

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS EN EUROPA: EL PROBLEMA DE LOS LODOS

Miguel Vega
Laurent Bontoux
Demóstenes Papameletiou

Introducción

La tecnología más común para el tratamiento de aguas residuales municipales, aplicada en Europa es el proceso de los lodos activos, un proceso biológico que consume grandes cantidades de energía y genera grandes cantidades de lodos orgánicos. Estos lodos, separados del agua tratada en la última etapa del proceso, contienen más del 90% de agua y son altamente biodegradables. Hasta ahora, las principales vías de eliminación han sido transportar los lodos a **vertederos, esparcirlos en la tierra, verterlos al mar** (sobre todo en el Reino Unido) e **incinerarlos**.

Sin embargo, los tiempos cambian y están apareciendo restricciones sobre todas las vías de eliminación de los lodos. Una legislación sobre eliminación de residuos más restrictiva, junto con la preocupación por los posibles riesgos medioambientales y sanitarios que conlleva esparcir los lodos en tierras de cultivo, están haciendo más agudo el problema de la eliminación de los lodos. Simultáneamente, continúan construyéndose instalaciones de tratamiento de aguas residuales con lodos activos, en cumplimiento de la directiva sobre aguas residuales, y, previsiblemente, continuarán funcionando como *"fábricas de lodos"* a largo plazo, con una producción imparable. Es, por tanto, esencial encontrar modos de eliminación factibles, seguros y sostenibles para los lodos residuales.

Las restricciones que se están proponiendo sobre el transporte a vertederos pretenden excluir todo residuo orgánico de esta vía de eliminación. Potencialmente, la opción más atractiva sería esparcir los lodos en terrenos agrícolas porque podrían re-

ciclar nutrientes y ser útiles desde el punto de vista agronómico. Sin embargo, debido a los procesos físico-químicos que intervienen en el método de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales, el lodo tiende a concentrar trazas de metales pesados y compuestos orgánicos, poco biodegradables (por ejemplo, plaguicidas, productos químicos domésticos, etc.) presentes en las aguas residuales. Ello suscita problemas tanto para el medio ambiente como para la Salud pública. Otro problema sería la existencia de suficiente terreno agrícola en las proximidades de los centros de producción de lodos para evitar gastos de transporte.

Dada esta falta de seguridad total, hay una creciente resistencia de los agricultores a esparcir lodos en sus tierras. Cada vez más *"nichos de mercado"* (por ejemplo, alimentos sanos, alimentos para niños, conservas vegetales) exigen expresamente a sus proveedores que prohíban el uso de lodos residuales.

Lo que a menudo se pasa por alto es el coste del manejo de las grandes cantidades de lodos producidas por las grandes instalaciones de tratamiento necesarias para tratar enormes volúmenes de aguas residuales, y cómo se pueden manejar los lodos de forma segura, práctica y sostenible. En algunos casos, su tratamiento y eliminación suponen hasta la mitad de los costes globales del tratamiento de aguas residuales.

Se precisa una nueva y seria reconsideración del problema. Hay que alcanzar estándares de calidad para los lodos que se esparcen en la tierra y se han de considerar tratamientos y técnicas de eliminación alternativos para otros tipos de lodos. Ello subraya, una vez más, la necesidad de una buena coordinación entre los distintos sectores de la política europea de medio ambiente.

El proceso de lodos activados y sus productos

El concepto de *"tratamiento secundario"* de las aguas residuales se basa en el proceso de lodos activos en el que la materia orgánica de las aguas residuales se oxida y se transforma en biomasa microbiana, mediante una amplia gama de organismos. El proceso se lleva a cabo generalmente en un gran tanque aireado, donde las aguas residuales y los microorganismos permanecen en contacto durante algunas horas. La mezcla fluye después a un tanque de decantación, donde los coágulos microbianos (agregados) se precipitan en el fondo y el agua residual tratada fluye por el desagüe. Los coágulos acumulados en el fondo se extraen después en forma de lodo: una parte se recicla al tanque de aireación, para mantener el proceso, mientras que el exceso de lodo, producido por el crecimiento microbiano, debe ser eliminado.

En la mayoría de los casos, el proceso va precedido de una decantación primaria, que también genera lodos orgánicos aunque de naturaleza ligeramente diferente. Estos lodos primarios se deben eliminar conjuntamente con el exceso de lodos secundarios. Otro factor importante es que la calidad de los lodos no es constante al variar según las características de diseño de cada instalación, el tipo de aguas residuales tratadas, las industrias que las producen, la época del año, la climatología, la situación de la instalación, etc. La eliminación de este exceso de lodos constituye el tema de este artículo.

La Directiva del **Consejo de la UE** sobre tratamiento de aguas residuales urbanas (91/271/EEC) exige que, lo más tarde a finales de 2005, cada núcleo urbano de más de 2.000 habitantes que realice vertidos a aguas superficiales y estuarios, y cada núcleo urbano de más de 10.000 habi-

tantes que lo haga a aguas costeras, aplique, al menos, un tratamiento secundario a sus aguas residuales, antes del vertido.

Para cumplir esta directiva, la mayoría de los municipios escogen la bien conocida tecnología de lodos activos, debido a tres motivos principales: su carácter compacto, su fiabilidad y su eficacia (si se realiza y mantiene de forma adecuada). Sin embargo, esta tecnología produce grandes cantidades de lodo. La estimación actual para la UE es de 6,5 millones de toneladas al año y se espera que esta cifra alcance los 15-20 millones de toneladas para 2005. Los correspondientes aumentos en cada estado miembro de la UE van del 40 al 300%.

Los lodos residuales se deben tratar para facilitar su manejo y evitar posibles problemas, desde el olor a los agentes patógenos. Estos tratamientos modifican las propiedades de los lodos haciéndolos más adecuados para su reutilización o eliminación. Entre estos procesos caben citar: espesamiento, desinfección, estabilización, acondicionamiento, desecación, secado final, *composting* y otros. Después de tratar los lodos se obtienen los siguientes productos: lodos líquidos (estabilizados o no), lodos sólidos (estabilizados o no), lodos desecados y compost. El coste del tratamiento y eliminación de los lodos supone hasta la mitad del coste total del tratamiento de aguas residuales y probablemente aumentará debido al endurecimiento de la legislación europea.

A causa de las características físico-químicas del proceso de lodos activados, el lodo tiende a acumular una serie de metales y compuestos orgánicos. Esta propiedad es una ventaja cuando se considera la calidad del agua residual tratada pero hace que la calidad del lodo dependa, fundamentalmente, de cuatro grupos de contaminantes principales:

Metales

Principalmente zinc, cobre, níquel, cadmio, plomo, mercurio y cromo. Su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su biomagnifica-

ción en la cadena alimentaria suscitan preocupaciones tanto medioambientales como sanitarias. **Los metales están siempre presentes, en concentraciones bajas, en las aguas residuales domésticas**, pero las concentraciones preocupantes son sobre todo las que se encuentran en las aguas residuales industriales.

Nutrientes importantes

Son el nitrógeno y el fósforo. Su peligrosidad radica en su potencial de eutrofización para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar como fertilizantes valiosos, y su principal valor para la Agricultura reside en su alto contenido en materia orgánica. En las áreas sensibles identificadas, la directiva sobre aguas residuales exige un tratamiento terciario de éstas (eliminación de los nutrientes). Estos tratamientos también producen lodos, siempre con alto contenido en nutrientes y de distinta naturaleza según el proceso utilizado.

Contaminantes orgánicos

Los plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensoactivos y muchas otras moléculas orgánicas complejas (generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción) tienden a acumularse en los lodos. Incluso están presentes en los lodos residuales hidrocarburos aromáticos polinucleares procedentes de la combustión de los combustibles fósiles. Todos ellos son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y, en particular, sobre la salud humana. Una característica específica de este tipo de contaminantes, en comparación con los dos anteriores, es su (variado) potencial de biodegradación.

Muchas de estas moléculas tienen un potencial de biodegradación lento pero significativo. Por tanto, los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales, con tiempos de residencia más largos, tendrán mayor capacidad para biodegradar estos compuestos indeseables. La biodegradación también puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra.

El Grupo de Trabajo de la OMS sobre riesgos para la salud de los productos químicos presentes en los lodos residuales aplicados a las tierras llegó a la conclusión de que *"la absorción total por el hombre de contaminantes orgánicos identificados procedentes de la aplicación de lodos a las tierras de cultivo es poco importante y probablemente no causará efectos adversos para la salud"*. Sin embargo, a pesar de que cada vez se investiga más, el papel ecotoxicológico de los contaminantes orgánicos en el sistema suelo-planta-agua y en la cadena alimentaria está aún poco claro.

Agentes patógenos

Los agentes patógenos más importantes que existen en el agua y que se han encontrado en los lodos son las bacterias (como la *Salmonella*), los virus (sobre todo, enterovirus), los protozoos, los trematodos, los cestodos y los nematodos. Como resultado, para que cualquier vertido de los lodos sea seguro se precisa la eliminación, o al menos una inactivación suficiente, de estos agentes patógenos. A este fin, se pueden aplicar a los lodos una serie de tratamientos, como la pasteurización, la digestión

Figura 1.
Eliminación de lodos residuales en la UE



aerobia o anaerobia, el *composting*, la estabilización con cal, el almacenamiento en estado líquido y la desecación y el almacenamiento en seco.

Vías de eliminación

Las vías tradicionales de eliminación de lodos son las siguientes:

Transporte a vertederos

Durante las últimas décadas, el transporte a vertederos ha sido (y continúa siendo, véase figura 1) una vía de eliminación de los lodos ampliamente utilizada. Sin embargo, la nueva propuesta de Directiva del Consejo sobre transporte de residuos a vertederos está cambiando esta situación. Dicha propuesta pretende reducir gradualmente, hasta 2010, la cantidad total de residuos biodegradables que se llevan a los vertederos a menos del 25% de la cantidad total (en peso) de los residuos urbanos biodegradables producidos en 1995. Tan fuerte reducción probablemente no será aceptada al final (se ha propuesto una cifra del 35%), pero la tendencia general está marcada.

Aplicación en tierras de cultivo

Con frecuencia, la aplicación de lodos residuales a tierras de cultivo es, posiblemente, el método de eliminación más barato. Se puede comparar con lo que se hace tradicionalmente con una amplia gama de residuos orgánicos que se esparcen en las tierras de cultivo, como el estiércol o los residuos de ganadería. Ofrece una oportunidad para reciclar nutrientes de las plantas y materia orgánica beneficiosos para las cosechas. Además, parece que, en muchos casos, la aplicación de los lodos al suelo puede mejorar las propiedades físicas de éste, aumentando la productividad.

Sin embargo, hay que tener cuidado de que los contaminantes químicos o patógenos presenten en los lodos no produzcan efectos adversos. Por ejemplo, las concentraciones de metales pesados en los lodos suelen ser mayores que las que existen en el suelo, y estos elementos pueden quedar retenidos indefinidamente en las capas de suelo cultivadas. Por tanto, **las aplicaciones repetidas de lodos**

aumentarán gradualmente el contenido en elementos traza del suelo.

Según la tasa de aplicación de los lodos y las concentraciones de los metales, se puede calcular el tiempo (generalmente de 70 a 80 años) en que se alcanzarán las concentraciones máximas permisibles de cada elemento en el suelo. Pasado este período, los lodos no se pueden aplicar más, de forma segura. Zn, Cu y Hg son los principales elementos que limitan el reciclado de lodos en las tierras de cultivo, mientras que el Cd suscita problemas específicos debidos a su toxicidad y a su movilidad variable.

La **Capacidad de Intercambio Catiónica (CIC)** es la principal propiedad del suelo que controla la retención y la toxicidad de los metales en un suelo tratado con lodos. En consecuencia, las normativas sobre aplicación de lodos a tierras de cultivo deben establecer límites diferentes para los metales tóxicos. La CIC depende del pH, del contenido en materia orgánica y de la textura del suelo. Sin embargo, la capacidad de absorción de las plantas depende de las propiedades del suelo y de las prácticas agrícolas. **Los productos que presentan más riesgo de acumulación son las espinacas, los apios, las lechugas y las zanahorias.**

Incineración

Aunque sea el sistema más caro, se usa con frecuencia simplemente porque reduce el volumen de lodos en más del 90% y produce una ceniza principalmente mineral (<5% de materia orgánica) que se puede transportar a vertedero. A pesar de que presenta problemas medioambientales específicos, es de esperar que la incineración aumente debido a las restricciones sobre el contenido en materia orgánica del material que se lleva a los vertederos.

Vertido al mar

El vertido de los lodos al mar ha sido una de las vías más populares en el Reino Unido y en España fue prohibido a principios de 1999. El riesgo de que se repitan problemas como el asunto *Minamata*, en el que cientos

de personas se vieron afectadas por concentraciones excesivas de metilmercurio en los alimentos marinos, ha llevado a prohibir este sistema. El problema en cuestión fue el potencial de biomagnificación de ciertos elementos presentes en los lodos.

Todos los países europeos han utilizado estas vías de eliminación en diversos grados.

Existen ya, o se están desarrollando, otras **vías alternativas** de eliminación que pueden dividirse en las cuatro categorías siguientes:

Aplicación a la tierra

El bajo contenido en materia orgánica (natural o debido a pérdidas) es un grave problema para asegurar el mantenimiento de buenas propiedades de retención de agua en el suelo. Los sólidos de los lodos se pueden utilizar para mantener, restaurar o crear fertilidad en el suelo, así como una estructura adecuada del suelo, en tierras degradadas. Como ya se ha mencionado, los metales pesados pueden tener efectos perjudiciales sobre las cosechas y sobre la salud humana si se deja que se acumulen más allá de los límites de seguridad establecidos. **Los riesgos potenciales son menores en los suelos de zonas áridas** porque son sobre todo alcalinos y disminuyen la absorción por los productos agrícolas de muchos elementos, como los metales pesados. En 1995 se puso en marcha un importante estudio sobre reutilización de lodos, financiado por el **Banco Europeo de Desarrollo**, en el marco del *Programa Mediterráneo de Asistencia Técnica Medioambiental* promovido por la **Cairo Wastewater Organization**.

La siveicultura tiene un enorme potencial para absorber lodos en el futuro. Su principal ventaja es que puede exigir normativas menos estrictas que las aplicaciones en Agricultura. Sin embargo, esta vía de eliminación dependerá en gran medida de un apoyo normativo adecuado.

Recuperación de energía

La construcción de la primera instalación de petróleo a partir de lodos, a escala comercial, comenzó en Aus-

tria. El proceso imita a la Naturaleza, convirtiendo termoquímicamente el lodo en petróleo, alquitrán, gas y agua. El petróleo producido es similar a un combustible destilado medio y se puede utilizar para motores de combustión tanto interna como externa. El alquitrán y el gas se queman para secar el lodo antes del tratamiento en el reactor de conversión.

La digestión anaerobia de los lodos se utiliza ya ampliamente por su capacidad para producir gas metano (para la producción de energía) y un lodo más estable, fácil de desecar. Importantes tendencias en la digestión anaerobia, de cada a la reactivación del proceso de digestión son: el tratamiento con ultrasonidos y una centrifugación especial, para espesar los lodos antes de la digestión.

Recuperación de productos minerales

En Japón, la legislación más reciente limita el transporte a vertedero de las cenizas que contengan metales pesados (como la procedente de incineradoras). Ello ha conducido al desarrollo de la tecnología de "fusión de los lodos", proceso que vitrifica el lodo en una cámara de combustión a 1.400 °C, lo que estabiliza y disminuye al mínimo el volumen ocupado por el lodo, al tiempo que ofrece posibilidades para reutilizarlo como material de construcción (cemento, vidrio, cerámica, escoria cristalizada, etc.).

En Europa, existen ya ejemplos de utilización de lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales en hornos de cemento. Sin embargo, está apareciendo una nueva aplicación: la fabricación de ladrillos para construcción, utilizando lodos. En España se inició en 1998 un primer proyecto industrial, a escala real, que consume unas 18 toneladas de lodos sólidos para producir 200 toneladas de ladrillos.

Compostaje

El *compostaje* de lodos para incorporarlos a mezclas de suelos con destino a la jardinería urbana puede ser una vía importante de eliminación de los sólidos de los lodos. Sin embargo, **estos productos no están permitidos para la jardinería doméstica** y no se pueden vender en sacos al pú-

blico en general. Hay también otra tecnología prometedora, el vermicompostaje: los desarrollos efectuados en una serie de instalaciones en Polonia han demostrado la eficacia de las lombrices de tierra para degradar los lodos no tratados, convirtiéndolos en un material inodoro, parecido al *humus*, de gran valor como nutriente agrícola.

Producción de menos cantidad de lodo con procesos alternativos

Existen otros procesos biológicos, distintos de lodos activados, que permiten un tratamiento secundario de las aguas residuales: filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, canales de oxidación, estanques, etc. Todos producen lodos pero en cantidades más pequeñas que el proceso clásico de lodos activos. Cada uno tiene características específicas y ninguno puede reemplazar por completo al proceso de lodos activos. Sin embargo, se les debe prestar más atención a la hora de elegir una nueva instalación de tratamiento de aguas residuales, en los casos en que la eliminación de los lodos constituya un problema. En el proceso de lodos activados, una carga orgánica baja dará lugar a una menor producción de lodos que una carga orgánica alta.

También se han propuesto otras soluciones. En Japón, un prototipo a escala real de una instalación de lodos activados ha estado funcionando con éxito durante nueve meses sin producir un exceso de lodos. Esto se ha conseguido ozonizando una parte de los lodos activados recuperados en la instalación de tratamiento de aguas residuales, aumentando biodegradabilidad y estimulando la oxidación biológica en el tanque de aireación.

Normas de calidad

Desde luego, a cada vía de eliminación debe corresponder un conjunto de normas de calidad de los lodos. Hasta ahora, sin embargo, **la única opción para la que existen normas a nivel europeo es la aplicación de los lodos a tierras de cultivo**. Dichas normas están contenidas en la Directiva Europea 86/278/EEC, sobre la

protección del medio ambiente, y en particular del suelo, cuando se utilizan lodos residuales en Agricultura.

La directiva limita la cantidad total de ciertos metales pesados, en función del pH del suelo. Sin embargo, contiene sólo requisitos mínimos, que permiten medidas nacionales más estrictas. Una evaluación global del proceso de aplicación de lodos a las tierras de cultivo debe comprender aspectos tales como la salud humana, rendimiento de las cosechas, salud animal, calidad de las aguas subterráneas, calidad de las aguas superficiales, calidad del aire, fertilidad del suelo y los ecosistemas naturales. Por tanto, sería deseable ampliar la directiva, especialmente a otros contaminantes como el cromo, selenio, arsénico, fluoruros, molibdeno, cobalto, dioxina, PCB, AOX, PAH, disolventes clorados y otros productos químicos orgánicos. También se podría complementar con un *Código de prácticas* para la utilización de lodos residuales en Agricultura, medida ya tomadas por el Gobierno británico y reclamada por la Directiva europea sobre nitratos (91/676/EEC).

La Directiva 86/278/EEC limita los índices de concentración de metales pesados, tanto en los lodos residuales como en el suelo (Tabla 2).

A pesar de que en Alemania y en Dinamarca se han establecido ciertos límites para productos orgánicos (por ejemplo, dioxina, PCB, AOX), la legislación europea actual sobre lodos residuales no prevé límites para contaminantes orgánicos traza ni en los lodos ni en los suelos. Sin embargo, la **Agencia de Protección Medioambiental** de EEUU ha seleccionado 18 contaminantes orgánicos para una ulterior evaluación mediante análisis de riesgos en la exposición medioambiental. Los criterios de selección han sido la frecuencia de aparición, la toxicidad para el agua, la fitotoxicología, los efectos sobre la salud humana, los efectos domésticos y en la Naturaleza y la absorción por las plantas.

La información científica disponible apoya la conclusión de que es improbable que se produzcan efectos perjudiciales para la salud humana,

derivados de la utilización de lodos en Agricultura. Los principales metales pesados que pueden ser peligrosos son Cd, Pb y Hg. El Pb y Hg no se absorben en absoluto en los cultivos y, por tanto, no plantean riesgos en la ingestión de productos alimenticios cultivados en suelos a los que se han aplicado lodos. Por su parte, el Cd atraviesa la barrera suelo-planta y puede acumularse en los cultivos en concentraciones que podrían ser potencialmente peligrosas.

La aplicación de lodos a las tierras de cultivo pretende obtener las máximas ventajas de la capacidad del suelo para asimilar, atenuar y detoxificar a los contaminantes. La **Organización Mundial de la Salud (OMS)** opina que, cuando la aplicación se realiza adecuadamente, se puede conseguir que la acumulación de contaminantes en el suelo no alcance niveles peligrosos para la salud.

La contaminación de las aguas subterráneas por lixiviación de los nitratos de los suelos tratados con lodos es probablemente el efecto más importante derivado de la utilización de lodos en Agricultura, en el contexto de la actual legislación medioambiental. Sin embargo, admitiendo que la cantidad total de nitratos (procedentes del lodo y de otras fuentes) permanezca de acuerdo con las necesidades de nitrógeno de los cultivos, la contaminación por nitrato de las aguas subterráneas debe permanecer a un nivel mínimo. La **OMS** concluye que no se deben establecer límites numéricos para el contenido en nitrógeno de los lodos residuales.

Una nueva preocupación deriva de la presencia de contaminantes orgánicos persistentes en el lodo y su comportamiento en el sistema suelo-planta. Hasta ahora, el riesgo para la salud humana de cultivos en suelos tratados con lodos parece ser pequeño ya que la absorción de contaminantes orgánicos por las plantas parece ser escasa o nula y no hay bioacumulación en el ganado.

Conclusión

Dada la creciente producción de lodos en Europa y el simultáneo endurecimiento de la normativa sobre eliminación de residuos, probablemente las opciones preferibles para la eliminación de los lodos, a medio plazo, serán la aplicación a las tierras y la incineración. La elección final se efectuará a nivel local en función de diversos parámetros culturales, económicos y científicos.

Hasta ahora, hay un acuerdo general de que **el uso en Agricultura puede ser una opción segura y viable**. Ciertamente es una de las vías que se utilizarán más probablemente en el futuro aunque en algunos países como Francia, Alemania, Suecia y Holanda, el temor sobre los efectos en los suelos y las cosechas está poniendo en entredicho a este sistema. Estos países, especialmente Alemania, están desarrollando nuevas tecnologías de incineración de lodos. En otros, como en el Reino Unido, se fomenta la aplicación de los lodos a las tierras de cultivo. En Suecia, ciertos estudios de evaluación del ciclo de vida, en algunas instalaciones de tratamiento de aguas residuales, han

identificado la reutilización de los lodos en Agricultura como la mejor opción en algunos casos.

En algunos Estados Miembros, como el Reino Unido, se ha puesto gran énfasis en desarrollar estrictas políticas y prácticas de control, para proteger la seguridad de la opción de aplicación a las tierras de cultivo. Sin embargo, a nivel de la **UE**, falta un enfoque más coordinado que regule la aplicación de los lodos a las tierras de cultivo. Hasta ahora, cada Estado Miembro es responsable de desarrollar una estrategia de eliminación de los lodos segura y eficaz.

La situación subraya la necesidad de garantizar la seguridad de la aplicación de lodos a las tierras de cultivo y tranquilizar a quienes ya la realizan o pueden realizarla en el futuro. A este fin, es importante la calidad de los lodos, comenzando en el vertido de las aguas residuales a las cloacas y es necesario exigir un control eficaz de esa calidad. Podría ser útil, por tanto, estimular el tratamiento de ciertos efluentes industriales, independientemente de las aguas residuales domésticas, en los casos en que no se esté haciendo, o bien pretratarlos antes de verterlos en las cloacas, para eliminar las concentraciones excesivas de elementos indeseables como los metales pesados.

Se precisa más investigación sobre los efectos de los sistemas de aplicación en Agricultura y de incineración en el medio ambiente así como una sólida coordinación científica para dirigir las investigaciones actuales.

Es esencial disponer de información adecuada sobre producción de lodos, tratamiento, sistemas, productos y mercados. Por tanto, **ha llegado el momento de definir normas razonables de utilización de los lodos**, así como de reutilización de las aguas residuales. La clasificación de los lodos en tipos de calidad bien definida, adecuados para cada sistema de eliminación o reutilización, debe garantizar el uso y la eliminación seguros. Hay que formular criterios medioambientales sólidos para cada opción, criterios que deben incluir la evaluación de los riesgos. ■

(De ingeniería Municipal. Oct. 2004)

Parámetro	Valores límite en suelos (mg/kg de suelo seco)	Valores límite en lodos residuales (mg/kg de sólidos secos)
CADMIO	1 - 3	20 - 40
COBRE	50 - 140	1.000 - 1.750
NÍQUEL	30 - 75	300 - 400
PLOMO	50 - 300	750 - 1.200
ZINC	150 - 300	2.500 - 4.000
ZINC	1 - 1.5	16 - 25

Tabla 2. Valores límite para elementos potencialmente tóxicos, dados por la Directiva 86/278/EEC