

Estrategia para la caracterización de residuos industriales

D. MANUEL ROMERO ALARCÓN
D. RAFAEL VICENTE CATEDIANO
D. LUIS AMIGO HERRERO

ITSEMAP Ambiental

YA han transcurrido casi cuatro años desde que apareció la Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos (RT y P) en 1986.

En este período se ha adaptado la legislación española de residuos a la comunitaria y en algunos aspectos, incluso, se ha anticipado.

Dicha Ley fue desarrollada por el Real Decreto 833/86, que establecía las obligaciones y responsabilidades de productores y gestores de RT y P. En el mencionado Real Decreto uno de los aspectos más destacados era el de la identificación y caracterización de dichos residuos.

Durante el año 1989 han aparecido tres Ordenes Ministeriales de importancia: las relativas a la gestión de aceites usados y PCBs y PCTs, así como la relativa a los métodos oficiales para la caracterización de los RT y P.

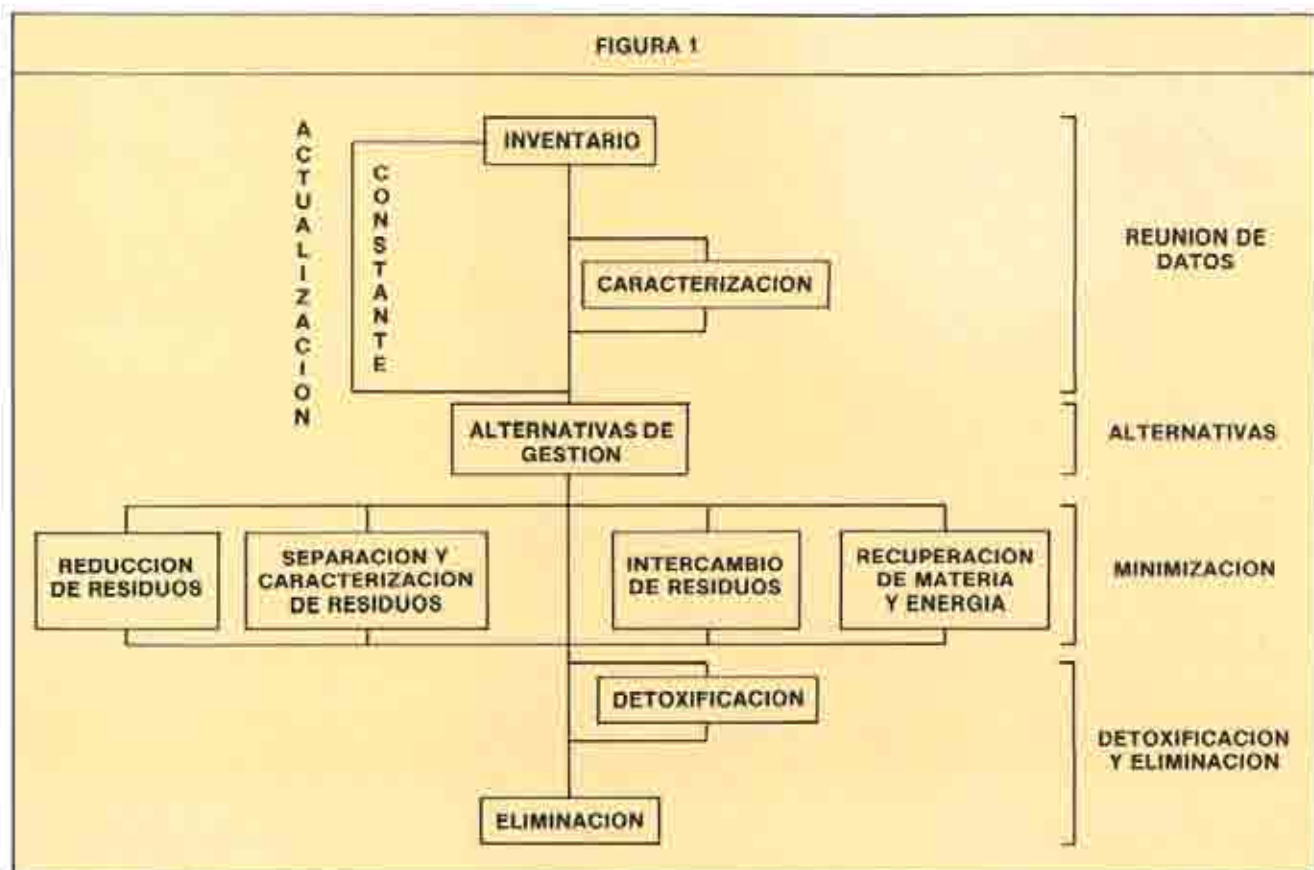
También está aprobado el Plan Nacional de Residuos Tóxicos y Peligrosos, y hay que añadir la legislación comunitaria, que se encuentra en fase de propuesta: Directiva-marco de residuos y Directiva de residuos peligrosos.

Existe, por tanto, un marco legislativo importante que ha obligado a la industria a iniciar de una forma rápida la gestión adecuada de sus residuos.

No obstante, el productor se encuentra con un primer obstáculo: caracterizar el residuo, con objeto de poder realizar una identificación coherente en su declaración anual y, al mismo tiempo, encaminar su gestión en una forma determinada.

En los esquemas modernos de gestión de residuos hay que destacar el que muestra la figura 1, donde, dentro del capítulo de reunión de datos, aparece la caracterización, objeto del presente artículo.

FIGURA 1



CARACTERIZACION DE RESIDUOS INDUSTRIALES

El término caracterización se utiliza voluntariamente para diferenciarlo de análisis, puesto que, aunque éste se encuentra incluido en dicho término, caracterización implica algunos factores más.

En principio, la caracterización a considerar será la de tipo clasificativo, la más exhaustiva de todas, ya que existen varios tipos, dependiendo fundamentalmente de la exten-

sión: aceptación, gestión, control de tratamiento, etc. Esta caracterización clasificativa puede estar enfocada de dos maneras: hacia el listado de un residuo como peligroso o como medio contra un listado previo. Surge así la pugna entre caracterizar para listar o caracterizar contra listar. En principio y de la lectura de diferentes legislaciones se desprende que predomina este último concepto, pues se puede encontrar en las legislaciones estatal, catalana, europea e incluso en las normas propuestas por la EPA americana.

En la legislación española el Real Decreto 833/88 identifica un residuo definiéndolo en base a unos códigos que atienden a siete conceptos diferentes, como son:

- Razón de la gestión.
- Operaciones previstas.
- Tipos genéricos de residuos industriales.
- Constituyentes que pueden dar un carácter tóxico y peligroso.
- Características de peligrosidad.
- Actividad en que se genera.
- Proceso que genera el residuo.

Con ello, el residuo puede estar perfectamente identificado.

De este modo, la Administración puede clasificar un residuo en base a unas listas cuyos conceptos se han

definido anteriormente. El productor puede recurrir contra tal clasificación mediante la realización de unas pruebas determinadas.

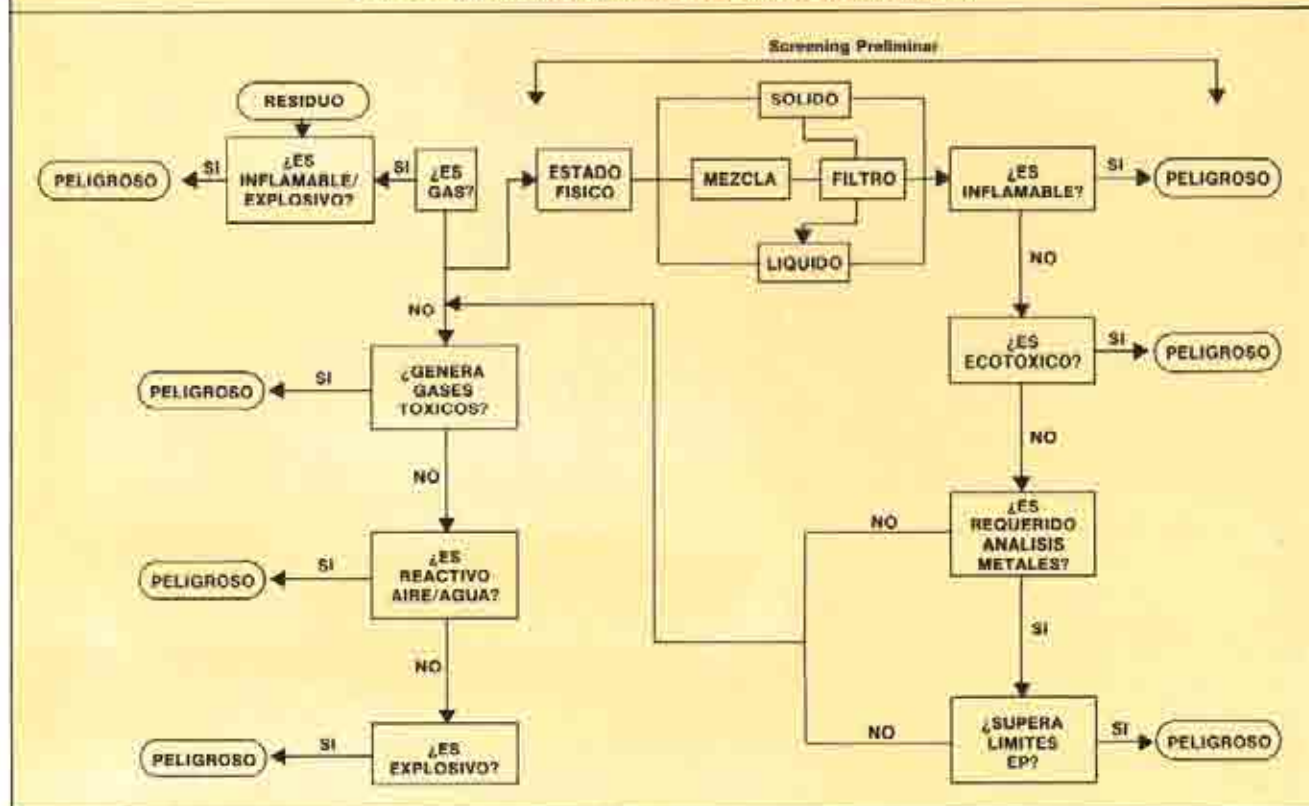
Según el citado Real Decreto 833/88, un residuo se considera tóxico y peligroso si reúne dos características: conjuntamente, un código C distinto de O y algún concepto de peligrosidad asignable mediante un código H (Anexo I 2.15).

Uno de los aspectos más importantes del Real C y caracterización de los residuos tóxicos y pelg



La no existencia de límites cuantitativos puede obligar al productor a declarar como peligroso cualquier residuo, aunque la concentración de componentes C sea muy baja, siempre que dichos componentes tengan una característica H asignable.

FIGURA 2. Protocolo clasificativo para residuos industriales



Si el productor no estuviera de acuerdo, habrá de demostrar que el residuo con componentes C no tiene ninguna de las características asignables con H (Anexo I 2.8.d), siguiendo la metodología contenida en el Anexo de la Orden de 13 de octubre de 1989.

Esto implica que el camino a seguir por el productor comienza por determinar si existe o no algún com-

puesto con código C distinto de O, en la mayoría de los casos analíticamente, y en los más difíciles, presumiendo su existencia en base a su presencia en las materias primas.

Por otro lado, la información que proporciona el análisis no es suficiente, ya que la legislación no marca límites cuantitativos para dichos componentes C, y en algunos casos, como el de los metales pesados, su presencia a bajas concentraciones dependerá de los límites de detección de la técnica empleada.

La no existencia de límites cuantitativos puede obligar al productor a declarar como peligroso cualquier residuo, aunque la concentración de componentes C sea muy baja, siempre que dichos componentes tengan una característica H asignable. De hecho se dice al respecto que 100 g de producto peligroso diluido de 10 Tm de arena dan 10 Tm de residuo peligroso. Esto, de alguna forma, confirma lo dicho anteriormente.

En el concepto de caracterización de un residuo entra a formar parte la analítica propiamente dicha como un factor complementario y prioritario:

— Complementario, puesto que será la continuación lógica del paso previo de recopilación de datos analíticos acerca del residuo. Este punto es importante para minimizar los pa-

rámetros a analizar, de forma que sólo sean analizados los previsibles de encontrar.

— Prioritario, para poder asignar el código C (constituyentes peligrosos), que, junto con el código H (características de peligrosidad), son los determinantes de la clasificación o no de un residuo como tóxico y peligroso.

A causa de la gran diversidad de parámetros a analizar y de la variedad de métodos de análisis aplicados al estudio de un residuo, un comienzo

Se introduce una nueva figura, la del screening preliminar que se define como un protocolo analítico sencillo y rápido que aporta una gran información y permite decidir la necesidad o no de continuar con el protocolo completo.

Decreto 833/88 es la identificación de los residuos.





Desde que apareció la Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, la industria ha tenido que iniciar de forma rápida la gestión adecuada de sus productos.

razonable de éste será el planteamiento de un esquema base de acción, en el que de forma secuencial se vayan abordando los distintos capítulos que definen la catalogación del residuo.

En base a la inexistencia de una secuencia de este tipo a nivel comunitario, un esquema válido puede ser el representado en la figura 2, basado en el propuesto por la EPA estadounidense, pero modificado en algunos de sus términos.

La figura 2 enfoca el estudio de un residuo de forma general, centrándose sobre las características de reactividad, explosividad, inflamabilidad y capacidad de formar gases tóxicos.

Por otra parte, se introduce una nueva figura, la del *screening preliminar*, que se define como un protocolo analítico sencillo y rápido que aporta una gran información y permite decidir la necesidad o no de continuar con el protocolo completo.

Algunas características, como la explosividad, comburencia, etc., no tienen determinado un método específico de análisis «dada la evidencia de estas características», según cita textualmente la Orden de 13 de octubre de 1989.

Pese a la evidente ventaja que supone el hecho de poder disponer de un esquema de funcionamiento a la hora de plantear la caracterización de un residuo, el analista, primero, y el productor, después, se encuentran con el problema de la falta de límites cuantitativos para cada uno de los componentes C en la legislación sobre residuos. Sólo se han descrito dos valores cuantitativos para el re-

siduo y son los propuestos por la EPA como valores-guía de acción para sulfuros (500 mg/kg) y cianuros (250 mg/kg) liberables en residuo.

Estos dos valores son los únicos orientativos que actualmente se dan sobre residuos, aunque existen otros que, tomando como base a sus lixiviados, pueden proporcionar una información valiosa del comportamiento del mismo, simulando la deposición de aquéllos en un vertedero de residuos urbanos. Los contaminantes que figuran en esta lista incluyen metales y compuestos orgánicos (plaguicidas y herbicidas). El listado y las concentraciones máximas en el lixiviado se dan en la figura 3.

Respecto al test de lixiviación pueden hacerse las siguientes consideraciones:

1. El test de lixiviación ha surgido como un intento de homogeneizar el

Algunas características, como la explosividad, comburencia, etc., no tienen determinado un método específico de análisis dada la evidencia de estas características.

FIGURA 3

Contaminante	Concentración máxima (mg/l)
Arsénico	5,0
Bario	100,0
Cadmio	1,0
Cromo total	5,0
Plomo	5,0
Mercurio	0,2
Selenio	1,0
Plata	5,0
Endrin	0,02
Lindano	0,4
Metoxicloro	10,0
Toxafeno	0,5
2,4 D (Acido diclorofenoxiacético)	10,0
2,4 TP (Acido triclorofenoxipropiónico)	1,0

tratamiento analítico de los residuos, atribuyendo a los lixiviados las propiedades y peligrosidades de aquéllos, pero en una matriz menos compleja y, por tanto, más fácilmente analizable.

2. Los límites que aparecen en la figura 3 son los estimados para un método de extracción concreto, el llamado EP (*Extraction Procedure*), el cual viene recogido, junto con otro método de lixiviación (el oficial de la Ley de Residuos de la Generalitat de Cataluña), en la ya citada Orden de 13 de octubre.

Estos métodos, a pesar de la utilidad de disponer ya de unos límites de trabajo para ciertos contaminantes, como es el caso del EP, presentan deficiencias cuando de analizar compuestos volátiles se trata.

Con el fin de extender la aplicación del citado protocolo EP a un mayor número de constituyentes tóxicos que podrían resultar de la lixiviación de residuos peligrosos, la EPA publicó, en enero de 1986, las características de un nuevo método de extracción, el TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), que incluye, además, los aspectos de análisis de volátiles.

Una comparación entre las características de ambos métodos esta dada en la tabla 1.

El equipo ZHE (*Zero Headspace Extractor*) requerido para el método TCLP es básicamente el mismo que el utilizado en el método EP, pero incorpora un pistón en el interior del cuerpo del extractor para poder realizar la filtración sin la introducción de aire, minimizando el riesgo de pérdida de volátiles por evaporación.

TABLA 1		
	METODO EP	METODO TCLP
CONTAMINANTES ANALIZADOS	METALES, PESTICIDAS HERBICIDAS	IDEM + SEMIVOLATILES + VOLATILES ORGANICOS
EQUIPO REQUERIDO	FILTRADOR A PRESION AGITADOR SIN ESPECIFICAR	IDEM PARA TODO MENOS VOLATILES ZHE PARA VOLATILES AGITADOR ROTATIVO (30 RPM)
MATERIAL FILTRANTE	MEMBRANA DE CELULOSA	FIBRA DE VIDRIO
PRESION FILTRACION LIQUIDO EXTRACCION	75 psi MAXIMO 16 veces el peso de sólidos con H ₂ O destilada y AcH 5M hasta PH = 5,0	50 psi MAXIMO 20 veces el peso de sólidos con AcH 0,1m a pH = 2,9 para residuos de media-alta alcalinada y tampón acetato pH = 4,9 para otros
TIEMPO EXTRACCION	24 horas	18 horas
TEMPERATURA	20-40 °C	22 ± 3 °C

Los análisis de residuos están sometidos a un constante evolucionar en métodos y técnicas para hacer frente a muestras complejas, con garantía de éxito en los resultados.

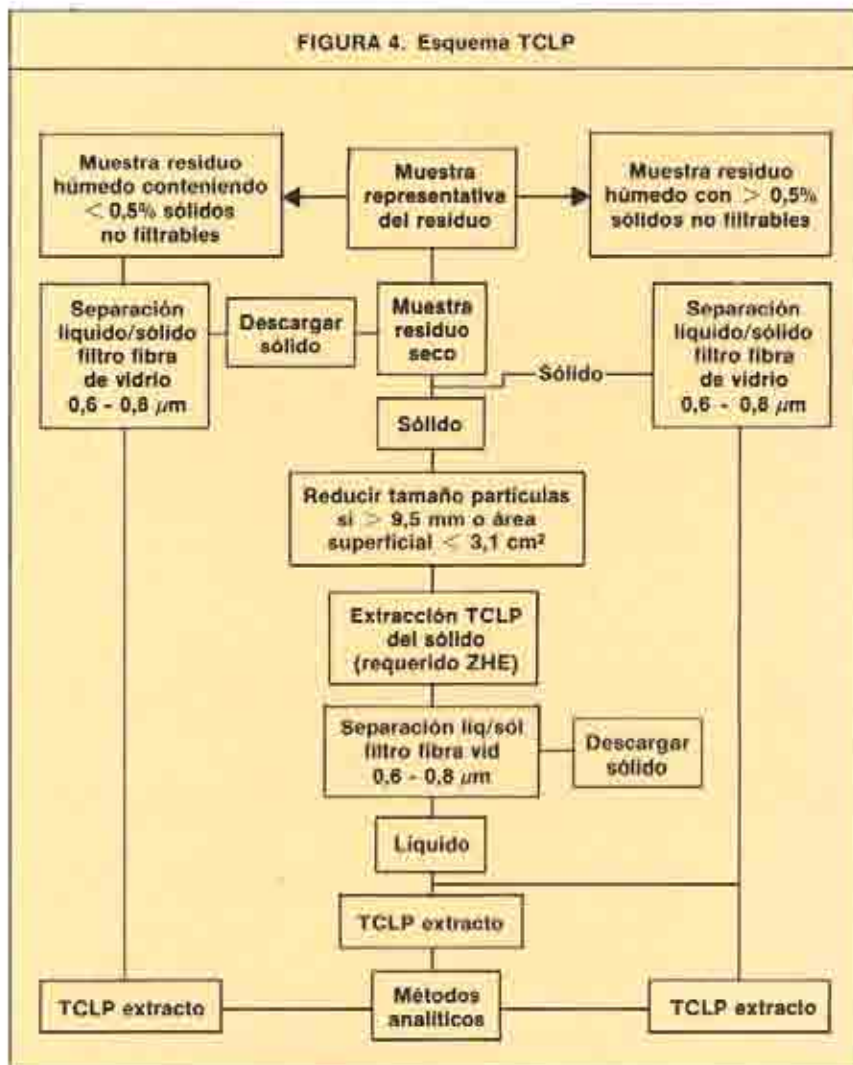
Un esquema de actuación con el método TCLP se presenta en la figura 4.

Actualmente se siguen realizando ensayos para validar totalmente los métodos contenidos en el protocolo TCLP, pero todo indica que, una vez adaptados a un rango completo de residuos, el método TCLP reemplace al EP actualmente en vigor.

Así pues, como se acaba de comprobar, el tema de análisis de residuos está sometido a un constante evolucionar en métodos y técnicas para hacer frente a muestras complejas, con garantía de éxito en los resultados.

A continuación se ofrece una breve descripción de las técnicas que en la actualidad son más recomendables en el análisis de los contaminantes asignables a un código C.

FIGURA 4. Esquema TCLP



METALES PESADOS

Desde hace bastantes años, el análisis tradicional de metales venía realizándose por técnicas espectrocópicas: absorción, emisión y fluorescencia atómica. De éstos, la absorción atómica ha sido la más ampliamente utilizada en cualquiera de sus variantes: a la llama y, más sensiblemente, con la cámara de grafito y generador de hidruros.

Actualmente, la técnica de emisión que se ha impuesto es el análisis por plasma, y dentro de éste, el ICP.

Las iniciales corresponden a las siglas inglesas de plasma inducida-mente acoplado, y es en esencia un plasma de argón mantenido por la interacción de un campo de radio-frecuencia. Al permitir alcanzar temperaturas muy elevadas (del orden de 10.000 °K) se minimizan las inter-

ferencias químicas, puesto que se produce una atomización completa de los elementos.

Esto, junto a otras ventajas, como, por ejemplo, su alta velocidad analítica, excelentes límites de detección y elevado número de elementos analizables en cada muestra, hacen de esta técnica una herramienta especialmente apta para el análisis de metales en residuos con matrices «complicadas», como, por ejemplo, los aceites industriales. Con este método se pueden analizar de forma general: Al, Cr, Cu, Fe, Mo, Na, Pb, Si, Zn, Mg, Ca, B, P, S, Sn, Ni, etc.

— Otro equipo que incorpora el uso de un plasma de gas es el horno de radiofrecuencia, cuya utilización va también encaminada al análisis de metales en muestras complejas, fundamentalmente porque permite la mineralización de las muestras a baja temperatura, evitando de esta manera la pérdida de elementos volátiles.

— Para el análisis de compuestos orgánicos en general, la técnica más apropiada es la cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas. En el caso concreto del análisis de volátiles, según la extracción realizada mediante el método TCLP,

es necesario un equipo concentrador de volátiles (PURG & TRAP).

La determinación de las características de peligrosidad (H) se deberá realizar de acuerdo con lo establecido en las Directivas 84/449/C.E.E., 88/302/C.E.E. y otras, por las que se adapta al progreso técnico la 67/548/C.E.E. y que se ha transcrito a la normativa española mediante la Orden de 13 de octubre de 1989, anteriormente citada.

Estas características, que se encuentran resumidas en la tabla 2, hacen referencia a los siguientes ensayos:

1. Punto de inflamación menor o igual a 55 °C (determinado según el método del vaso cerrado).

2. Presentar alguna de las siguientes características de corrosividad:

— Ser un residuo acuoso con pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12,5.

— Ser un residuo líquido que corroe más de 6,35 mm. de espesor de acero por año a una temperatura de prueba de 55 °C.

— Causar daños graves en los tejidos humanos por exposición durante un tiempo no superior a 15 min., por inhalación o por contacto con la piel y/u ojos.

3. Presentar alguna de las características de reactividad siguientes:

— Inestabilidad y cambios violentos sin detonación.

— Reaccionar violentamente con el agua.

— Desprender gases fácilmente inflamables y/o tóxicos en cantidades peligrosas al entrar en contacto con el agua o con el aire húmedo.

— Contener sustancias, como cianuros, sulfuros, u otras, que cuando estén en medios con pH comprendido entre 2 y 12,5 puedan generar gases tóxicos.

— Poder detonar o reaccionar explosivamente cuando se somete a una fuente energética o si se calienta bajo confinamiento.

— Poder detonar o reaccionar explosivamente en condiciones de presión y temperaturas normales.

4. Contener un producto cancerígeno o probablemente cancerígeno en concentración igual o superior al 0,01% (de acuerdo con la IARC).

5. Contener sustancias cancerígenas, mutagénicas o teratogénicas, según el Real Decreto 2216/85.

6. Presentar una toxicidad de cualquiera de estos tipos: en rata, una DL50 en dosis oral, igual o inferior a 200 mg/kg; en conejo o rata, una



Un residuo se considera tóxico y peligroso si reúne dos características conjuntamente: un código C distinto de 0 y un concepto de peligrosidad asignable mediante un código H.

TABLA 2

Un residuo tendrá la consideración de tóxico y peligroso si cumple alguna de las siguientes condiciones:

1. Punto de inflamación menor o igual a 55 °C
2. Características de corrosividad:
 - Residuo acuoso: $12,5 \geq \text{pH} \geq 2$.
 - Residuo líquido que corroe más de 6,35 mm/año de acero a 55 °C.
 - Por inhalación o contacto durante 15 minutos causa daño graves a tejidos humanos.
3. Características de reactividad:
 - Inestabilidad y cambios violentos sin detonación.
 - Reacciona violentamente con agua.
 - Forma mezclas potencialmente explosivas con agua.
 - En contacto con agua o aire húmedo desprende gases inflamables y/o tóxicos
 - Contener cianuros, sulfuros y otros que, sometidos a pHs, en el rango 2-12,5 genere gases tóxicos.
 - Detonar bajo fuentes energéticas de incineración si se calienta bajo confinamiento.
 - Detonación o reacción explosiva en condiciones normales de presión y temperatura.
4. Contener productos cancerígenos en más de un 0,01% de acuerdo con la TARC.
5. Contener sustancias cancerígenas, mutagénicas o teratogénicas según el Real Decreto 2216/85 y sus posteriores modificaciones.
6. Toxicidad.

	Rata DL50	Rata ó conejo DL50	Rata CL50
Oral	< 200 mg/l	< 400 mg/l	2 mg/l (4 h)
Contacto con piel			
Inhalación			

7. Toxicidad de los lixiviados.
 - < 3.000 mg/l, *Photobacterium phosphoreum*.
 - < 750 mg/l, *Daphnia Magna*.

DL50 por contacto con la piel para una dosis menor o igual a 400 mg/kg; en rata, una CL50 por inhalación para una dosis de 2 mg/l en cuatro horas.

7. Que los lixiviados obtenidos del residuo, según los métodos aceptados, presenten una CL50 igual o inferior a 750 mg/l, o una EC50 igual o inferior a 3.000 mg/l, dependiendo del método utilizado.

El punto de inflamación es la temperatura corregida a una presión de 101,325 KPa, a la cual el líquido de ensayo desprende vapores en un recipiente cerrado con determinadas condiciones y en una cantidad que produzcan una mezcla vapor/aire en dicho recipiente.

Su determinación se realiza por el método del vaso cerrado (Tag) y se basa en el calentamiento lento de la muestra con agitación, sometiéndose la fase de vapor desprendida a una llama de forma periódica y cesando la agitación.

La temperatura a la que la muestra se inflama se denomina *Flash Point*.

Para el análisis de compuestos orgánicos en general, la técnica más apropiada es la cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas.

Este método se utiliza para líquidos y suspensiones de sólidos.

De las características de corrosividad, la determinación del pH es fácil y rápida. Por otra parte, mediante datos de la historia de la empresa se podrá obtener información sobre daños materiales o humanos que el residuo haya podido originar. De otra forma habría que recurrir a ensayos de laboratorio.

En cuanto a la corrosividad hacia el acero, el método para su determinación se basa en introducir unas láminas de acero en un recipiente apropiado para el ensayo, de forma que estén en contacto con el líquido a estudiar a una temperatura de 55 °C durante veinticuatro horas. Mediante el cálculo de la pérdida de peso que sufre el acero y la ecuación:

$$\text{Ratio corrosión (m.m.p.a.)} = \frac{\text{Pérdida de peso} \times 11,145}{\text{Area} \times \text{tiempo}}$$

Se obtiene el ratio de corrosión en mm/año, no debiendo exceder el valor de 6,35.

Una sustancia o preparado se considera que presenta la característica de corrosiva cuando al entrar en contacto con el tejido vivo puede ejercer una acción destructiva sobre él.

La reactividad entre el residuo y agua y la posible inflamabilidad del gas originado se puede determinar mediante el test de inflamabilidad (Orden de 13 de octubre de 1989), mediante el cual se podrá dilucidar si el residuo objeto del análisis desprende una cantidad peligrosa de gases fácilmente inflamables al entrar en contacto con el agua o el aire húmedo a una velocidad mínima 1 l/kg x h.

El equipo que se deberá utilizar viene reflejado en la norma ISO 1773.

Se pone en contacto una cantidad determinada del residuo (un máximo de 2,5 g, con el fin de obtener un desprendimiento de gas entre 100 y 250 cc) con el agua, midiéndose por cualquier medio que sea apropiado, el volumen del gas desprendido.

A continuación se deberá hacer una prueba de inflamabilidad del gas, y si no se conoce su identidad química, se deberá analizar. Para que la sustancia de ensayo pueda considerarse peligrosa será suficiente que se haya observado una inflamación o un desprendimiento de gas fácilmente inflamable a una velocidad superior a 1 l/kg x h en, al menos, tres tentativas de ensayo.

La determinación de la existencia de cianuros, sulfuros u otras sustancias presentes en un residuo en can-



En la legislación española un residuo se identifica en base a unos códigos que comprenden siete conceptos diferentes.

tidades suficientes que cuando estén sometidos a condiciones de pH comprendidas entre 2 y 12,5 puedan generar gases tóxicos del tipo de HCN, H₂S, etc., se puede realizar mediante determinaciones cuantitativas de

HCN y H₂S sobre la solución absorbente utilizada para recogerlos, después de generarse mediante un proceso de destilación.

También se puede realizar una determinación semicuantitativa de los gases mediante tubos detectores específicos en el gas de arrastre aplicado a una muestra de residuo acidificado a pH 2.

En cuanto a la mutagénesis, existen dos ensayos totalmente desarrollados y aceptados por la C.E.E. basados en la capacidad de producir cambios en aminoácidos, con lo que se originarían mutaciones genéticas puntuales en ciertas cepas bacterianas.

Estos dos ensayos son:

- Ensayo de mutación reversible de Histidina en *Salmonella Thyphimurium*.
- Ensayo de mutación reversible de Triptófano en *Escherichia Coli*.

El primero está basado en la posibilidad de medir la reversión his⁻ — his⁺ producida por ciertas sustancias químicas, provocándose mutaciones que desplazan el cuadro de lectura en el genoma del organismo.

Las bacterias se exponen a la sus-

tancia de ensayo con y sin activación metabólica y se vierten en la superficie de un medio selectivo apropiado. Después de un periodo de incubación adecuado se cuenta el número de colonias revertidas y se las com-

Una sustancia o preparado se considera que presenta la característica de cancerígena cuando esté comprobado que pueda producir cáncer o aumentar su frecuencia por inhalación, ingestión o penetración cutánea.

Los ensayos de toxicidad de sustancias o compuestas con animales de experimentación se deberán hacer tanto en hembras como en machos y habrán de someterse a observación por lo menos durante catorce días.

para con el de revertidas espontáneamente observado en un cultivo testigo.

El principio del ensayo con *E. Coli* es prácticamente idéntico al descrito anteriormente; se mide la reversión trp^- — trp^+ .

Estos dos métodos presentan un grave inconveniente, y es el tiempo requerido para su realización; entre tres y seis días si las condiciones de ensayo han sido buenas. Para solventar este problema se está desarrollando en la actualidad un ensayo rápido de determinación de la mutagénesis que utiliza ciertas especies bacterianas bioluminiscentes que al sufrir un cambio o mutación en su estructura genética dejarían de emitir luz («mutante oscuro»); con este método, el resultado de la determinación se podría obtener en cuestión de horas.

La sustancia habrá de examinarse mediante dos series de pruebas, de las que una habrá de ser bacteriológica, con activación metabólica o sin ella, y la otra habrá de ser una prueba no bacteriológica.

Cuando los resultados de las pruebas bacteriológicas sean positivos (es suficiente una sola prueba positiva), será necesario realizar dos pruebas de comprobación.

Las sustancias mutagénicas se pueden dividir en tres categorías:

— Sustancias que, sin ningún género de dudas, son mutagénicas para el hombre, ya que se dispone de elementos suficientes para establecer una relación de causa a efecto entre la exposición del hombre a tales sustancias y la aparición de alteraciones genéticas hereditarias.

— Sustancias que pueden considerarse mutagénicas para el hombre, ya que se dispone de suficientes elementos de juicio para suponer que la exposición del hombre a tales sustancias puede producir alteraciones genéticas hereditarias. Dicha presunción se basa generalmente en estudios apropiados en animales y otro tipo de información relevante.

— Sustancias cuyos posibles mutagénicos en el hombre son preocupantes, pero acerca de los cuales no se dispone de información que presente pruebas suficientes de alteraciones genéticas hereditarias. Los resultados obtenidos en ensayos de mutagénesis apropiados son insuficientes para clasificar estas sustancias en la categoría anterior.

Una sustancia o preparado se considera que presenta la característica de cancerígena cuando esté comprobado que pueda producir cáncer

Una sustancia o preparado se considera que presenta la característica de corrosiva cuando al entrar en contacto con el tejido vivo puede ejercer una acción destructiva sobre él.

o aumentar su frecuencia por inhalación, ingestión o penetración cutánea.

Las sustancias cancerígenas se pueden dividir en tres categorías:

— Sustancias que, sin ningún género de dudas, son cancerígenas para el hombre, ya que se dispone de elementos suficientes para establecer la existencia de una relación de causa a efecto entre la exposición del hombre a tales sustancias y la aparición de cáncer.

— Sustancias que pueden considerarse como cancerígenas para el hombre, ya que se dispone de suficientes elementos para suponer que la exposición del hombre a tales sustancias puede producir cáncer. Dicha presunción se fundamenta generalmente en estudios apropiados a largo plazo en animales y otro tipo de información relevante.

— Sustancias cuyos posibles efectos cancerígenos en el hombre son preocupantes, pero acerca de los cuales no se dispone de información suficiente para proceder a una valoración correcta de los mismos. Los resultados obtenidos en estudios apropiados efectuados en animales son insuficientes para clasificar estas sustancias en la categoría anterior.

Mediante estudios de fertilidad efectuados en especies animales establecidas para realizar estos ensayos se podrán obtener indicaciones en materia de teratogénesis.

Cuando sean dudosos los resultados obtenidos respecto a una primera generación, será necesario proceder al estudio de una segunda generación.

Cuando se presenten indicios de teratogénesis, la evaluación completa de la teratogénesis potencial podrá hacer necesaria la realización de un estudio sobre una segunda generación.

Las sustancias teratogénicas se pueden dividir en dos categorías:

— Sustancias que, sin ningún género de dudas, son teratogénicas para el hombre, ya que se dispone de elementos suficientes para establecer la existencia de una relación de causa a efecto entre la exposición del hombre a tales sustancias y la aparición de malformaciones congénitas no hereditarias en los recién nacidos.

— Sustancias que pueden considerarse como teratogénicas para el hombre, ya que se dispone de elementos suficientes para suponer que la exposición del hombre a tales sustancias puede producir malformaciones congénitas no hereditarias en los recién nacidos. Dicha presunción se basa generalmente en estudios apropiados en animales y en otro tipo de informaciones relevantes.

En los ensayos de toxicidad de sustancias o compuestos con animales de experimentación, ya sea efectuado por administración oral, por inhalación o por aplicación cutánea (la sustancia deberá aplicarse sobre la piel rasurada del animal), lo que se persigue es la observación y el estudio de los posibles órganos afectados del animal, además de los posibles cambios en su comportamiento.

Estos ensayos se deberán hacer tanto en hembras como en machos y habrán de someterse a observación por lo menos durante catorce días.

Con los lixiviados de los residuos, obtenidos por los métodos establecidos, se efectúa la determinación de ecotoxicidad.

Existen dos bioensayos homologados para la determinación de la ecotoxicidad en residuos:

— Test de inhibición de la movilidad de la *Daphnia magna* Straus.

— Test del Microtox.

El principio del método de la *Daphnia* se basa en la determinación de la concentración inicial, que en el trans-

curso de veinticuatro horas causa la inmovilización del 50% de la población de *Daphnia magna* expuesta bajo unas condiciones determinadas.

Según este bioensayo, se considera que un residuo es tóxico si su lixiviado presenta una concentración letal media (CL50) inferior o igual a 750 mg/litro.

El test del Microtox utiliza una bacteria marina, la *Photobacterium phosphoreum*, que se caracteriza por su emisión de luz y su gran sensibilidad a una amplia variedad de sustancias tóxicas.

Mediante una serie de medidas a diferentes tiempos y con diferentes concentraciones de la muestra se determina el porcentaje de pérdida en la emisión de luz del organismo, lo que significará presencia de tóxicos en la muestra.

La concentración efectiva de muestra que causa una disminución de luz del 50%, conocida como EC50, se usa como indicador de la medida de toxicidad.

Según este bioensayo de luminiscencia, se considera que un residuo es tóxico si su lixiviado presenta una EC50 (15 °C, 15 min.) inferior o igual a 3.000 mg/litro.

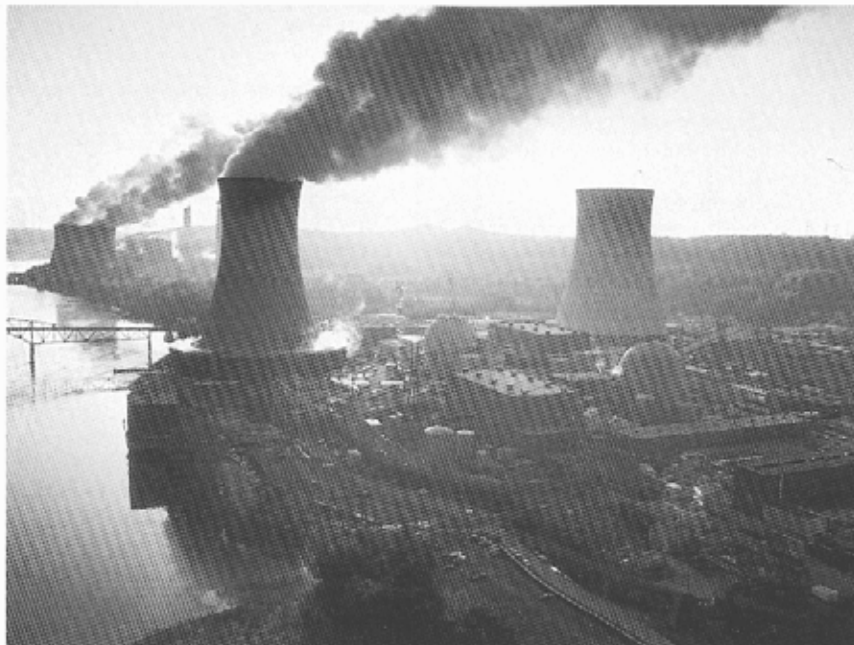
Debido a su sencillez (no requiere realizar cultivos ni aclimatación de los organismos de ensayo, como en el caso de las *Daphnias*), las pequeñas cantidades de muestra que se requieren (no mucho más de 20 ml) y la rapidez de su ejecución (aproximadamente cuarenta y cinco minutos) hacen que el test del Microtox se utilice, en la gran mayoría de los casos, frente al test de la *Daphnia* para la determinación de la toxicidad de lixiviados de residuos.

Por otra parte, la Orden de 13 de octubre de 1989, por la que se determinan los métodos de caracterización de residuos tóxicos, da total libertad de elección entre los dos test.

De los datos existentes en nuestro laboratorio se han seleccionado los resultados de 128 tipos diferentes de residuos analizados mediante el método del Microtox, correspondientes a 11 sectores de producción, obteniéndose los siguientes resultados:

- Muestras ecotóxicas (< 3.000): 25%.
- Muestras no ecotóxicas (> 3.000): 75%.

Entre las muestras no tóxicas se ha encontrado un 8% (sobre el total) que presenta valores de EC50 (15 °C, 15 min.), comprendidos entre 3.000 y 6.000 mg/litro, que deben ser consideradas como «preventivas», o muestras que, sin llegar a ser tóxicas,



Los ensayos de mutación y reversible de Histidina en Salmonella Thyphimurium y de Triptófano en Escherichia Coli, presentan un grave inconveniente, y es el tiempo requerido para su realización; entre 3 y 6 días si las condiciones de ensayo han sido buenas.

deben ser objeto de una especial atención y una más amplia caracterización posterior.

Estos valores apoyan el hecho de que este test debe ser considerado como una condición necesaria, pero no suficiente, para clasificar un residuo de acuerdo con la legislación.

CONCLUSIONES

El protocolo propuesto para la caracterización de residuos industriales pretende ser un primer paso hacia

una racionalización de la analítica aplicable.

Ya existe un marco legislativo que permite comenzar a trabajar en una dirección determinada, no exenta de lagunas y problemas que existen incluso a nivel internacional.

En este sentido, el problema de la caracterización de residuos pasa a ser eminentemente técnico y urge encontrar soluciones consensuadas entre los laboratorios especializados.

De esta forma, el esquema propuesto pretende ser una primera aportación para facilitar la toma de decisiones en cuanto a la clasificación de un residuo en base a su peligrosidad.

Por último, se hace hincapié en que la analítica no es suficiente para caracterizar un residuo. Es necesaria la obtención de numerosos datos acerca de él de una forma previa.

BIBLIOGRAFIA

- Conway/Gulledge, ed.: *Hazardous and Industrial Solid Waste Testing*, Second Symposium, ASTM, STP 805, 1982.
- Conway/Malloy, ed.: *Hazardous Solid Waste Testing*, First Conference, ASTM, STP 760, 1981.
- Elsevier: *Potential Industrial Carcinogens and Mutagens*, Fishbein, 1979.
- EPA: *Test Methods for Evaluating Solid Waste*, Physical/Chemical Methods, Thrd Edition, SW 846, 1986.
- Friedman, ed.: *Waste Testing and Quality Assurance*, ASTM, STP 999, 1988.
- Petros/Lacy/Conway, ed.: *Hazardous and Industrial Solid Waste Testing*, Fourth Symposium ASTM, STP 886, 1985.