competentes.
- Debe cumplir plenamente todas las normas y requisitos de información locales y nacionales aplicables (establecidas por gobiernos locales y nacionales).
- Debe mantener apropiados registros empresariales.
- Debe realizar sus transacciones sobre la base de contratos.
- Debe hacer que por lo menos un producto del proceso se reintegre al sistema económico general.
- Debe disponer lo necesario para que la tecnología y los controles de la contaminación que utiliza permitan reciclar adecuadamente los materiales de alimentación y cumplir todas las leyes y reglamentos locales aplicables.
- Debe seleccionar los materiales de alimentación de modo de cumplir especificaciones de forma y/o grado y/o el contenido de metal según lo acordado por el comprador y el vendedor.
- Debe poseer la experiencia técnica y ambiental necesaria y apropiada para operar y mantener el equipo adecuado a fin de alcanzar el (los) objetivo(s) que persigue y dotar a la planta de personal apto y adecuadamente capacitado.
- Debe manejar y almacenar los materiales conforme a un procedimiento destinado a reducir al mínimo las pérdidas para el medio ambiente, y no puede manejar los desechos peligrosos en forma especulativa.
- Debe contar con un programa de control de la liberación de contaminantes de la planta y cumplir los requisitos de comunicación de los resultados a los órganos de la infraestructura institucional gubernamental pertinentes.
- Debe manejar los residuos del proceso en forma de no crear un peligro significativo para la salud humana ni para el medio ambiente.
- Debe disponer de un plan de medidas de emergencia para accidentes y adoptar medidas apropiadas en caso de derrame o liberación accidental.
- Debe disponer de un programa de mejoramiento continuo, en la esfera interna o conforme a ISO 14000, al Sistema Comunitario de Gestión y Auditoría Mediambientales de la Comisión Europea (EMAS)¹³, Responsible Care® u otro programa reconocido.
- Debe realizar la regeneración en el marco de una infraestructura institucional gubernamental que tenga la potestad y capacidad de reglamentar los efectos ambientales del reciclado y hacer cumplir las normas reglamentarias.

107. Dentro del sistema de manejo ambientalmente racional deben considerarse y documentarse los atributos físicos y químicos de los desechos. Por ejemplo, como se señala en varios lugares en el texto que antecede, los metales en formas dispersables, como los polvos comunes o granulados, suelen representar un riesgo sanitario, en tanto que los que se presentan en formas de mayor volumen, como los productos terminados –por ejemplo láminas, planchas, vigas o varillas-- no plantean ningún o casi ningún riesgo sanitario. Unos pocos metales, como el talio y el mercurio, son peligrosos sea cual fuere su forma. Estas consideraciones determinarán algunos de los métodos y reglamentos de gestión.

¹³ <http://europa.eu.int/comm/environment/emas/>.

108. Los requisitos jurídicos de la infraestructura variarán de una operación a otra y de un país a otro, en función del nivel, las características y la complejidad del proceso de regeneración y de las condiciones locales y/o nacionales. En algunos casos, una planta – y/o su autoridad competente – pueden optar por imponer y cumplir criterios de gestión de otro país. Se ha publicado, y puede encontrarse en el sitio en Internet del Consejo Internacional de Minería y Metales, un método de manejo ambientalmente racional para la movilización transfronteriza de materiales.¹⁴

109. En el caso del plomo, las normas referentes a los lugares de trabajo son más amplias, pues establecen que los trabajadores deben ducharse y cambiarse de ropa antes de abandonar esos sitios, para no llevar polvos de plomo a sus hogares. En el sitio en Internet www.ilmc.org, del International Lead Management Center Inc., aparece orientación adicional.

110. La selección de los objetivos de control de la contaminación debe realizarse conforme a indicadores de potenciales peligros para la salud humana y al medio ambiente. En el cuadro 3, que abajo aparece, se presentan ejemplos referentes al plomo, tomados de diversas leyes y reglamentos nacionales (el cuadro no está destinado a definir límites para ninguna planta o país, sino a presentar una reseña o ejemplos de límites que se han establecido en algunos casos).

Cuadro 3. Ejemplos de objetivos de control de la contaminación para una fundición de plomo

Emisión de Pb	Típicos objetivos de control de la contaminación para Pb y dispositivos (USEPA)
Descargas de chimeneas	Licencia: < 10 mg/m ³ Nivel habitualmente alcanzable < 1 mg/m ³ Dispositivo: ciclónico seguido por detectores de tipo cámara de bolsas
Aire ambiental	Objetivos de políticas: < 1,5 µg/m ³ promediado a lo largo de 90 días Dispositivos utilizados en la fábrica para recoger material de desecho suelto y reducir emisiones fugitivas: aspiradoras, pantallas, filtros, aparato de limpieza de gases
Aire en el lugar de trabajo	Normas: 150 µg/m ³ a lo largo de un período de ocho horas Equipo de protección personal: respiradores de protección y vestimenta apropiada en los lugares en que se supera ese nivel

VII. Consideraciones ambientales y sanitarias

A. Desechos y residuos

111. Al considerar los potenciales efectos de las actividades para el medio ambiente y la salud humana debe definirse la identidad y el destino de todas las emisiones, efluentes y residuos en las plantas de recuperación, reciclado y regeneración. Como ya se señaló en el presente documento, los efectos ambientales y sanitarios de las plantas de recuperación y reciclado son reducidos; los potenciales efectos de una planta de regeneración, como una fundición, son mayores, trátase de regeneración de metal de minerales o de materiales recuperados. La mayor parte de las operaciones de reciclado y fundición disponen de controles y mecanismos de manejo del aire, el agua y los residuos. Los potenciales efectos de una planta de refundición directa, como una fundición o planta de tratamiento, son intermedios. No obstante, también esas plantas deben contar con controles, independientemente de que realicen la fundición de metales vírgenes o recuperados.

112. Si los residuos sólidos son peligrosos deben manejarse cuidadosamente. No deben dejarse en pilas descubiertas. Los residuos peligrosos deben eliminarse adecuadamente en vertederos de paredes recubiertas. Existe una amplia literatura de orientación. Véase especialmente el manual de capacitación del PNUMA, redactado especialmente para países en desarrollo¹⁵, así como <http://www.unepie.org/> y la

¹⁴ The Global Environment and Technology Foundation, “Implementing and Assuring a Practical Approach for the Environmentally Sound Management of Hazardous Metal Recyclables”, documento de trabajo (Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente, Ottawa, 2001). Véase http://www.icmm.com/html/library_publicat.php?rcd=32.

¹⁵ Programa para la Industria y el Medio Ambiente del PNUMA, Dependencia de Educación y Capacitación Ambientales y Asociación Internacional para los Desechos Sólidos y la Limpieza de las Ciudades, *The Landfill of Hazardous Industrial Wastes: A Training Manual* (Programa para la Industria y el Medio Ambiente del PNUMA París, 1993).

reglamentación de los Estados Unidos de América, que puede consultarse en <http://www.gpoaccess.gov/ecfr/>, sobre vertederos de desechos peligrosos (Título 40 del Código de Reglamentos Federales, parte 264, subparte N¹⁶).

B. Sistemas de recolección

113. Todos los aspectos técnicos de los pasos previos al reciclado, de recolección, transporte y almacenamiento, deben enmarcarse en políticas que permitan determinar los participantes y sus cometidos, y establecer incentivos económicos que garanticen su viabilidad a largo plazo. Es preciso que ese marco:

- Reduzca la generación de desechos.
- Logre la máxima recuperación de desechos en forma económica y ambientalmente adecuada.
- Amplíe el acceso a fuentes de metales internas.
- Proporcione los medios que hagan ambientalmente racionales y económicamente eficientes las operaciones de reciclado.

114. Los siguientes son algunos requisitos importantes para la aplicación de sistemas de recolección.

- Como premisa básica, la participación de los consumidores es la piedra angular de la ejecución de todos los programas. En consecuencia debe hacerse saber a los consumidores qué metales de desecho son reciclables, así como la ubicación de los centros de recolección.
- Deben prohibirse los destinos ambientalmente no racionales.
- Los centros de recolección deben estar provistos de licencia para recoger y almacenar en forma temporal los metales de desecho, debiendo disponer de apropiados lugares de almacenamiento compatibles con las presentes directrices técnicas. Debería definirse a través de la legislación un conjunto mínimo de características, pertinentes para cada país, a fin de promover, y si es necesario hacer cumplir, esas normas de protección ambiental; por ejemplo inspecciones regulares de los lugares de almacenamiento. El proceso de otorgamiento de licencias debe considerarse como un recurso y la información debe utilizarse para publicar un mapa de la red de recolección.
- Las fundiciones deberán obtener licencia y adoptar las mejores tecnologías disponibles antes de instalarse, o modificar sus procesos y/o prácticas operacionales para alcanzar altos niveles de protección ambiental. También se recomienda un control permanente de las emisiones.
- Compartir recursos en forma de consorcios puede considerarse como una solución frente a las restricciones presupuestarias, ya que esos sistemas reducen el costo de las operaciones. Si es pertinente podría establecerse un conjunto de normas que regulen esas asociaciones.

115. En todo el mundo se han creado varios modelos para la aplicación de sistemas de recolección a fin de satisfacer necesidades nacionales específicas, teniendo en cuenta las dimensiones del país, la red de transporte disponible, los impuestos locales, etc. Parece existir la tendencia general a elaborar normas legales basadas en el principio de la responsabilidad del productor, aunque son pocos los países del mundo en que están vigentes.

C. Transporte y almacenamiento

116. El transporte de desechos, y en algunos casos de los productos de recuperación de los mismos, debe realizarse conforme a los códigos de transporte pertinentes. La Reglamentación Modelo de las

¹⁶ <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&sid=efb7ed359ccab9aa376c2f6231caaf4e&rgn=div5&view=text&node=40:23.0.1.1.5&idno=40>.

Naciones Unidas sobre transporte de mercancías peligrosas (véase http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/rev13/13nature_e.html) establece buenas prácticas de transporte; la mayor parte de los países disponen de códigos o normas similares.

117. Una obligación, en el marco del Convenio de Basilea y a los efectos de un manejo ambientalmente racional, consiste en embalar y almacenar apropiadamente los desechos en una planta adecuadamente diseñada. La planta de almacenaje debe establecer precauciones contra la dispersión (por ejemplo provocada por el viento), los derrames y la combustión. Debe hacerse referencia a las normas pertinentes para el almacenaje de materiales peligrosos. En el caso de los metales pueden plantearse problemas en situaciones en que el metal o los residuos del mismo (compuestos) se presentan en forma de fácil dispersión, como polvo, y se acumulan sin adecuados medios de protección contra el viento, lo que puede llevar a que el material sea transportado fuera del lugar y se ponga en contacto con el suelo. Si la protección contra la lluvia no es adecuada y ese material acumulado se moja, el lixiviado puede correr por la superficie hasta penetrar en aguas superficiales o filtrarse hasta las aguas subterráneas. Por esa razón el lugar de almacenaje debe tener una superficie impermeable, e incluso pavimentarse.

118. Existen mayores probabilidades de lixiviación en caso de residuos que contienen metales, como desechos o escorias, que si se trata de los metales mismos. Es frecuente que queden en el suelo grandes trozos de metal sin que causen problemas ulteriores.

119. Deben etiquetarse en forma adecuada y claramente visible todos los tambores y otros contenedores de almacenamiento. Debe capacitarse a los trabajadores para que detecten y corrijan problemas de corrosión o derrames en tambores y otros contenedores, que en ningún caso deben dejarse sobre un suelo no protegido. Si se almacenan materiales que puedan corroer los contenedores, o se almacenan líquidos, la zona pavimentada debe dotarse de muros de contención, sistemas de drenaje y sumideros.

D. Medidas de emergencia

120. Debe elaborarse un plan de acción, en que se ha de capacitar a los trabajadores, para responder a emergencias o accidentes, inclusive mediante uso adecuado de equipo de protección personal. Durante el transporte pueden producirse emergencias dentro de la propia planta o fuera de ella. Debe considerarse el historial de las operaciones y determinar si se han producido accidentes o liberación no controlada de desechos en el medio ambiente. En el contexto de las medidas de emergencia deben corregirse los derrames y la inobservancia de los reglamentos.

121. En el plan debe preverse la ubicación y el suministro de equipo de emergencia en lugares predeterminados de la planta. El equipo debe incluir extintores de incendios, equipo de protección personal; por ejemplo vestimenta especial, máscaras y respiradores faciales, absorbentes de derrames y palas, según lo requieran el proceso y los materiales existentes en la planta.

122. El plan de medidas de emergencia debe garantizar la pronta reducción de todo impacto ambiental que pueda provocar un accidente. Deben realizarse las pruebas de capacitación previstas en el plan, como garantía de la inmediata aplicabilidad del mismo. Deben incluirse requisitos especiales de manejo in situ de los desechos.

123. Puede ser necesario recurrir a seguros y otros medios para disponer de fondos suficientes para financiar operaciones de limpieza o pagar indemnizaciones en caso de descargas cuando se producen accidentes en el sitio o fuera de él. Con frecuencia, el organismo regulador local podrá asesorar sobre el tipo y monto del seguro apropiado para el tipo de operación y las características de los materiales que se procesan.

124. En la mayoría de los casos el tipo de metales que se recuperan, reciclan o regeneran no planteará un peligro extremo, a menos que el metal se encuentre en forma de fácil dispersión. Algunos residuos (compuestos) son lixiviados por el agua de lluvia, aunque lentamente, y deben manejarse en forma apropiada.

125. En una planta de procesamiento de metales no ferrosos la mayor parte de los derrames pueden corregirse simplemente utilizando una escoba y una pala, porque es improbable que el producto derramado sea soluble en agua. Si lo es, se plantean problemas más graves, y evitarlos es la mejor solución.

- **Precaución: Si el material derramado es tóxico o dispersable deben observarse adecuados procedimientos de salubridad y seguridad. Aun así puede ser apropiado utilizar una escoba y una pala, pero los trabajadores deben vestir prendas y utilizar dispositivos adecuados de protección. Deben observarse todas las instrucciones que aparecen en Fichas de Seguridad de Materiales o documentos similares.**

E. Manejo ambientalmente racional

126. Ya se han mencionado algunos elementos de un sistema de manejo ambientalmente racional (en el capítulo VI, supra, se hace referencia a las plantas de regeneración ambientalmente racionales) y deben aplicarse las enseñanzas de muchas publicaciones del Convenio de Basilea. En esta sección se orienta hacia fuentes adicionales de asistencia.

127. Puede ser conveniente que el lector consulte una obra del Centro Internacional de Tecnología Ambiental del PNUMA, que si bien está orientada a los desechos municipales sólidos, asesora sobre prácticas ambientalmente racionales.¹⁷

F. Sistemas de manejo ambiental

128. Se han elaborado normas internacionales que definen elementos de sistemas de manejo ambiental y proporcionan orientación sobre su aplicación; en especial debe consultarse la serie ISO 14000, al igual que el EMAS.

129. Un sistema de manejo ambiental puede brindar seguridades de operación ambientalmente racional de una planta de recuperación de metales. Dichos sistemas constituyen instrumentos de gestión que proporcionan un conjunto coherente de estructuras orgánicas, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos que garantizan que la compañía que los utiliza aplique sistemáticamente su política ambiental.

130. El sistema de manejo ambiental puede aplicarse a cualquier tipo de organización y operación; los principios son de aplicabilidad general. Los siguientes son elementos clave de un sistema de ese tipo:

- Una política ambiental, que es un enunciado, formulado por la entidad, de sus intenciones y principios en relación con su desempeño global, y en que se presenta un marco de acción y determinación de sus objetivos y metas ambientales.
- Un claro enunciado de objetivos y metas ambientales.
- Un procedimiento de identificación de los impactos ambientales significativos suscitados por actividades existentes o programadas.
- Programas que permitan a la organización alcanzar sus objetivos y metas, inclusive a través de la definición de los cometidos del personal y los medios y el plazo dentro del cual deben alcanzarse.
- Programas que garanticen que el personal está capacitado y conoce los requisitos.
- Procedimientos de control operacional, comunicación interna y externa y control de documentos.
- Procedimientos de preparación y respuesta de emergencia.
- Procedimientos de control del desempeño y adopción de medidas apropiadas para el caso de que no se alcancen las metas de desempeño.
- Un programa de auditoría que confirme que el sistema ha sido aplicado adecuadamente y que el funcionamiento de la planta cumple todas las leyes y reglamentos aplicables.
- Examen periódico de la gestión del sistema de manejo ambiental.

¹⁷ Centro Internacional de Tecnología Ambiental del PNUMA e Instituto de Harvard para el Desarrollo Internacional, *International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Municipal Solid Waste Management* (Centro Internacional de Tecnología Ambiental del PNUMA, Osaka/Shiga, 1996).

131. Los beneficios clave que implica la aplicación de un sistema de manejo ambiental consisten en que el mismo ofrece un enfoque disciplinado en materia de manejo ambiental y da la certeza de que se identifiquen y atiendan los problemas que puedan afectar al medio ambiente.

132. Todo sistema de manejo ambiental debe incluir también un plan de cierre o clausura de la planta de que se trata. Se debe contar con un plan de corrección de efectos nocivos en edificios y suelos, y de seguridades financieras de que se realizará el cierre que corresponda en caso de que ese cierre o clausura resulte necesario.

133. La corrección de efectos nocivos para edificios y suelos es un factor importante que debe considerarse en el caso de las plantas de regeneración y refundición. También puede ser importante en las plantas de recuperación y reciclado que manejen materiales dispersables o que puedan derramarse, como los acumuladores de plomo. Esos factores ponen de manifiesto la importancia de sellar o pavimentar las zonas de almacenamiento y manejo, para evitar la contaminación del suelo.

VIII. Evaluación de impactos ambientales previstos

134. El presente capítulo se aplica casi exclusivamente a la regeneración pirometalúrgica. La información que aquí aparece será útil para los operadores y las autoridades competentes responsables de una planta existente o que programan el establecimiento de una nueva planta. Las repercusiones ambientales de esas plantas de regeneración pueden ser mucho mayores que las de una planta de recuperación o reciclado. El análisis siguiente también puede ser útil para los operadores y reguladores de fundiciones y plantas de refundición.

135. Cuando se programan operaciones de regeneración es esencial consultar a las autoridades reguladoras pertinentes y obtener los actos de aprobación necesarios. Según las características de la operación que se propone, esos actos pueden consistir en enmiendas de la licencia correspondiente a determinada operación o en un enunciado del impacto ambiental o documento equivalente en que se identifiquen y evalúen formalmente los potenciales impactos ambientales de la operación que se tiene la intención de realizar.

136. Normalmente la autoridad reguladora especificará los requisitos de la evaluación. Ésta debe incluir la identificación y evaluación de los impactos ambientales previsibles del establecimiento y el funcionamiento de la planta. Debe considerar cuestiones de selección de sitios, opciones de tecnología y gestión de la planta.

137. Las siguientes son algunas cuestiones clave que deben considerarse a los efectos de la evaluación ambiental de las operaciones de regeneración de metales:

- Transporte y almacenaje de insumos (en muchos casos desechos), y la cuestión de si pueden producirse accidentes que den lugar a la liberación de desechos peligrosos.
- Toda producción de emisiones, efluentes y residuos provocada por las operaciones de regeneración y su adecuada gestión.
- Control de las emisiones, efluentes y residuos, es decir verificación del funcionamiento adecuado y seguro de la planta y del equipo de control de la contaminación.

138. Debe prepararse un programa formal de control en que se prevean objetivos globales, metas de cumplimiento e indicadores de mejoramiento ambiental.

139. Debería aplicarse un plan de muestreo y análisis. Debe analizarse el material de alimentación para tener la certeza de que cumple las especificaciones del (de los) proceso(s) de la planta si el conocimiento del proceso o la certificación del generador son insuficientes. Deben tomarse periódicamente muestras de emisiones, efluentes y residuos para tener la certeza del cumplimiento de los reglamentos y la operación adecuada y segura del proceso y del equipo de control de la contaminación.

140. Deben llevarse registros del desempeño de la planta conforme a prácticas internacionales recomendadas de operación de plantas complejas. El examen de los registros del desempeño en materia de operación y mantenimiento evita costosos errores y liberación no deseada de sustancias en el medio ambiente.

141. Sería prudente que la planta utilizara los servicios de un laboratorio de análisis externo para realizar análisis y verificar y controlar la calidad misma. Esas entidades pueden ayudar también a confeccionar los protocolos de muestreo.

IX. Prevención de desechos y producción más limpia

142. En el presente capítulo no se tratan temas conexos importantes referentes a producción más limpia y prevención de desechos en la producción y el uso de metales --desde la extracción del mineral hasta el diseño del producto y el final de la vida útil del mismo-- sino exclusivamente a las operaciones de recuperación, reciclado y regeneración, que reducen al mínimo el volumen de desechos destinados a eliminación final y por lo tanto contribuyen a una producción más limpia.

143. El orden de prelación generalmente aceptado para el manejo de desechos comienza con la prevención y reducción al mínimo de los desechos y llega a la recuperación material, el tratamiento y la eliminación final de los desechos. Como es natural, los procesos de recuperación, reciclado y regeneración están orientados a prevenir la generación de desechos para aumentar al máximo la producción de productos. Los operadores deben tener en cuenta este hecho y examinar sus procesos para reducir al mínimo los residuos y otros desechos. No siempre es posible o económico reducir al mínimo los “desechos” provenientes de la producción, primaria o secundaria, de metales no ferrosos. Tampoco es esa siempre la decisión ambiental óptima: Los desechos de chatarra, como sus minerales primarios, se dan generalmente en forma de mezclas, y deben procesarse en una secuencia de pasos tendientes a producir “nuevos” metales o aleaciones que reingresen en el comercio. El residuo de una etapa de procesamiento es el insumo para la etapa siguiente.

144. El término “producción más limpia” se refiere a una estrategia continua, integrada y preventiva que se aplica a productos, consumo y procesos para reducir el riesgo para los seres humanos y el medio ambiente. Comprende, en especial, la noción de que se debe tratar de modificar el proceso de producción de modo de evitar o reducir al mínimo la generación de desechos. Esto da lugar a varias opciones: si bien la solución ideal puede consistir en introducir nueva tecnología y nuevos métodos que reduzcan radicalmente o eviten por completo la generación de metales de desecho y compuestos metálicos, a corto plazo sólo será posible introducir ciertos cambios, la aplicación de algunos de los cuales puede llevar años. No obstante, a través de una cuidadosa atención de los detalles, inclusive de procesos firmemente establecidos, pueden identificarse medidas relativamente simples tendientes a reducir al mínimo los desechos: modificando las condiciones operacionales puede reducirse la cantidad o mejorarse la calidad de los desechos que contienen metales, y la separación de las corrientes de desechos puede hacerlos recuperables en casos en que mezclados no lo fueran.

145. Se logran mejoras en materia de reciclado, recuperación y regeneración cuando se dan a conocer las especificaciones a las plantas manufactureras y otros productores de insumos secundarios. Si un productor de un residuo recuperable o regenerable se preocupa de cumplir las especificaciones de los compradores el residuo será mejor utilizado. No obstante, el reciclado no es siempre la opción óptima para determinada corriente de desechos, ya que, en todos los casos es preferible evitar la formación de desechos peligrosos, y en algunos casos el almacenamiento es preferible al reciclado. A este respecto se ha expresado la opinión de que se requiere un esfuerzo mundial, en diversos frentes, para ir eliminando la producción y el uso de metales tóxicos, como arsénico, berilio, cadmio, plomo y mercurio, lo que naturalmente determinaría la reducción de los desechos de esos elementos tóxicos. A través de esa labor se procuraría eliminar metales tóxicos de baterías, soldadoras, termómetros, barómetros, pinturas, etc., pero necesariamente se plantearía la pregunta decisiva de si esos metales deben reciclarse o más bien excluirse todo uso de los mismos, y por lo tanto el reciclado. En consecuencia, en lugar de construir infraestructura para reciclar mercurio, un país podría simplemente prohibir la mayor parte de los usos del mercurio y adoptar alternativas diferentes.

146. Se recomienda al lector consultar publicaciones sobre producción más limpia, como el estudio No. 7 de la serie de Informes Técnicos del PNUMA: *Audit and Reduction Manual for Industrial Emissions and Wastes*. Véase: <http://www.unido.org/doc/331372.htmls> o <http://www.emcentre.com/unepweb/>. El sitio en Internet del Convenio de Basilea también tiene vínculos con otro sitios sobre producción más limpia: <http://www.basel.int/links.htm>.

X. Potenciales peligros ambientales y su control

A. Peligros y control

147. El presente capítulo está destinado exclusivamente a dar ejemplos de potenciales peligros ambientales y su control. Es imposible hacer una lista de todos los potenciales efectos de los metales y sus compuestos en el ecosistema o en los lugares de trabajo. Muchos de ellos son específicos de lugares y/o requieren evaluaciones de riesgos. Tampoco es posible enunciar todas las tecnologías de control elaboradas en las diferentes industrias; la selección de una de ellas constituye una decisión de ingeniería y económica orientada por los reglamentos pertinentes.

148. No es posible brindar orientación específica en cuanto a límites de emisión o efluentes. Ellos varían de un país a otro en función de las condiciones ambientales y del nivel de protección que procura obtener la sociedad local.

149. Los operadores de plantas tienen cierto conocimiento de la composición de sus materiales de alimentación, productos, emisiones, efluentes y residuos. Éste es un punto de partida para determinar el riesgo de exposición a los mismos. Sólo son peligrosos para las personas cuando pueden inhalarse, ingerirse o absorberse a través de la piel. Son peligrosos para el medio ambiente cuando se descargan en niveles que superen los límites reglamentarios y si son biodisponibles para la fauna y la flora. El objetivo primordial del control consiste en prevenir el contacto con seres humanos y la biodisponibilidad para el medio ambiente. No todas las formas de metales y sus compuestos son biodisponibles; inclusive algunas que lo son no necesariamente representan un peligro si están comprendidas dentro de los límites reglamentarios.

150. Las operaciones de recuperación y reciclado, tal como aquí se describen (exceptuada la refundición) ofrecen escasas posibilidades de liberación de sustancias en el ambiente. En general se trata de operaciones sencillas y mecánicas. La regeneración y, en menor medida la refundición, pueden suscitar descargas de materiales peligrosos. Por esa razón las plantas de reciclado y refundición deben estar dotadas de equipos de control de la contaminación, mantenidos y operados adecuadamente conforme a un apropiado sistema de control ambiental.

151. En general, para describir el desecho deberá utilizarse el elemento constitutivo que está presente en una mayor concentración. No obstante, ese puede no ser el elemento constitutivo más peligroso o más perjudicial.

152. El cuadro 4, que más abajo aparece, contiene información sobre toxicidad de los metales y sobre los límites reglamentarios correspondientes a varios países. Se trata, sin embargo, tan sólo de ejemplos, ya que establecer la relación entre la composición química y la respuesta biológica no es siempre una ciencia exacta. Los valores de datos singulares, como los que se dan como ejemplos en el cuadro 4, son meros ejemplos, y no pueden tomarse como absolutos para todas las plantas de todos los países, ya que en ellos no se tiene en cuenta la exposición ni la biodisponibilidad.

153. Algunas fundiciones han notificado emisiones de dioxinas. Por lo tanto, los hornos de regeneración deben ser objeto de controles en cuanto a emisiones de dioxinas y furanos. En el anexo C del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes se mencionan las siguientes categorías de fuentes con potencial relativamente alto de formación y liberación de dioxinas y furanos en el medio ambiente:

- Producción secundaria de cobre
- Plantas de sinterización en la industria del hierro y la siderurgia
- Producción secundaria de aluminio
- Producción secundaria de zinc

En el anexo C aparece asimismo una lista de procesos térmicos en la industria metalúrgica, no mencionados arriba, entre las categorías de fuentes que también pueden llevar a la formación y liberación no intencionales de contaminantes orgánicos persistentes. El Convenio de Estocolmo ya se refiere a las emisiones de dioxinas y furanos provenientes de diversas fuentes y está preparando directrices referentes a esas emisiones.

154. Para obtener más información sobre los efectos para la salud de la liberación de sustancias de fundiciones y refinерías primarias y secundarias de cobre, y de fundiciones y refinерías primarias y secundarias de zinc en Canadá, incluidas dioxinas, véase http://www.ec.gc.ca/cceb1/eng/public/CuZn_e.html. Otra fuente útil, que contiene cierta orientación sobre el control de las dioxinas, es <http://www.jrc.org/>. En la bibliografía aparecen las fuentes de esos datos y, en algunos casos, los lugares en que puede obtenerse información adicional.

155. Los peligros de los metales y algunos de sus compuestos para el medio ambiente y los lugares de trabajo dependen del estado molecular e iónico (la especie) del metal. Por ejemplo, como ya se señaló, el cromo y muchos de sus compuestos, como el óxido de cromo verde (III), Cr_2O_3 , no son peligrosos. En ese compuesto el cromo está en estado de valencia +3. En cambio el cromo en estado de valencia +6 es altamente tóxico, carcinógeno y en determinadas formas moleculares y físicas puede ser sumamente corrosivo, por lo cual aparece en el anexo I del Convenio de Basilea. Otro ejemplo es el de determinados metales que son peligrosos como óxidos. No obstante, las escorias de esos metales, que pueden contener óxidos, ligan el óxido del metal con una complicada matriz molecular de silicatos, reduciendo así la disponibilidad del material peligroso.

156. No obstante, los metales, al igual que muchas otras sustancias, suelen ser peligrosos (por ejemplo pirofóricos) cuando se presentan en forma de finas partículas. Además, los compuestos solubles en agua pueden ser fácilmente biodisponibles, lo que aumenta la probabilidad de que sean peligrosos.

Cuadro 4. Ejemplos de indicadores de peligros potenciales

		Agua		Suelo		Vertedero	Toxicidad	Aire en el lugar de trabajo
Metales o compuestos	Agua potable ¹ (mg/l)	Protección de los ecosistemas ² (mg/l)	Residencial ³	Ambiental ³	Lixiviación ⁴ (TCLP de la USEPA, mg/l)	(DL ₅₀ , mg/kg de peso corporal) ⁵	(TWA, ⁶ mg/m ³) ⁷	
	Antimonio	0,005	-	-	-	No reglamentado	7000	0,5
Arsénico	0,01	0,05	43	30-50	5	763	0,2	
Berilio	-	-	-	-	No reglamentado	-	0,002	
Cadmio	0,003	0,2-1,8	6	0,5-10	1,0	225	0,01	
Cromo (VI)	0,05	0,002	240	200-300	5 (total)	50 (Na ₂ Cr ₂ O ₇)	0,05	
Cobre	2	0,002-0,004	113	30-200	No reglamentado	300 (CuSO ₄)	0,2	
Plomo	0,01	0,001-0,007	307	150-800	5	450 (TDL ₀)	0,15	
Mercurio	0,001	0,00001	5	2	0,2	1 (HgCl ₂)	0,05	
Selenio	0,01	0,001	-	-	1	6700	0,2	
Telurio	-	-	-	-	No reglamentado	83	0,1	
Talio	-	-	-	-	No reglamentado	6 (LDL ₀)	0,1 (piel)	
Zinc	-	0,03	430	100-350	No reglamentado	3000	1-10	

Notas: 1. Organización Mundial de la Salud (1996).

2. Directrices canadienses sobre calidad del agua para la protección de la vida acuática en aguas dulces. Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (1995).

3. Objetivos de Calidad ambiental en los Países Bajos, Dirección de Sustancias Químicas, Seguridad Externa y Protección contra las Radiaciones y el Ministerio de Vivienda, Planificación Espacial y Medio Ambiente (1994).

4. Valores del análisis TCLP (toxicity characteristic leaching procedure) de la USEPA, factor de atenuación de la dilución DAF=100.

5. Lewis (1992), LD₅₀ oral. Meramente indicativo; es probable que no todos los compuestos sean igualmente tóxicos.

6. TWA, concentración media ponderada por el tiempo en el aire cuando se calcula a lo largo de una jornada de trabajo normal de ocho horas en una semana laboral de cinco días.

7. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1994).

Notas aclaratorias para el cuadro 4

Toxicidad crónica: Un efecto tóxico que se produce tras una exposición repetida o prolongada. Los efectos tóxicos pueden producirse cierto tiempo después de cesada la exposición.

Agua potable: Los valores nacionales pueden diferir de los de la OMS. Véanse, en <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>, los estándares sobre agua potable de los Estados Unidos de América.

Protección de los ecosistemas: Los datos sobre ecotoxicidad de metales y compuestos metálicos aún no están firmemente establecidos. La OCDE aún no ha publicado sus directrices. Los metales son persistentes en el medio ambiente porque son elementos, y por lo tanto indestructibles. El bajo valor del cobre (aún no determinado firmemente en foros internacionales) es la razón por la cual los compuestos de cobre se utilizan como biocidas (el cobre debe ser biodisponible). Los valores canadienses corresponden al agua dulce y son los más bajos del mundo. La USEPA aplica diferentes criterios sobre ecotoxicidad y llega a valores más altos, que luego se corrigen mediante un factor de dureza del agua. Para el cobre, por ejemplo, el valor puede variar ampliamente, entre 1,4 µg/l y 19,6 µg/l, en comparación con los valores del cuadro 3, comprendidos entre 2 µg/l y 4 µg/l. Los valores del cobre y del zinc corresponden a alguna sal soluble de esos metales; no a los metales mismos.

Residencial: Los valores holandeses que aquí se mencionan corresponden a zonas anteriormente contaminadas, en que se han adoptado medidas correctivas, que son probablemente las más restrictivas del mundo. Cifras similares provenientes de los Estados Unidos de América pueden diferir ampliamente. Las cifras más restrictivas de los Estados Unidos se basan en ingestión crónica de suelo por parte de niños.

Ambiental: Iguales comentarios que para residencial.

Vertedero: En el procedimiento TCLP (toxicity characteristic leaching procedure) que aplica la USEPA se extrae un desecho en forma de partículas y se analiza el lixiviado. Los valores de metales seleccionados se basan en estándares de los Estados Unidos de América referentes al agua potable (niveles máximos de contaminantes), utilizándose un factor de atenuación de la dilución (DAF) de 100. Esto significa que las concentraciones del metal se basan en que el lixiviado haya sido diluido por un factor de 100. Este procedimiento está destinado a representar la lixiviación natural por los ácidos orgánicos de la descomposición anaeróbica que se produce en desechos de origen e industriales combinados en un vertedero. La cifra prudente de DAF = 100 proviene de simulaciones de computadora de la dilución y atenuación del lixiviado a medida que atraviesa el suelo y llega a fuentes de agua. El método de laboratorio para determinar el TCLP puede encontrarse en <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/sw846.htm>.

Toxicidad medida a través de LD₅₀: LD₅₀ es una medida estandarizada de expresión y comparación de la toxicidad aguda de sustancias químicas. Es la dosis que mata la mitad (50 %) de los animales sometidos a la prueba (LD = “dosis letal”). Los animales son generalmente ratas o ratones. Los valores de LD₅₀ deben interpretarse cuidadosamente. La LD₅₀ del cadmio es más baja que la del arsénico, es decir que el cadmio es más tóxico que el arsénico. La dosis es una combinación de exposición, concentración y tiempo, y un material moderadamente tóxico a una dosis alta puede ser más peligroso que un material sumamente tóxico a una dosis baja.

Aire en el lugar de trabajo: Los valores corresponden a exposición ocupacional (crónica), generalmente de ocho horas por día, 250 días de trabajo por año.

Generalidades: No siempre es fácil obtener los datos ilustrativos referentes a compuestos metálicos que probablemente se encuentran en una planta de recuperación o regeneración. Por ejemplo, se da un punto de datos para el sulfato de cobre (CuSO₄), sal de cobre sumamente soluble en agua que no representa un residuo con contenido de cobre que pueda recuperarse o regenerarse, pero que por ser soluble puede someterse fácilmente a pruebas para determinar la LD₅₀. Nótese que los valores del zinc figuran en relación con la ecotoxicidad y la limpieza del suelo. No obstante, muchos suelos del mundo carecen de suficiente zinc, y es necesario agregar ese elemento para la producción de cultivos. En el caso del zinc, los valores de LD₅₀ y TWA son altos, lo que muestra su baja toxicidad. El zinc es un elemento esencial para los seres humanos, los animales y el suelo.

No se dan datos correspondientes a límites de dioxina ni existe un amplio acuerdo mundial sobre el contenido de esos datos. Por ejemplo, varios países han establecido diferentes límites para las cargas de dioxina en los seres humanos: Estados Unidos de América 0,006, Canadá 10, los Países Bajos 4 y Alemania 1–10 pg/kg de peso corporal (p = picogramo = 10⁻¹² gramos).

B. Vigilancia

157. La vigilancia es un componente esencial de la determinación de la existencia de un riesgo ambiental que deba controlarse. A través de ella se confirma que la operación no plantea un riesgo para los trabajadores ni para el público ni afecta desfavorablemente al medio ambiente. En forma primaria se debe comenzar por determinar la seguridad de las personas y del medio ambiente en función de datos científicos y de toxicidad y límites de exposición aceptables. Luego debe establecerse qué parámetros es preciso controlar. A continuación comienza el control (vigilancia). Ésta determina exclusivamente el cumplimiento de límites establecidos. Para establecer si existe un riesgo ambiental debe realizarse una evaluación del riesgo ambiental.

158. Es relativamente fácil realizar la vigilancia de las operaciones de recuperación y reciclado. En algunos casos sólo se requiere la vigilancia de los niveles de polvo en el ambiente. La vigilancia de las plantas de regeneración es esencial y se hace cada vez más complicada a medida que ocurre otro tanto con los equipos y procesos.

159. Inclusive los metales que son bioesenciales para la salud humana, ya que perecemos si no poseemos por lo menos ciertas cantidades de los mismos, son venenosos a dosis mayores. El cobre es un ejemplo claro de metales de ese tipo. No obstante, debe tenerse en cuenta que el riesgo que presenta un metal depende de muchos factores, como su cantidad, forma y especie, y las características de la exposición. En un manejo ambientalmente racional de los metales se tendrán en cuenta todos esos factores. Como ejemplo evidente, no es necesario regular las nuevas monedas metálicas, como el euro, que se usa en general como dinero, porque se encuentran en estado sólido y no pueden ser transformadas en una forma biodisponible. Sin embargo puede ser conveniente que los gobiernos examinen los procesos de aprovechamiento de sus viejas monedas, que serán fundidas, con generación de humos, vertidas en moldes mayores y luego disueltas en ácido y recuperadas en procesos electrolíticos.

160. De todos modos debe prepararse un programa formal de vigilancia, que debe incluir objetivos, metas de cumplimiento e indicadores de mejoras ambientales. En él deberá determinarse también qué expertos han de contratarse para la vigilancia, los métodos analíticos, el plan de muestreo, el control de calidad y la garantía de calidad.

161. El registro de las operaciones de la planta forma parte del programa de vigilancia. A través de él puede detectarse la falla prematura de una unidad de control ambiental.

XI. Clausura de plantas de regeneración de metales

162. Un aspecto importante de cualquier operación de procesamiento industrial, incluida la recuperación de metales, consiste en verificar si la contaminación que se haya causado durante la operación no pone en peligro la salud humana ni el medio ambiente en una futura ocupación y uso del inmueble. Los potenciales adquirentes de operaciones y tierras realizarán entonces auditorías ambientales de debida diligencia, inclusive tomas de muestras y análisis de suelos y aguas subterráneas, para confirmar formalmente que no se ha producido contaminación o que la misma ha sido objeto de una adecuada gestión para prevenir daños futuros.

163. En general quien contamina será hecho responsable de la contaminación de tierras y aguas subterráneas, y es esencial a los efectos de las operaciones de recuperación y regeneración cerciorarse de que no se tolerará la contaminación de tierras y aguas subterráneas, o que la misma ha sido objeto de un adecuado manejo para prevenir daños futuros.

164. En el caso de los metales y los compuestos metálicos, si se ha dejado que contaminen el suelo es probable que permanezcan en éste, y su concentración se reducirá tan sólo en forma lenta a través de procesos de lixiviación y dispersión, porque esos materiales, a diferencia de los compuestos orgánicos, no son susceptibles de degradación. En general los metales no son móviles en entornos de suelos, a menos que las condiciones sean ácidas o el suelo haya sido removido físicamente, y los metales en general permanecen en las partículas de suelo que los hayan absorbido, en lugares próximos al punto en que hayan sido liberados.

165. Como parte de la clausura y suspensión de las operaciones referentes a metales y compuestos metálicos debe realizarse una evaluación formal independiente que confirme que toda contaminación de tierras y aguas subterráneas ha sido identificada y objeto de limpieza en la medida de lo necesario. En general, esas actividades tendrán como objetivo lograr que las tierras y aguas subterráneas sean adecuadas para su uso futuro. Los metales no se degradan (por ser elementos, no pueden subdividirse por medios químicos). No obstante, muchos se mineralizan en el suelo, convirtiéndose en compuestos similares al suelo mismo. En algunos casos sufren un proceso de lixiviación en entornos ácidos. Como muchos metales mineralizados, en algunos casos metales en otras formas, la

mejor manera de determinar la contaminación de un sitio es realizar una previa evaluación de riesgos específica del sitio. Si los metales no son móviles es probable que no planteen riesgo alguno ni por lo tanto den motivo a preocupación alguna.

166. En general el uso futuro de la tierra con fines industriales es el menos sensitivo, y con frecuencia, en un entorno de uso industrial de la tierra, concentraciones relativamente altas de contaminantes metálicos, no existiendo polvos, no afectan desfavorablemente a la salud de los trabajadores ni a la comunidad. Otros usos de la tierra, como la residencial, son más sensitivos, siendo mayor la ingestión incidental de suelo y estando expuestos los niños, y los efectos potenciales para la vida de las plantas pueden también ser un factor limitante. Si existe la posibilidad de que la tierra contaminada con metales y compuestos metálicos vaya a ser rezonificada para hacer posible usos más sensibles, se requieren cuidados especiales que garanticen la ausencia de contaminación.

167. Cuando se ha producido contaminación de suelos o se han eliminado materiales de desecho (como en un repositorio in situ) debe prepararse y aplicarse un plan de manejo que garantice que el material sea objeto de un adecuado manejo en el futuro. Deben establecerse mecanismos que garanticen la observancia del plan por el tiempo que sea necesario, así como procedimientos o métodos de notificación que garanticen que los futuros operadores o propietarios del sitio de recuperación o del sitio de la planta de eliminación conozcan los problemas de la contaminación y realicen las actividades de gestión necesarias. Puede exigirse que los operadores, para obtener permisos, dispongan por anticipado de planes de actividades posteriores a la clausura.

168. La formación de reservas financieras adecuadas es esencial para que la suspensión de las operaciones se realice mediante prácticas óptimas. Ese mecanismo financiero es necesario como garantía de disponibilidad de suficientes fondos para la clausura de una operación y para que los costos de clausura no se convierten en una carga en años futuros, cuando quizá estén disminuyendo los ingresos. Los procedimientos de clausura deben reflejar también el costo real de la misma, requisito importante porque ese costo puede aumentar considerablemente los costos globales del proyecto y por lo tanto el umbral de factibilidad. En algunos casos extremos, costos imprevistos vinculados con la interrupción de las operaciones pueden superar con creces los beneficios financieros logrados a lo largo de la vida de un proyecto.

169. La planificación de la clausura permite a las compañías conocer sus costos potenciales en una etapa temprana de la vida de la planta. La formación de reservas financieras puede iniciarse en la etapa de planificación teórica de la clausura, pero puede ser sumamente imprecisa, ya que es difícil prever los costos. No obstante, la labor inicial de estimación de costos ayuda a las compañías a centrar la atención en los aspectos de la interrupción de las operaciones en que es mayor la incertidumbre sobre los resultados. Esto permite establecer prioridades para la futura labor y para las investigaciones que hayan de realizarse para definir mejor los resultados necesarios y por lo tanto los costos a lo largo de la vida de la operación.

Anexo I

Glosario

Ceniza – a) Materiales que quedan como residuos de procesos pirometalúrgicos, como combustión de carbón o incineración de películas fotográficas, tableros de circuitos, alambres de cobre, etc., que pueden reciclarse para aprovechar su contenido de metales no ferrosos.

b) Capa superior del metal fundido, como el plomo y el zinc que se han oxidado en contacto con el aire. Al ser espumada, la ceniza es una mezcla limpia del metal y su óxido, y por lo tanto un material adecuado para el reciclado.

Masa sin prensar – Lodo al que se ha quitado el agua, descargado de una prensa de filtro o un dispositivo similar, que en general contiene entre un 25% y un 35% (m/m), aproximadamente, de sólidos secos.

Producción más limpia – La estrategia continua, integrada y preventiva aplicada a productos, al consumo y a procesos, para reducir el riesgo para los seres humanos y el medio ambiente.

DAF – factor de atenuación de la dilución

Desechos – Óxidos metálicos que flotan o se forman en la superficie del metal fundido.

Purificación – Proceso de remoción de impurezas, consistentes en óxidos, etc., que se forman en la superficie del metal fundido. Las impurezas generalmente se extraen mediante espumado de la superficie del metal, para lo cual se utilizan herramientas de arrastre de mango largo.

Polvo – Partículas finas de materia. En la metalurgia de polvos, un polvo superfino que generalmente consiste en partículas de diámetro inferior a un micrómetro.

Ecosistema – Un sistema natural, ambiental, definido por parámetros sensibles que sólo pueden preservarse manteniéndolos cuidadosamente dentro de límites de supervivencia

Canaletas – El sistema de canales a través del cual se llena un molde, incluido el mazarote; el metal que se solidifica dentro de los mismos.

Chatarra de origen – Materiales de chatarra generados in situ que no contienen pinturas ni recubrimientos sólidos.

No dispersable – Fijo e inmóvil en la forma existente; se dice, por ejemplo, de un metal sólido.

Chatarra de planta – Véase chatarra de origen.

Polvo granulado – Sustancia constituida por agregación de pequeñas partículas, cualquier material seco en estado de gránulos finos.

Chatarra pronta – Chatarra que resulta de operaciones de manufactura o fabricación.

Regeneración – Proceso metalúrgico, usualmente pirometalúrgico, pero hidrometalúrgico para algunos metales y procesos, en virtud del cual el metal recuperado o reciclado es purificado y refundido, o refinado en una forma que pueda usarse del mismo modo que los metales vírgenes.

Recuperación – Proceso de toma de objetos metálicos o con contenido metálico y piezas metálicas antes de que lleguen a la corriente de desechos o sean extraídos de la misma.

Operación de recuperación – Proceso en virtud del cual materiales que ya no son apropiados para la finalidad a la que estaban originalmente destinados se transforman de modo que adquieran un estado utilizable, o por el cual los materiales se extraen en forma utilizable.

Reciclado – a) Preparación de objetos y piezas recuperados para que puedan utilizarse en forma directa (por ejemplo en refundición directa) o enviados con fines de regeneración.

b) Serie de actividades, incluidas las de recolección, separación y procesamiento, en virtud de las cuales se recuperan productos u otros materiales de la corriente de desechos sólidos para su utilización en forma de materias primas a los efectos de la fabricación de nuevos productos, salvo como combustible para la producción de calor o energía eléctrica mediante combustión.

Residuo – Sobrante.

Chatarra de producción – materiales de chatarra generados in situ mediante fundición, extrusión, laminado, separación, forjado, moldeo/estampado, corte y recorte, y que no contienen pintura ni revestimientos sólidos, pero no materiales de chatarra generados mediante torneadura, perforación, laminado y similares operaciones de maquinado, que se realimentan directamente en la operación.

Escamas – El producto de oxidación que se da en una superficie metálica en un proceso de calentamiento en una atmósfera sin protección.

Espumado – Véase purificación.

Escoria – El material que se forma por fusión de elementos constitutivos de una carga o de productos formados por las reacciones entre materiales refractarios y fundentes en el curso de procesos metalúrgicos. Puede ser un tanto vítreo en apariencia y flota como masa derretida en la superficie del metal derretido en el horno.

Lodo – Los sólidos asentados acumulados separados de diversos tipos de agua como resultado de procesos naturales o artificiales.

Fundición – Un lugar o establecimiento en que se funden minerales.

Mazarote – Un canal vertical a través del cual se llena un molde; el trozo de metal que se solidifica en el mismo.

Sublimación – La conversión, por calor, de un sólido en vapor, sin pasar por el estado líquido.

Horno de exudación – También conocido como crisol seco. Separa los metales mediante fusión aprovechando sus diversos puntos de fusión.

TCLP – Siglas en inglés de toxicity characteristic leaching procedure, procedimiento de análisis del lixiviado utilizado por la USEPA

TWA – Siglas en inglés de concentración media ponderada por el tiempo en el aire

Volatilización – Evaporación de una sustancia del estado líquido, con una tasa de volatilización que generalmente se incrementa aumentando la temperatura o reduciendo la presión.

Desechos – Sustancias u objetos que se eliminan, se procura eliminar o es obligatorio eliminar en virtud de disposiciones de la legislación nacional.

Anexo II

Referencias y bibliografía

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (1994), Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices 1994, ACGIH, Cincinnati, Ohio.

Campbell, M. C. (1996) 'Non-Ferrous Metals Recycling', CIME, disponible en http://www.icmm.com/html/pubs_intro.php.

Dalrymple, C.W. (1995), Heavy Metals in Industrial Wastewater, PE Hydrologics Inc 101 S Platte Drive, Englewood, Colorado.

Gilbert y Ramachandran (1995) 'Treatment and minimization of heavy metal containing wastes', artículo publicado en Proceedings, dirigido por J.P. Hager y otros, The Minerals, Metals and Materials Society.

Henstock, M. (1996) 'The Recycling of Non-Ferrous Metals', CIME, disponible en http://www.icmm.com/html/pubs_intro.php.

Organización Internacional de Normalización. (1996), ISO 14001 - Environmental Management Systems - Specification with Guidance for Use.

Organización Internacional de Normalización. (1996), ISO 14004 - Environmental Management Systems - General Guidelines on Principles, Systems and Supporting Techniques.

Organización Internacional de Normalización. (1996), ISO 14010 - Guidelines for Environmental Auditing - General Principles of Environmental Auditing.

Organización Internacional de Normalización. (1996), ISO 14011.1 - Guidelines for Environmental Auditing - Audit Procedures - Part 2 - Auditing of Environmental Management Systems.

Organización Internacional de Normalización. (1996), ISO 14012 - Guidelines Environmental Auditing - Qualification Criteria for Environmental Auditors.

White, C.V. y J.P. Hager, (1996), Departamento Metalúrgico y de Materiales, Ingeniería, Colegio de Minas de Colorado, Golden, Colorado.

Anexo III

Otras referencias útiles

Para obtener información general sobre metales:

- International Council on Mining and Metals (ICMM), 3rd Floor, 19 Stratford Place, London W1C 1BQ, United Kingdom, Teléfono +44 20 7290 4920, correo electrónico info@icmm.com; sitio en Internet <http://www.icmm.com>
- Australian Mineral Foundation – sitio en Internet <http://www.amf.com.au/amf>

Para obtener información relacionada con terminación de metales:

- Metal Finishing Guidebook and Directory (publicación anual)
- Transactions of the Institute of Metal Finishing (publicación bimensual), Exeter House, 48 Holloway Head, Birmingham B1 1NQ, Reino Unido (correo electrónico [<ukfinishing@dial.pipex.com>](mailto:ukfinishing@dial.pipex.com))
- Plating and Surface Finishing (publicación mensual), AESF/NAMF/MFSA, Government Relations Office, 2600 Virginia Ave, NW, Suite 408, Washington, D.C., 20037, Fax 202/965-4037

Para obtener información sobre metales específicos:

- Antimonio, arsénico, selenio y telurio: Minor Metals Symposium, Mining, Metallurgy and Exploration. (2000)
- Selenium: Tailings and Mine Wastes 95, Proceedings of the 2nd International Conference, Universidad del Estado de Colorado, Departamento de Ingeniería Civil

Para obtener información referente a salubridad y seguridad ocupacional:

- Instituto Nacional de Seguridad y Salubridad Ocupacionales, Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, Imprenta Oficial del Gobierno de los Estados Unidos.

Para obtener información sobre los efectos ambientales de metales y compuestos metálicos:

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América: <http://www.epa.gov>

Para obtener información sobre los efectos de metales y compuestos metálicos en la salud humana:

- Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int>

Para obtener información sobre producción más limpia:

- Journal of Cleaner Production (publicación trimestral), Elsevier Science Ltd, PO Box 800, Oxford OX5 1DX, Reino Unido. Fax +44 1865 853333.

Anexo IV

Sitios en Internet

<http://www.amm.com/ref/glossary.htm>. The American Metal Market - Glosario de términos técnicos y especializados.

<http://www.jrc.org/>. Centro Común de Investigación de la Comisión Europea.

<http://www.bir.org/>. Bureau for International Recycling.

www.isri.org. Institute of Scrap Recycling Industries.

www.ilmc.org.

www.unctad.org. Código de las Naciones Unidas sobre Transporte de Mercancías Peligrosas.

<http://www.pacificraremetals.com/>.

<http://www.namf.org/>.

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity>.

www.ilzsg.org. Grupo Internacional de Estudio sobre el Plomo y el Zinc.

<http://www.chromium-asoc.com>

<http://www.un.org/Pubs/whatsnew/e99rtd.htm>. Métodos de embalaje de conformidad con UNCTG.

www.metalbulletin.co.uk. The Metal Bulletin.

<http://www.amm.com/>. The American Metal Market.

<http://www.jrc.org>.

<http://www.icmm.com/>. Consejo Internacional de Minería y Metales.

<http://www.unepie.org/>. Programa del PNUMA para la Industria y el Medio Ambiente.

<http://www.unep.or.jp/ietc/>. Centro Internacional de Tecnología Ambiental del PNUMA.

<http://www.iso.ch/>. Organización Internacional de Normalización.

<http://europa.eu.int/comm/environment/emas/>. Sistema de Gestión y Auditoría Medioambientales de la Comisión Europea.

<http://www.unido.org/doc/331372.htmls> o <http://www.emcentre.com/unepweb/>. Estudio No. 7 de la serie de Informes Técnicos del PNUMA.

http://www.ec.gc.ca/cceb1/eng/public/CuZn_e.html.

<http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>. Estándares de agua potable de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/sw846.htm>. Método de laboratorio para el TCLP.

<http://www.amf.com.au/amf>. Australian Mineral Foundation.

<http://www.epa.gov>. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

<http://www.who.int>. OMS.

www.eippcb.jrc.es. European Centre for Best Available Technology.

<http://www.basel.int/links.htm>. Página de vínculos de la Convención de Basilea, en que se presentan varios sitios referentes a una producción más limpia.

www.basel.int

Secretariat of the Basel Convention

International Environment House
15 chemin des Anémones
1219 Châtelaine, Switzerland
Tel : +41 (0) 22 917 82 18
Fax : +41 (0) 22 797 34 54
Email : sbc@unep.org