

## ***DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL***

**ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN Y DESARROLLO EN  
ESPAÑA DE LA DECISIÓN 2003/33/CE, DEL  
CONSEJO SOBRE PROCEDIMIENTOS Y CRITERIOS DE  
ADMISIÓN DE RESIDUOS EN VERTEDERO**

**POF09/01020-1**

**Marzo 2010**

Autores:

Ana M<sup>a</sup> Castro Franco  
Enrique García John

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>3</b>
<b>2. EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA DECISIÓN 2003/33/CE</b>	<b>5</b>
2.1. Contenido y alcance de la encuesta	6
2.2. Resumen de resultados	13
2.3. Discusión de resultados.	18
2.3.1. Caracterización básica	18
2.3.2. Pruebas de conformidad	22
2.3.3. Verificación "in situ"	24
2.3.4. Aplicación de criterios estadísticos	26
2.3.5. Criterios de admisión en vertederos de no-peligrosos	27
2.3.6. Parámetros problemáticos	31
2.3.7. Autorizaciones para superar límites de admisión	32
2.3.8. Criterios para residuos estables no reactivos	35
2.3.9. Residuos monolíticos y otros residuos especiales	36
2.3.10. Requisitos en materia de acreditación	36
2.3.11. Propuestas de mejora	38
<b>3. EVALUACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS Y CRITERIOS ASOCIADOS</b>	<b>40</b>
3.1. Lista actualizada de métodos analíticos	42
3.2. Análisis de PAHs y criterios de valoración	45
3.3. Capacidad de neutralización de ácidos	47
3.4. Métodos de lixiviación y criterios para residuos monolíticos	48
3.5. Residuos estables no reactivos – criterios	54
3.6. Requisitos de prueba de la verificación "in situ"	57
3.7. Recomendaciones	66
<b>4. ELABORACIÓN DE PLANES DE MUESTREO</b>	<b>68</b>
4.1. Normas relativas a la toma de muestras	70
4.2. Importancia de plan de muestreo	71
4.3. Parámetros que definen el muestreo	72
4.4. Otros criterios internacionales aplicados a la toma de muestras	80
4.4.1. EEUU – Norma ASTM y criterios USEPA	80
4.4.2. Reino Unido	82
4.4.3. Alemania	84
4.4.4. Austria	87
4.5. Conclusiones relativas a la toma de muestras	89
<b>5. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES</b>	<b>91</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>93</b>

## 1. INTRODUCCIÓN.

La Directiva 1999/31/CE, estableció el marco legal para la eliminación de los residuos mediante su depósito en vertedero, estableciendo pautas claras para su autorización, explotación, clausura y seguimiento post-clausura. Su desarrollo se fundamenta esencialmente en la clasificación de los vertederos en tres categorías, la definición de los tipos de residuos admisibles en cada una de las categorías, así como los requisitos técnicos exigibles a las instalaciones, la gestión que debe hacerse de los vertederos después de ser clausurados y la forma en que se deben repercutir los costes en el precio de vertido de los residuos. Por otra parte, la Decisión 2003/33/CE, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CE, fija los criterios y procedimientos para la admisión de residuos en los vertederos según lo establecido en el anexo II de la mencionada directiva. En su Anexo, "*Criterios y Procedimientos de admisión de residuos en los vertederos*" se establece un procedimiento uniforme de clasificación y admisión de residuos.

El punto 1 del citado anexo establece tres niveles de prueba / investigación para la admisión de residuos en los vertederos, que consiste en una caracterización básica, pruebas de conformidad y verificación in situ, que se definen en el punto 3 del anexo II de la Directiva 1999/31/CE. El punto 2, establece los criterios de admisión para cada clase de vertedero y en el punto 3 se detallan los métodos que deberán utilizarse para la toma de muestras y la prueba de los residuos.

En nuestro país, la transposición de la directiva de vertederos se efectuó a través del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Su objeto es establecer un marco jurídico y técnico adecuado para las actividades de eliminación de residuos mediante depósito en vertederos, su tipos, su gestión y explotación. Al igual que en la directiva 1999/31/CE se definen tres clases de vertederos, vertederos para residuos peligrosos, vertederos para residuos no peligrosos y vertederos para residuos inertes. Dentro del segundo punto de su anexo II *Procedimientos generales de prueba y admisión de residuos*, se definen los niveles de caracterización de residuos, adaptándolos en su contenido a nuestra legislación interna. Así mismo, se especifica que hasta que no se complete el anexo II de la Directiva 1999/31/CE, sólo será obligatorio el nivel 3 de este punto, mientras que los niveles 1 y 2 se aplicarán en la medida de lo posible.

**Nivel 1. Caracterización básica:** Consistirá en la averiguación completa del comportamiento del residuo. Deberá conocerse: el origen del residuo ... la composición química del residuo y sus propiedades físico-químicas; el código CER del residuo y, en su caso, la identificación del residuo según anexo I del Real Decreto 833/1988; su comportamiento de lixiviación mediante ensayo normalizado DIN 38414-S4 y las características físico-químicas del lixiviado...

**Nivel 2. Pruebas de cumplimiento:** Cada 200 T. de residuo enviadas al vertedero y una vez al año si el tonelaje anual es menor o se trata de cargamentos de residuos de características uniformes y de la misma procedencia, se comprobarán las variables que la caracterización básica (nivel 1) haya identificado como significativas. ...

**Nivel 3. Verificación in situ:** Para confirmar que los residuos que lleguen al vertedero en un cargamento son los mismos que han sido sometidos a pruebas de cumplimiento (nivel 2)... se aplicarán métodos de comprobación rápida, que podrán consistir en una inspección visual del cargamento de residuos antes y después de su descarga en el vertedero...

Algunos tipos de residuos podrán quedar exentos, permanente o temporalmente, de las pruebas de nivel 1...

Cuadro 1 – Niveles de caracterización

La Decisión 2003/33/CE, publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea el 16 de enero de 2003 y de plena aplicación desde el 16 de julio de 2005, no ha sido objeto de un desarrollo legislativo nacional puesto que, tratándose de una Decisión, no requería transposición alguna, siendo por tanto de obligado cumplimiento tal como fue publicada. Sin embargo, la mayor parte de países europeos sí han elaborado disposiciones nacionales que incorporan a su ordenamiento el contenido de la Decisión, ampliando con desarrollos propios que amplían o complementan aspectos del texto europeo o, directamente, dan cumplimiento a obligaciones de desarrollo impuestas a los Estados Miembro por la Decisión, rellenando así las lagunas existentes en la Decisión.

Esta falta de desarrollo de la Decisión sobre criterios de admisión de residuos en vertedero en el ámbito nacional ha tenido como consecuencia, sin embargo, notables dificultades de aplicación asociadas a las lagunas que existían en el texto europeo, diferencias en la interpretación y aplicación del texto en las diferentes Comunidades Autónomas y, a la postre, el reciente desarrollo por parte de algunas CCAA., como es el caso del País Vasco<sup>1</sup>, Cataluña<sup>2</sup> y Galicia<sup>3</sup>, de normativa específica que pretenden solventar las inconsistencias de la actual legislación nacional en sus respectivos ámbitos de competencia.

Ante esta situación, y al hilo de un estudio sobre aplicación de la Decisión 2003/33/CE en la Europa de los 15<sup>4</sup>, realizado por la consultora alemana BIPRO para la Comisión Europea, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM), a través de su Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental sacó a concurso la realización de un “Estudio Sobre la Aplicación y Desarrollo en España de la Decisión 2003/33/CE, del Consejo, sobre Procedimientos y Criterios de Admisión de Residuos en Vertedero”, con nº de expediente expediente nº SV192009. Dicho estudio fue adjudicado a la empresa consultora española

GRUPO INTERLAB, siendo los resultados del trabajo realizado el objeto del presente informe.

## **2. EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA DECISIÓN 2003/33/CE**

Según se ha indicado en la introducción, y de acuerdo con la propia percepción del MARM, existen numerosas deficiencias en la aplicación de la Decisión 2003/33/CE relativa a procedimientos y criterios de admisión de residuos en vertedero. Esto es cierto, no sólo debido a la falta de desarrollo posterior a nivel nacional de algunos aspectos que quedaban en manos de los Estados Miembros, sino también por la falta de homogeneidad en la aplicación de las disposiciones que se recogen en la Decisión.

Ante el citado escenario, y con el objetivo de perfilar futuros desarrollos que permitan optimizar los textos legales actuales y garantizar el cumplimiento de los objetivos primordiales de la legislación de vertederos en España, se ha pretendido en esta primera etapa del trabajo obtener una “instantánea” del nivel de aplicación en España de la Decisión 2003/33/CE, de los éxitos alcanzados y de los problemas encontrados, recopilándose los usos y prácticas habituales tanto de los Servicios de Residuos de la C.C.A.A. implicadas en su implantación como de los principales gestores de vertederos.

Para ello se ha diseñado un cuestionario pormenorizado, cuyos destinatarios fueron los Jefes de los Servicios de Residuos de las 17 CCAA y 2 ciudades autónomas. Las encuestas se han diseñado en un formato de fácil comprensión y respuesta, de modo que su respuesta no conlleva más de 30 minutos. Su envío fue realizado por medios electrónicos y contando con una carta de respaldo emitida por el MARM. Igualmente la encuesta se dirigió, en un versión adaptada al efecto, a los principales gestores de residuos del país poseedores de vertederos (tanto de peligrosos como de no-peligrosos), recabándose de ellos prácticas y opiniones clave sobre la actual aplicación de la Decisión en sus instalaciones. La labor de recogida de información fue apoyada en algunos de los casos por vistas y entrevistas personales, haciéndose especial hincapié en los aspectos prácticos de la gestión, en las percepciones particulares y en el día a día de la labor de estos profesionales.

## 2.1. Contenido y alcance de la encuesta

La encuesta se diseñó cuidadosamente con el fin de abarcar los todos los aspectos relevantes de la implantación de la Decisión, particularmente los contemplados en el pliego de prescripciones técnicas, e incluyendo:

- Aplicación de criterios de admisión para sub-categorías de vertederos de residuos no peligrosos
- Aplicación de pruebas de conformidad (cumplimientos) como continuación a la caracterización básica
- Actuaciones de nivel 3 – verificación “in situ”
- Consideraciones estadísticas aplicadas a las pruebas de cumplimiento
- Exigencias en materia de acreditación / homologación de consultoras y laboratorios
- Aplicación de criterios a residuos monolíticos
- Aplicación de criterios para determinar residuos estables no reactivos
- Incidencia y práctica ante residuos de yeso o con contenido en amianto
- Nivel de calidad de las caracterizaciones básicas recibidas
- Frecuencia y casuística de autorizaciones de superación de límites genéricos para determinados tipos de residuos
- Métodos de ensayo empleados para la realización de pruebas de admisión. Frecuencia de caracterizaciones realizadas por los propios gestores de los vertederos.

Con el objeto de recabar información de primera mano de los principales actores nacionales relacionados con la aplicación de la Decisión 2003/33/CE (fundamentalmente autoridades autonómicas, responsables de la autorización de instalaciones y de la supervisión del cumplimiento legal y, por otra parte gestores de residuos responsables de la explotación de vertederos) se elaboró un cuestionario electrónico, en formato Word, que cubría los principales aspectos de aplicación de la Decisión, incluyéndose además un apartado final de observaciones, en el que se pedían propuestas de mejora de la actual legislación.

Los dos formatos de encuesta utilizadas “Versión\_Administraciones” y “Versión\_Gestores” se encuentran recogidos en el [anexo 1](#) del presente informe.

El listado y detalles de las administraciones y gestores destinatarios de la encuesta se recoge en las [Tablas 1, 2 y 3](#).

Tabla 1: Listado de Administraciones contactadas

CCAA	Persona contacto	Teléfono	e-mail	Estado
ANDALUCIA	<b>Vicente Buzón Kindelán.</b> Jefe de Servicio de Residuos de la Consejería de. Medio Ambiente.	955 00 34 00 / 955 00 35 00	<a href="mailto:svr.dgpca.cma@juntadeandalucia.es">svr.dgpca.cma@juntadeandalucia.es</a>	Respondida
ARAGON	<b>Carlos Cacho Nerín</b>	976714825	<a href="mailto:ccachon@aragon.es">ccachon@aragon.es</a>	Enviada
ASTURIAS	<b>Rodrigo Inocencio Rodríguez Suárez</b>	985105628	<a href="mailto:RodrigoInocen.RodriguezSuarez@asturias.org">RodrigoInocen.RodriguezSuarez@asturias.org</a>	Enviada
BALEARES	<b>Miquel A. Colom Altès.</b> Jefe de Servicio de Residuos	971.17.68.22	<a href="mailto:macolom@dggal.caib.es">macolom@dggal.caib.es</a>	Respondida
CANARIAS	<b>Vicente Garcia Torrego</b> (Jefe Area) Alejandro Gómez (Jefe_servicio)	928-306550	<a href="mailto:vgartor@gobiernodecanarias.org">vgartor@gobiernodecanarias.org</a> <a href="mailto:agomcac@gobiernodecanarias.org">agomcac@gobiernodecanarias.org</a>	Respondida
CANTABRIA	<b>Carlos Diaz</b> - jefe de sección de residuos	942 20 23 23	<a href="mailto:diaz_cf@gobcantabria.es">diaz_cf@gobcantabria.es</a>	Respondida
CASTILLA-LA MANCHA	<b>Luis Fco. Suarez Lasierra</b> (Jefe Servicio de Medio Ambiente Industrial); <b>Javier Ariza Cantero</b> - Jefe Sección Residuos	925 268976 / Sr. Ariza 925286720	<a href="mailto:jariza@jccm.es">jariza@jccm.es</a>	Respondida
CASTILLA Y LEON	<b>Agustín Barahona</b> - Jefe de Area	983-419988	<a href="mailto:tasgarre@jcyL.es">tasgarre@jcyL.es</a>	Enviada
CATALUÑA	<b>Oriol Roselló i Molinari</b> - Jefe Inspección)	935673300 (Oriol)	<a href="mailto:orosello@gencat.net">orosello@gencat.net</a>	Respondida
CEUTA	<b>Celinea de Miguel Ratero</b> (Consejera/ Concejal de MA) <b>Noelia Esteban Rodríguez</b> (Técnico )	956 52 81 22 / 956 62 81 64	<a href="mailto:nesteban@ceuta.es">nesteban@ceuta.es</a>	Enviada

Tabla 1: Listado de Administraciones contactadas (Continuación)

CCAA	Persona contacto	Teléfono	e-mail	Estado
COMUNIDAD VALENCIANA	<b>Carmen de Rosa Torner</b> - Responsable área residuos Industriales; <b>Germán Rodríguez</b> - Responsable Residuos Urbanos	Tel: 961973584 Tel: 961973612 Tel: 961973611	<a href="mailto:derosa_car@gva.es">derosa_car@gva.es</a>	Enviada
EXTREMADURA	<b>Fernando Hernández</b> (Jefe de Servicio) Juan Carlos Senra (Técnico)	924004588 924004604	<a href="mailto:fernando.hernandezm@juntaextremadura.net">fernando.hernandezm@juntaextremadura.net</a>	Respondida
GALICIA	<b>Paz Filloy</b> - Jefa Servicio Lucía Pazos Alfonso (Técnico)	981-541035	<a href="mailto:paz.filloy.mato@xunta.es">paz.filloy.mato@xunta.es</a>	Respondida
LA RIOJA	<b>Angel Martínez</b> (Jefe de Servicio)	941291100	<a href="mailto:Angelmartinezg@larioja.org">Angelmartinezg@larioja.org</a>	Respondida
MADRID	<b>Maria del Sol Santos</b> - Jefe Area Planif y Gestión de Residuos; <b>Maria Luisa Olmos</b> - residuos peligrosos	915 804 591	<a href="mailto:msol.santos@madrid.org">msol.santos@madrid.org</a>	Respondida
MELILLA	No contactado	N/D	N/D	N/D
MURCIA	<b>José Fernando Chicano</b> - Jefe Servicio Residuos	968-228817	<a href="mailto:josef.chicano@carm.es">josef.chicano@carm.es</a>	Enviada
NAVARRA	<b>Miguel Sanz Izco</b> - Jefe Servicio Residuos	848-427584	<a href="mailto:msanzizco@navarra.es">msanzizco@navarra.es</a>	Respondida
PAIS VASCO	<b>Joseba Gonzalez Artaza</b> - Jefe Servicio de Gestión de Residuos	945 01 99 03	<a href="mailto:j-glartaza@ej-gv.es">j-glartaza@ej-gv.es</a> <a href="mailto:hkz-sgr@ej-gv.es">hkz-sgr@ej-gv.es</a>	Respondida

Tabla 2: Listado de Gestores Contactados

Empresa	Instalación	Persona contacto	Teléfono	e-mail	Dirección Postal	Estado
BEFESA GRI	Vertedero RP y No RP	D. Santiago Ortiz Domínguez (D General) Juan Contreras Dtor. Industrial	959 580 043 / 918 844 672	<a href="mailto:santiago.ortiz@befesa.es">santiago.ortiz@befesa.es</a>	Ctra. Nerva. El Madroño; km 0,800 Apdo. de correos 20 21670 NERVA	Respondida
GEMASUR-FCC Ambito	Vertedro industriales NP	D. Manuel Cuerva Sánchez	957 325 434	<a href="mailto:MECuervaS@fcc.es">MECuervaS@fcc.es</a>	Polígono Industrial Las Quemadas. Parc 269 a 27214014 CÓRDOBA	Respondida
ECOACTIVA DE MEDIO AMBIENTE, S.A (FCC AMBITO)	Vertedero Peligrosos (ARARGERSA)	D. José Lulián Imaz Escorihuela	976 014 580	<a href="mailto:JJlmazE@fcc.es">JJlmazE@fcc.es</a>	Ctra. Puebla de Albortón, km 25,200 50139 ZARAGOZA	Respondida
TPA - FCC Ambito	Vertedero de Peligrosos	Dña Mª Jesus Kaifer	913 058 338	<a href="mailto:mkaiferb@fcc.es">mkaiferb@fcc.es</a>	Avda. Logroño km 9,80028042 MADRID	Respondida
SOGARISA	Vertedero Peligrosos	Dña. Mayte Gutiérrez	981 143 424	<a href="mailto:direccion@sogarisa.es">direccion@sogarisa.es</a>	SOGARISA, SOCIEDAD GALLEGA DE RESIDUOS INDUSTRIALES, S.A. Oficina: C/Juana de la Vega 9 - 2 15003 A CORUÑA	Respondida
CESPA CONTEN	Vertedro industriales NP y P	D. Roberto Manterola	944 354 500	<a href="mailto:r.manterola@cespa.es">r.manterola@cespa.es</a>	Henao, 20, 48009 BILBAO	Respondida
COGERSA	Vertedro de RP y No RP	D. Santiago Fernández Fernández	985 314 973 / 985 300 060	<a href="mailto:info@cogersa.es">info@cogersa.es</a>	La Zoreda 33697 SERIN	Respondida
SEGASA	Vertedero No Peligrosos	D. Óscar J. Parga Pérez	981 664 464	<a href="mailto:segasa@segasa.net">segasa@segasa.net</a>	SEGASA, SERVICIOS GALLEGOS AUTÓNOMOS, S.A. Dirección C/ Polígono, 34 - 35 15679 CAMBRE	Enviada

Tabla 2: Listado de Gestores Contactados (Continuación)

Empresa	Instalación	Persona contacto	Teléfono	e-mail	Dirección Postal	
CETRANSA (URBASER)	Vertedero RP	Aitor Jauregui Picabea	983 310 520	<a href="mailto:ajauregui@urbaser.com">ajauregui@urbaser.com</a>	Ctra. de Cabezón; km 6,200 47155 SANTOVENIA DE PISUERGA	Enviada
VERINSUR, VERTEDEROS INDUSTRIALES DEL SUR, S.A.	Vertedero RP	D. Francisco Pérez	956 035 107	<a href="mailto:fperez@verinsur.com">fperez@verinsur.com</a>	Complejo Medioambiental de Bolaños; Ctra. CA P-2015; km 13 11596 EL PORTAL -JEREZ DE LA FRONTERA	Enviada
ATLAS Gestión Medioambiental, S.A.	Depósito controlado de Clase III de Castellolí. (RPs)	D. Xavier Mundet	93-8047137	<a href="mailto:xmundet@comsa.com">xmundet@comsa.com</a>	Deposit Controlat Can Palá s/n Castellolí 08719	Respondida
ASEGRE	ASEGRE (Asociación de Empresas Gestoras de Residuos y Recursos Especiales)	Luís Palomino (Secretario Gral)	91 556 35 60	<a href="mailto:lpalomino@asegre.com">lpalomino@asegre.com</a>	C/ Orense 25 , 2º A- 28020 MADRID	Respondida
ATEGRUS	ATEGRUS (Asociación Técnica para la Gestión de Residuos y Medio Ambiente)	Julian Julián Uriarte Jaureguizar (Presidente)	94-4641990	<a href="mailto:ategrus@ategrus.org">ategrus@ategrus.org</a>	C/ Barroeta Aldamar, 6-1º 48001 Bilbao	Respondida

Nota 1: ASEGRE, asociación a la que se envió encuesta para respuesta como asociación ha hecho en paralelo al envío de Interlab un envío de la encuesta a todos sus asociados.

Nota 2: Diversos gestores contactados indican que no han remitido su encuesta dado que las han enviado a ASEGRE que ha proporcionado respuesta unificada de los asociados de ASEGRE.

Tabla 3: Listado de Visitas-entrevistas presenciales mantenidas (Administraciones / Gestores)

Organismo	Persona entrevistada	Cargo	Situación
ASEGRE (Asociación de Empresas Gestoras de Residuos y Recursos Especiales)	Luís Palomino	Secretario Gral	Realizada
ATEGRUS (Asociación Técnica para la Gestión de Residuos y Medio Ambiente)	Julian Uriarte Jaureguizar	Presidente	Realizada
Agencia Catalana de Residuos	Oriol Roselló	Jefe Inspección	Realizada
Gobierno Vasco. Consejería Medio Ambiente	Joseba Gonzalez Artaza	Jefe Servicio de Gestión de Residuos	Realizada
Xunta de Galicia. Consellería de Medioambiente	Paz Filloy	Jefe Servicio de Residuos	Realizada
Comunidad de Madrid.	Marisol Santos	Jefe Area Planif y Gestión de Residuos	Realizada
Gobierno de Navarra. Departamento de Medio Ambiente	Miguel Sanz	Jefe servicio de residuos	Realizada
SOGARISA	Ramón Blanco	Director Técnico	Realizada
ATLAS Gestión Medioambiental, S.A.	D. Xavier Mundet	Gerente	Realizada
FCC Ámbito	Iván Botamino García	Jefe Dpto. Vertederos	Realizada
CESPA Conten	Juan Carlos Pérez Usandizaga	Gerente de Tratamiento	Realizada
BEFESA	Antonio Rodríguez	Director Comercial	Realizada

Los cuestionarios fueron enviados por correo electrónico junto con una carta del consultor, rogando respuesta con anterioridad al 15 de octubre de 2009, adjuntándose también una carta de apoyo de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (véase anexo 1).

La mayor parte de las respuestas se recibieron por correo electrónico a lo largo del mes de octubre de 2009, realizándose una persecución telefónica de aquellas no recibidas a lo largo de mes de noviembre. Asimismo a lo largo de los meses de octubre a diciembre de 2009 se concertaron y mantuvieron la mayor parte de las entrevistas presenciales con los responsables de Servicios de Residuos de diversas Comunidades Autónomas, así como con representantes de diversas empresas gestoras de residuos y sus asociaciones, que amablemente atendieron la petición de INTERLAB de mantener una entrevista con el fin de colaborar en el presente estudio.

Cabe destacar que a la encuesta respondieron un total de 12 de las 17 CCAA del estado, incluyéndose las más representativas en cuanto a generación de residuos y ubicación de vertederos en su territorio (Andalucía, Cataluña, Galicia, País Vasco, Navarra y Madrid, entre otras), habiéndose mantenido entrevistas personales con representantes de los servicios de residuos de Cataluña, País Vasco, Navarra, Galicia y Madrid.

En lo que respecta a los gestores se enviaron cuestionarios de acuerdo con la Tabla 2, remitiéndose y recabándose la colaboración de las dos principales asociaciones, ASEGRE y ATEGRUS. Se mantuvieron entrevistas con representantes de ambas asociaciones, así como con representantes cualificados de BEFESA GRI, FCC Ambito, CESPAS, SOGARISA y ATLAS Gestión Medioambiental S.A.. El número de respuestas a los cuestionarios enviados a gestores fue algo menor de lo esperado como consecuencia que en muchos casos éstos centralizaron sus respuestas a través de ASEGRE, que envió una posición conjunta de sus asociados. En todo caso se estima que las respuestas recabadas de los gestores representan la situación mayoritaria de los vertederos, tanto de no peligrosos como peligrosos a nivel nacional, puesto que están representadas las entidades gestoras principales de país.

Las tablas 4 y 5 muestran, respectivamente, el resumen de las respuestas a los cuestionarios recibidos, complementadas en los casos pertinentes con el resultado de entrevistas personales (y en un caso telefónica) mantenida con representantes de gestores y administraciones. Los cuestionarios completados se pueden consultar de forma más detallada en el anexo 2 del presente informe.

## 2.2. Resumen de resultados

Tabla 4 – Resumen Administración

	ANDALUCÍA	BALEARES	CANARIAS	CANTABRIA
<b>1- Legislación específica en la CCAA</b>	NO	NO	NO	NO
En desarrollo	NO	NO	NO	NO
<b>2 -Clases de vertedero</b>				
Inertes	X	X	X	
No Peligrosos	X	X	X	X
Peligrosos	X	X		
Otros				
<b>3 - Exigencia de caracterización básica</b>				
Descripción del proceso productivo	X			X
Descripción del aspecto del residuo	X		X	X
Composición y lixiviación	X	X		X
Caracterización RP/No RP	X	X	X	
Código LER	X	X	X	X
Reciclaje/Valorización	X			
Tratamiento previo	X			
<b>4 - Exigencia de pruebas de conformidad</b>				
Anual / 200 T	SI	Anual	NO	SI
<b>5 - Criterio selección parámetros críticos</b>	Según la caracterización básica y según la Decisión 2003/33		NO	Pruebas en lixiviado, se fijan por el gestor según características del residuo
<b>6 - Criterio de valoración de parámetros críticos</b>				
Absoluto	X		NO	
Estadístico			NO	X (criterio variable)
<b>7 - ¿Quién realiza las pruebas de cumplimiento?</b>				
El gestor	Se dan ambos		X	X
El productor				
<b>8 - Verificación in situ</b>				
Inspección visual y comprobación de la documentación	X	X	X	X
Comprobación LER en la autorización del gestor	X	X	X	X
Toma y conservación de muestra			X	X
Pruebas rápidas		Los vertederos son monoresiduo		
<b>9 - Criterios para admisión en vertederos de no peligrosos</b>				
Punto 2.2.2. Decisión 2003/33/CE	X	No se ha dado el caso.		X
Otros				
<b>10 - Incidencia de superación de los valores del punto 2.2.2.</b>	NO	NO	NO	Residuos inorgánicos muy solubles (STD)
<b>11 - Autorización excepcional de superación de parámetros</b>	NO	NO	NO	NO
<b>12 - Biodegradabilidad en la valoración de DOC y TOC</b>	NO	NO	NO (a criterio del laboratorio)	NO
<b>13 - Requisitos para toma de muestras y ensayos</b>		Cualquiera de ellos		
Entidad de Inspección (EN-17020)				
Organismo de Control o similar	X (ECCMA)		X	X
Laboratorio acreditado (EN-17025)				X
Todos los ensayos dentro del alcance de acreditación				
<b>14 - Sugerencias de mejora</b>	Extender la prohibición relativa a la no deposición de residuos que no hayan sido objeto de ningún tto previo, a los residuos valorizables (inc. energética) y así garantizar la jerarquía de gestión de residuos de la Directiva Marco	Dotar de medios a la admon autonómica.	Elaboración de guía sobre Decisión 2003/33/CE. Instauración de tasas que correspondan con el coste real del vertido	Desarrollar norma para establecer obligaciones de admon, productor, entidad gestora, etc.

Tabla 4 – Resumen Administración (continuación)

	CASTILLA-LA MANCHA	CATALUÑA	EXTREMADURA	GALICIA
<b>1- Legislación específica en la CCAA</b>	NO		NO	
En desarrollo	En desarrollo	Decret 69/2009	NO	Orden 20 Julio 2009
<b>2 -Clases de vertedero</b>				
Inertes	X	X		
No Peligrosos	X	X	X	X (Incluye municipales y RCDs)
Peligrosos		X		X
Otros	B1 / B3		B3	
<b>3 - Exigencia de caracterización básica</b>				DCB
Descripción del proceso productivo	X	X		X
Descripción del aspecto del residuo	X	X		X
Composición y lixiviación	X	X		X
Caracterización RP/No RP	X	X (declaración)		X
Código LER	X	X	X	X
Reciclaje/Valorización	X	X		X
Tratamiento previo	X	X		X
<b>4 - Exigencia de pruebas de conformidad</b>				SI
Anual / 200 T	SI	Anual	NO	500t o Anual
<b>5 - Criterio selección parámetros críticos</b>	Según lo obtenido en la caracterización básica. Se están desarrollando criterios para cada tipo de residuo.	Según variabilidad, parámetros muy cercanos a los límites	NO	>=75% valor límite o los 2 que más se aproximen
<b>6 - Criterio de valoración de parámetros críticos</b>				
Absoluto	X	X		X
Estadístico	En desarrollo			
<b>7 - ¿Quién realiza las pruebas de cumplimiento?</b>				
El gestor	X	Se dan ambos		Se dan ambos
El productor				
<b>8 - Verificación in situ</b>				
Inspección visual y comprobación de la documentación	X	X		X
Comprobación LER en la autorización del gestor	X	X	X	X
Toma y conservación de muestra	X	X		X Muestreo mínimo de 200g a petición de la administración
Pruebas rápidas	pH, metales	Parámetros crítico en laboratorio del depósito		Temperatura si lo contempla la caracterización
<b>9 - Criterios para admisión en vertederos de no peligrosos</b>				
Punto 2.2.2. Decisión 2003/33/CE	X	X		X
Otros				DOC
<b>10 - Incidencia de superación de los valores del punto 2.2.2.</b>	NO	TOC en lodos de depuradora. Sulfatos y cloruros cuando STD no se supera: residuos de la industria química o estabilización de residuos	NO	Lodos estabilizados - DOC
<b>11 - Autorización excepcional de superación de parámetros</b>	NO	Autorización de cenizas de incineración de residuos municipales para superar hasta 3 veces el límite según el pto. 2 de la Decisión...	NO	DOC para vertedero de No P. Condicionado a la no peligrosidad para la salud humana y MA
<b>12 - Biodegradabilidad en la valoración de DOC y TOC</b>	NO	Se aplica sólo a biodegradable. Sólo para depósitos de no peligrosos y peligrosos		NO
<b>13 - Requisitos para toma de muestras y ensayos</b>	Se requerirá en la normativa en desarrollo			
Entidad de Inspección (EN-17020)				
Organismo de Control o similar				X (UNE 14899)
Laboratorio acreditado (EN-17025)		X		X (3 años plazo)
Todos los ensayos dentro del alcance de acreditación				
<b>14 - Sugerencias de mejora</b>		Incluir que las pruebas serán realizadas únicamente por laboratorios acreditados. Incluir procedimiento de control o inspección de cumplimiento por parte de la admon. Incorporar las distintas categorías de depósitos recogidas en el anexo.		Métodos de toma de muestras y análisis de residuos monolíticos. Valores límite para monolíticos. Valores límite para No P sin tener en cuenta al celda en la que se depositan. Estudio de los valores límites de sulfatos y cloruros para vertederos de Peligrosos.

Tabla 4 – Resumen Administración (continuación)

	LA RIOJA	MADRID	NAVARRA	PAÍS VASCO
<b>1- Legislación específica en la CCAA</b>	NO		NO	
En desarrollo	NO	NO	NO	Decreto 49/2009
<b>2 -Clases de vertedero</b>				
Inertes		X	X	X
No Peligrosos	X	No hay	X	X
Peligrosos		X		
Otros	B1, B2, celdas amianto			
<b>3 - Exigencia de caracterización básica</b>				
Descripción del proceso productivo		X	X	X
Descripción del aspecto del residuo		X		X
Composición y lixiviación		X	X	X
Caracterización RP/No RP		A veces	X	Carac. Básica 49/2009
Código LER	X		X	X
Reciclaje/Valorización				X
Tratamiento previo				
<b>4 - Exigencia de pruebas de conformidad</b>				
Anual / 200 T	NO	SI	SI (aunque no siempre salvo vert. Pamplona)	X se estudia flexibilizar o endurecer según casos)
<b>5 - Criterio selección parámetros críticos</b>	Los NP no se someten a pruebas dado que no hay convertido con estabilizados y por tanto no aplican tablas Decisión	Lo decide el gestor por proximidad a límites	Resultados próximos a los límites	>= 75% límites. Si alta variabilidad <75%
<b>6 - Criterio de valoración de parámetros críticos</b>				
Absoluto		X	X	
Estadístico				Análisis estadístico sobre 5 pruebas de conformidad.
<b>7 - ¿Quién realiza las pruebas de cumplimiento?</b>				
El gestor		X		
El productor	X		X (a veces se comprueba)	X
<b>8 - Verificación in situ</b>				
Inspección visual y comprobación de la documentación	X	X	X	X
Comprobación LER en la autorización del gestor	X	X	X	X
Toma y conservación de muestra		X	X	En caso de rechazo
Pruebas rápidas	pH y metales en granulares y lodos	pH, humedad. Alguna vez kits PCBs y Cr	NO	T, humedad, comparación foto
<b>9 - Criterios para admisión en vertederos de no peligrosos</b>	Código LER			
Punto 2.2.2. Decisión 2003/33/CE	No se admiten RPs estables no reactivos	No se da el caso. No hay vertederos de NP	X	
Otros				Anexo II 49/2009
<b>10 - Incidencia de superación de los valores del punto 2.2.2.</b>	NO	No se da el caso. No hay vertederos de NP	Tierras de excavación: DOC	TOC, DOC, Metales (Se, Mo en inertes y Zn, Cr en no peligrosos), Cloruros, Sulfatos y humedad
<b>11 - Autorización excepcional de superación de parámetros</b>	NO	Si para inertes. 1 caso autorizado de superación de sulfatos (escombros con yeso)	Si, 1 vez. tierras con alta conc. Pb natural	Sai común curtido cueros, Finos arenaria, Finos granallado, Polvo mezcla de suelos contaminados, Recortes caucho, kevlar y lámina de arcilla.
<b>12 - Biodegradabilidad en la valoración de DOC y TOC</b>	NO	No, aunque podo residuo biodegradable. Se aplica criterio COD, COT menos relevante.	No se ha dado el problema	SI (en proceso IT de relación DBO/DQO para tratamiento en planta)
<b>13 - Requisitos para toma de muestras y ensayos</b>				Según D 49/2009 todos los ensayos bajo norma UNE
Entidad de Inspección (EN-17020)				
Organismo de Control o similar			X	
Laboratorio acreditado (EN-17025)		X	X	X
Todos los ensayos dentro del alcance de acreditación				
<b>14 - Sugerencias de mejora</b>	Definir los diferentes tipos de vertedero a que hace referencia el Anexo B, residuos que pueden admitirse y analíticas a realizar	Legislar y segregar subtipos de vertederos; categoría específica para urbanos; permitir residuos NP en vertedero de P.	Desarrollo de normativa para establecer parámetros y criterios en vertederos de clase B2 y B3	En residuos de tierras se está desarrollando un estudio de zonas geológicas para admitir aquellos residuos que tengan características similares al entorno de cada vertedero aún superando los límites establecidos para ciertos parámetros como algunos metales.

Tabla 5 – Resumen gestores

	ASEGRE	ATEGRUS	BEFESA	CESPA CONTEN
<b>1- Legislación específica en la CCAA</b>	Cataluña / País Vasco / Galicia	Cataluña / País Vasco / Galicia	Cataluña / País Vasco / Galicia	Cataluña / País Vasco / Galicia
En desarrollo				
<b>2 -Clases de vertedero</b>				
Inertes		X		
No Peligrosos	Hay asociados que tmb gestionan de NP	X	X	X
Peligrosos	X	X	X	X
Otros				
<b>3 - Exigencia de caracterización básica</b>				Ficha Caract Basica
Descripción del proceso productivo	X	X	X	X
Descripción del aspecto del residuo	X	X	X	X
Composición y lixiviación	X	X	X	X
Caracterización RP/No RP	X	X	X	No se pide informe
Código LER	X y toma muestra	X	X	X
Reciclaje/Valorización				X Declaración
Tratamiento previo				
<b>4 - Exigencia de pruebas de conformidad</b>				
Anual / 200 T	X (puede ser menor el tiempo si se observan variaciones)	X	SI	SI
<b>5 - Criterio selección parámetros críticos</b>	Según Dec. 2003/33	Lo decide el gestor	Según proximidad se eligen críticos. A veces batería completa.	Los del Decreto Vasco
<b>6 - Criterio de valoración de parámetros críticos</b>				
Absoluto	X	X	X	X
Estadístico			Se dispone de series históricas. Si algun residuo supera se trata.	Por el momento no se pide, aunque tiene series históricas
<b>7 - ¿Quién realiza las pruebas de cumplimiento?</b>				
El gestor	X	Generalmente el gestor	X	X
El productor	Caract. RP	Caract RP	A veces RP	
<b>8 - Verificación in situ</b>				
Inspección visual y comprobación de la documentación	X	X	X	X, video de descarga
Comprobación LER en la autorización del gestor	X	X	X	X
Toma y conservación de muestra	X	A veces	X	X Sospechosos
Pruebas rápidas	pH		Inflamabilidad, pH, humedad	Humedad, T
<b>9 - Criterios para admisión en vertederos de no peligrosos</b>				
Punto 2.2.2. Decisión 2003/33/CE	X	X	X y según pida CCAA	Decreto Vasco
Otros				
<b>10 - Incidencia de superación de los valores del punto 2.2.2.</b>			COD, COT, Cloruros, Sulfuros	COT
<b>11 - Autorización excepcional de superación de parámetros</b>	NO	NO	NO, si supera se estabiliza	Cloruros y COT. Cenizas y finos de fundición.
<b>12 - Biodegradabilidad en la valoración de DOC y TOC</b>	Sólo Cataluña lo recoge en su legislación	No, pero de acuerdo	NO	SI, en función de DBO/DQO
<b>13 - Problemas / Incidencias encontrados</b>				
Fuego / focos accidentales	NO		NO	
Desprendimiento de gases	NO		NO	X
Residuos húmedos / excesiva generación de lixiviados	NO		NO	X
Residuos monolíticos				X (fibrocemento, ruedas)
<b>14 - Requisitos para toma de muestras y ensayos</b>				
Entidad de Inspección (EN-17020)				
Organismo de Control o similar				
Laboratorio acreditado (EN-17025)				
Todos los ensayos dentro del alcance de acreditación	X			
<b>15 - Sugerencias de mejora</b>	Documento de posición de ASEGRE sobre modificación Decisión 2003/33	Fijar limites para clases de vertederos de NO que faltan; criterios de biodegradabilidad; criterios de ER	Documento de posición de ASEGRE sobre modificación Decisión 2003/33	Documento de posición de ASEGRE sobre modificación Decisión 2003/33

Tabla 5 – Resumen gestores (continuación)

	COGERSA	FCC AMBITO	ATLAS (COMSA)
<b>1- Legislación específica en la CCAA</b>	NO en Asturias	Cataluña / País Vasco / Galicia	Cataluña
En desarrollo			
<b>2 -Clases de vertedero</b>			
Inertes	X		X
No Peligrosos	X	X	X
Peligrosos	X	X	X
Otros			
<b>3 - Exigencia de caracterización básica</b>		X	X
Descripción del proceso productivo	X	X	X
Descripción del aspecto del residuo	X	X	X
Composición y lixiviación	X	X	X
Caracterización RP/No RP	X	X	X
Código LER	X	X	X
Reciclaje/Valorización		X	X
Tratamiento previo			X
<b>4 - Exigencia de pruebas de conformidad</b>			
Anual / 200 T	SI, pero no se exige al productor	En general, SI	Si, la realiza el gestor.
<b>5 - Criterio selección parámetros críticos</b>	Según 2003/33 y pH	Según caract. Básica. Por proximidad a límites.	Según caract. Básica y a criterio del laboratorio.
<b>6 - Criterio de valoración de parámetros críticos</b>			
Absoluto	X	Absoluto	Absoluto
Estadístico		Si no cumple se estiabiiza en planta anexa a vertedero.	
<b>7 - ¿Quién realiza las pruebas de cumplimiento?</b>			
El gestor	Ambas situaciones	En general si aunque se dan ambos casos	Siempre el gestor.
El productor			
<b>8 - Verificación in situ</b>			
Inspección visual y comprobación de la documentación	X	X	x
Comprobación LER en la autorización del gestor			x
Toma y conservación de muestra	X	A veces	x
Pruebas rápidas	pH	Inflamabilidad	Aspecto, textura, olor y color.
<b>9 - Criterios para admisión en vertederos de no peligrosos</b>			
Punto 2.2.2. Decisión 2003/33/CE	X	X	
Otros			
<b>10 - Incidencia de superación de los valores del punto 2.2.2.</b>	NO		Los que superan se llevan a deposito controlado
<b>11 - Autorización excepcional de superación de parámetros</b>	Arenas con alta conc metales, pero en 95% casos cumplian	Cloruros, sulfatos, COT y COD	Si. Para cenizas de incineración.
<b>12 - Biodegradabilidad en la valoración de DOC y TOC</b>	NO	NO	Si. Sólo sustancias biodegradables.
<b>13 - Problemas / Incidencias encontrados</b>			
Fuego / focos accidentales	NUNCA		Nunca
Desprendimiento de gases	NUNCA	NO	A veces
Residuos húmedos / excesiva generación de lixiviados	FRECUENTEMENTE		A veces
Residuos monolíticos	A VECES		A veces
<b>14 - Requisitos para toma de muestras y ensayos</b>			
Entidad de Inspección (EN-17020)			
Organismo de Control o similar			
Laboratorio acreditado (EN-17025)		X	x
Todos los ensayos dentro del alcance de acreditación	X		
<b>15 - Sugerencias de mejora</b>	Definir analítica y métodos que el productor debe realizar. Considerar caracterizaciones de no peligrosos que por su naturaleza no tiene sentido analizar todos los parámetros.	Desarrollo técnico completo del RD 1481/2001, incluyendo su anexo 1. Criterios para No Peligrosos, criterios biodegradabilidad; Condicionar superación de límites a capacidad técnica y seguridad de instalación.	Necesario un periodo de tiempo suficientemente generoso para detectar las problemáticas que puedan presentarse a productores, transportistas y gestores finales del residuo.

## 2.3. Discusión de resultados

El artículo 12 y el anexo II del RD 1481/2001 establecen las pautas a seguir en materia de procedimiento de admisión de residuos en vertedero, indicándose que la admisibilidad de un residuo deberá poder ser comprobada por el gestor a través del análisis de los documentos presentados con el residuo y a través de la aplicación de los “Procedimientos generales de prueba y admisión” que en el real decreto ya se establecían en tres niveles: caracterización básica, pruebas de cumplimiento y verificación in situ. Estos aspectos han sido desarrollados de manera más amplia por la Decisión 2003/33/CE estableciéndose criterios analíticos de admisión para distintos tipos de vertederos, proporcionándose indicaciones acerca de los métodos de toma de muestras y análisis y detallándose en mayor medida el propósito, alcance y obligaciones relacionadas con cada nivel de prueba.

Como se ha indicado existen sin embargo lagunas y dificultades prácticas para la implementación de esta Decisión, en parte por la falta de desarrollo de aspectos que la Comisión Europea dejaba en manos de cada Estado, en parte por deficiencias propias del propio texto de la Decisión y que con su aplicación ha demostrado carencias y dado lugar a diferentes interpretaciones no solo entre estados sino, dentro de regiones o de Comunidades Autónomas, como ha sucedido en España.

A continuación se describen los principales hallazgos en cuanto a inconsistencias y diferencias de interpretación y aplicación detectadas a través de los cuestionarios y entrevistas personales realizadas entre los principales actores nacionales.

### 2.3.1. Caracterización básica

La caracterización básica es el nivel de investigación más exhaustivo contemplado en la Decisión 2003/33/CE para un residuo, siendo esencial para la decisión inicial de admisión de un residuo nuevo por parte del gestor del vertedero y constituyendo el punto de partida para cualquier otro tipo de actuación o estrategia de control. De acuerdo con el texto de la Decisión, una caracterización básica es

*La caracterización básica es el primer paso del procedimiento de admisión y constituye la recogida de toda la información necesaria para eliminar el residuo de forma segura a largo plazo. La caracterización básica será obligatoria para cada tipo de residuo.*

El punto 1.1.2 del anexo de la Decisión establece el contenido mínimo que debe contener el expediente de la caracterización básica:

Los requisitos fundamentales para la caracterización básica de los residuos son los siguientes:

- a) fuente y origen del residuo;
- b) información sobre el proceso de producción del residuo (descripción y características de las materias primas y de los productos);
- c) descripción del tratamiento aplicado de conformidad con lo dispuesto en la letra a) del artículo 6 de la Directiva vertidos, o una declaración de las razones por las que ese tratamiento no se considera necesario;
- d) datos sobre la composición del residuo y el comportamiento de lixiviación, si procede;
- e) aspecto del residuo (olor, color, forma física);
- f) código conforme a la lista europea de residuos (Decisión 2001/118/CE de la Comisión) (1);
- g) en lo que se refiere a los residuos peligrosos en caso de una entrada espejo: las características de peligrosidad pertinentes con arreglo al anexo III de la Directiva 91/689/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a los residuos peligrosos (2);
- h) información que pruebe que el residuo no esté excluido en virtud de los criterios mencionados en el apartado 3 del artículo 5 de la Directiva vertidos;
- i) la clase de vertedero a la que puede admitirse el residuo;
- j) en su caso, precauciones adicionales que deben tomarse en el vertedero;
- k) comprobación de la posibilidad de reciclado o valorización del residuo.

Cuadro 2 – Contenido mínimo de la caracterización básica

Asimismo, en el punto 1.1.3.a de su anexo, la Decisión indica, en referencia a las realización de pruebas en los residuos de producción regular en un mismo proceso que:

Para estos residuos, la caracterización básica incluirá los requisitos fundamentales correspondientes de la lista del punto 1.1.2 y, en particular, los siguientes:

- **gama de composiciones** de los residuos específicos,
- **gama y variabilidad de las propiedades características**,
- si procede, la lixivabilidad de los residuos determinada mediante una **prueba de lixiviación por lotes** y/o una ensayo de percolación y/o una prueba de dependencia del pH,
- **principales variables que deberán someterse a prueba periódicamente.**

De este modo se establecen un conjunto de obligaciones nada sencillo relativo a la información a recopilar, pruebas analíticas a realizar y como estas deben emplearse posteriormente para definir pruebas posteriores de vigilancia periódica (de cumplimiento o de conformidad como se define en la Decisión). Como es sabido existen exenciones de las obligaciones de realizar pruebas de caracterización para determinados tipos de residuos inertes, para los residuos municipales y para aquellos casos en los que la justificadamente no se considera necesario o sea imposible o impracticable la realización de pruebas.

Sin embargo, según se colige del presente estudio, la interpretación y aplicación de los requisitos en materia de caracterización básica varían entre distintas administraciones y gestores.

Según se ha podido apreciar, todos los gestores, tanto en lo referente a residuos peligrosos – con estrictos procedimientos de admisión y control establecidos legalmente hace más de 20 años, como a los no peligrosos e inertes, requieren que el productor suministre información básica acerca del residuo en formatos más o menos estandarizados, ya sea por parte del propio gestor (la inmensa mayoría dispone de formatos de solicitud de admisión propios) como por la administración.

Queda patente que en términos generales estos formatos recogen, aunque de forma a veces muy resumida, los aspectos enunciados en el Cuadro 1, salvo en lo referente al tratamiento previo que han recibido los residuos y a sus posibilidades de reciclado valorización. Estos aspectos no son pedidos de forma sistemática por todos los gestores entrevistados, ni tampoco por todas las administraciones.

Por otra parte en lo relativo a información sobre los peligros de los residuos con entrada espejo, se aprecia que, aunque tanto gestores como administraciones exigen como norma general una declaración al respecto, así como la codificación de los residuos peligrosos según tablas del RD 833/88 (modificada según RD 952/97), no existe una práctica sistemática de exigir “informes de caracterización” en los que esto se justifique de forma pormenorizada, lo que probablemente dificulta la valoración de este aspecto puesto que las pruebas de comprobación generalmente al alcance del gestor, se limitan a los análisis físico-químicos de la Decisión. Esto puede ser especialmente relevante en el caso de los residuos admitidos como no peligrosos, que puedan cumplir los criterios analíticos de la Decisión – sobre residuo y lixiviado – pero que pudieran exhibir otras características de peligrosidad (identificadas por código H), que no siempre es fácil determinar ni comprobar.

A este respecto cabe destacar en todo caso que no es un requisito legal explícito el requerir del productor un informe exhaustivo de caracterización como peligroso / no peligroso, sino sólo *“las características de peligrosidad pertinentes con arreglo al anexo III de la directiva 91/689/CEE”*, aunque en opinión del consultor resulta claro que la adecuada toma de decisiones respecto al destino de un residuo sólo se puede fundamentar sobre la base de una adecuada y bien documentada caracterización previa de los residuos con entrada espejo (y no sólo en función de los parámetros de la Decisión).

Desde el punto de vista de los requisitos exigidos por las distintas administraciones consultadas (véase punto 3 de la tabla 4) existe una gran disparidad en cuanto lo demandado de una caracterización básica, desde aquellas que exigen respuesta a todos los puntos del Cuadro 1 a aquellas que tan sólo exigen la asignación del LER, sin requerir un informe documentado de aspecto, comportamiento, composición ni características de peligrosidad.

Por último cabe destacar que el punto 1.1.3.a del anexo de la Decisión indica que en la caracterización básica debe describirse la “gama de composiciones” y la gama y variabilidad de las propiedades características” de los residuos, lo que necesariamente conduce a este tipo de valoraciones al análisis de más de una muestra y al tratamiento estadístico de datos, que permita la determinación de la varianza de la concentración de parámetros relevantes,

el cálculo de valores centrales como la media aritmética o la mediana y la realización de hipótesis de cumplimiento soportadas por contrastes de hipótesis con los niveles de confianza que para cada caso sean necesarios. Estos aspectos se exploran exhaustivamente en la norma sobre muestreo de residuos UNE-EN 14899 y en el informe técnico relacionado UNE-CEN/TR 15310-1:2008 sobre “Orientación en la selección y aplicación de los criterios de muestreo bajo diversas condiciones”, discutiéndose más extensamente en el apartado 4 del presente informe.

A este respecto cabe destacar que ni en la Decisión ni en las disposiciones recientemente elaboradas por Cataluña, País Vasco o Galicia se abunda en el aspecto de la valoración de la variabilidad del comportamiento del residuo en la etapa de caracterización básica, aunque en todos los casos se transcribe el contenido de la Decisión a este respecto y, salvo en Cataluña, se hace referencia a la norma UNE-EN 14899 sobre toma de muestras de residuos y a la posterior normativa UNE que pudiera surgir (salvo en el caso de Cataluña, en la que se hace referencia a su Orden de 1 de junio de 1995 sobre acreditación de laboratorios, también a efectos de muestreo).

En la práctica y según los datos recabados, salvo casos absolutamente excepcionales, ninguna Administración requiere la presentación de una caracterización básica en la que se analicen varias muestras de un mismo residuo que procede de un proceso de producción regular, ni se requiere tratamiento estadístico alguno. En el caso de los gestores este requerimiento no se realiza jamás al productor, aunque el gestor acaba disponiendo de series históricas de las pruebas de conformidad que realiza que sí pueden dar lugar a un tratamiento probabilístico.

#### **1. Resumen caracterización básica:**

- Amplia divergencia en exigencia de contenido y soporte documental entre CCAA.
- Mayor convergencia y exhaustividad de exigencia por parte de gestores, aunque variable también, mayor en caso de residuos “sospechosos”
- El gestor siempre se requiere declaración y datos básicos sobre peligrosidad, aunque no siempre se demanda del productor un informe de caracterización propiamente dicho.
- En general el alcance de la caracterización básica se base en un conjunto de pruebas analíticas realizadas en una sola muestra de residuo, sin atender a criterios de variabilidad (que exigirían análisis sobre varias muestras).
- Cuando se realiza la caracterización básica la realiza el productor sólo o apoyado por el gestor. La caracterización como RP / No RO, cuando se lleva a cabo suele ser casi siempre realizada por el productor.

*Cuadro 3 – Resumen de resultados observados a partir de datos de encuesta en relación a la caracterización básica*

### 2.3.2. Pruebas de conformidad

De acuerdo con la Orden, las pruebas de conformidad (o de cumplimiento) se deben realizar con el fin de comprobar que el residuo recibido mantiene su identidad y se corresponde con el admitido inicialmente en el vertedero a partir de la información exhaustiva de la caracterización básica.

A este respecto el punto 1.2 del anexo de la Decisión indica:

*La función de las pruebas de conformidad es **comprobar periódicamente** flujos de residuos generados con regularidad.*

*Los parámetros pertinentes que se deberán comprobar serán los determinados en la caracterización básica y deberán estar relacionados con la información que se desprenda de ésta. Sólo será necesario examinar los **parámetros críticos** (variables principales) que determine la caracterización básica. El examen deberá demostrar que el residuo cumple los valores límite en lo que se refiere a los parámetros críticos.*

*Las pruebas efectuadas para comprobar la conformidad serán una o varias de las empleadas para la caracterización básica y deberá consistir en al menos una prueba de lixiviación con un lote. A este efecto se utilizarán los métodos enumerados en el punto 3.*

.....

*La prueba de conformidad se efectuará al menos una vez al año y, en cualquier caso, la entidad explotadora deberá garantizar que se efectúe en el grado y con la periodicidad que determine la caracterización básica.*

En lo referente a la periodicidad de las pruebas de conformidad, el RD 1481/2001 indica en su anexo II que esta se realizará “cada 200 toneladas de residuo enviadas al vertedero y una vez al año si el tonelaje anual es menor o se trata de cargamentos de residuos de características uniformes y de la misma procedencia...”

Según la experiencia de la entidad consultora, la realización de pruebas de conformidad, así como su exigencia por las administraciones, no sigue un patrón definido en todas las CCAA, siendo una relativa novedad un proceso que ha ido adquiriendo importancia gradual desde la completa entrada en vigor de la Decisión en 2005.

Según los resultados de la encuesta se aprecia que los gestores declaran mayoritariamente realizar caracterizaciones de conformidad, como mínimo anuales o según se exija en cada CCAA. En algunos casos se ha indicado que en determinados tipos de residuos bien conocidos se plantea la ampliación a plazos superior a un año, pero no suele ser el caso dado que es en el interés del propio gestor cerciorarse de que la naturaleza del residuo recibido se mantiene constante. A este respecto cabe resaltar que en la enorme mayoría de los casos es el propio gestor quién realiza la toma de muestras y los análisis para las pruebas de conformidad, como parte del servicio que proporciona al productor y dentro de sus protocolos de control. Aunque a primera vista pudiera parecer, como indica la legislación básica y algunas de las disposiciones autonómicas específicas, que es

responsabilidad del productor hacerse cargo de las caracterizaciones de sus residuos, en la práctica esta función es asumida generalmente por los gestores, salvo situaciones puntuales que justifican lo contrario.

Se ha podido constatar también que en muchos casos esta práctica habitual por parte de la empresa gestora lleva a que, en caso de superación de los parámetros críticos analizados, sea el propio gestor quien directamente asuma la decisión de estabilizar el residuo en una planta anexa (que en muchos casos se encuentra disponible) con el fin de solucionar el problema y permitir el vertido en el tipo de vertedero previsto.

En lo referente a la exigencia por parte de las administraciones de la presentación de pruebas de conformidad, se aprecian notables diferencias de criterio declaradas entre unas CCAA y otras, dándose casos en los que estas NO se están pidiendo a otras en las que se pide sólo para determinados vertederos o residuos sospechosos o otras en las que se pide de forma sistemática.

En lo que se refiere a los criterios para la determinación de cuales han de ser los parámetros críticos, la Decisión sólo indica que se hará en función del resultado de la caracterización básica pero sin mayor ilustración al respecto. En este sentido la encuesta revela que la práctica habitual de administraciones y productores ha sido aplicar el sentido común basado en la mera proximidad a los umbrales aplicables al tipo de vertedero, según los parámetros y límites numéricos establecidos en la Decisión.

Desde que el Departamento de Medioambiente del Gobierno Vasco publicó en febrero de 2007 un borrador con "*Criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos del País Vasco*" que posteriormente se incorporaron a su Decreto 49/2009 sobre vertederos, el criterio allí establecido ha ganado popularidad habiéndose incorporado en los mismos términos a la Orden de 20 de julio de 2009 de la Xunta de Galicia. El criterio aplicado en el País Vasco es simple, debiéndose analizar aquellos parámetros que iguallen o superen el 75% del valor límite aplicable para cada parámetro respecto al tipo de vertedero de destino o, en aquellos casos en lo que no se alcance este criterio, se seleccionaran los dos parámetros que más se aproximen.

Según se describe en el punto 2.3.4. en mayor profundidad, sólo el País Vasco plantea en su Decreto la aplicación de criterios estadísticos a la valoración de series de datos relativos a los parámetros críticos procedentes de al menos 5 pruebas de conformidad, requiriéndose un nivel de significación del 0.01 para el contraste de hipótesis según el cual se valora el cumplimiento. Este elevado nivel de confianza exigido a los resultados de una serie limitada de pruebas de cumplimiento puede conducir a un elevado número de rechazos por incumplimiento, aunque hasta la fecha parece no existir demasiada experiencia a este respecto.

Ninguna otra CCAA exige ni aplica hasta la fecha criterios estadísticos de valoración, aunque según información remitida por Castilla- La Mancha está en proceso de elaboración legislación autonómica que tocará este y otros aspectos relacionados con la admisión de residuos en vertedero.

## 2. Resumen caracterización de conformidad:

- Realizadas generalmente por los gestores, siendo su realización una práctica muy generalizada como elemento de control del propio vertedero.
- Periodicidad generalmente anual o menor. La CCAA gallega eleva requerimiento a 500 t en lugar de las 200 t del RD 1481/2001.
- Amplia variabilidad de exigencia por parte de las CCAA. Algunas no lo requieren.
- Selección de parámetros críticos generalmente por proximidad. Desde su publicación gana popularidad criterio del 75% aplicado en el País Vasco.
- Muy escasa o nula aplicación de criterios estadísticos en la valoración del cumplimiento de partidas de residuos frente a los límites. Generalmente se aplica criterio de cumplimiento absoluto.

*Cuadro 4 – Resumen de resultados observados a partir de datos de encuesta en relación a las pruebas de conformidad*

### 2.3.3. Verificación “in situ”

De acuerdo con el anexo II del RD 1481/2001 la verificación in situ supone una verificación rápida y simple a realizar por el gestor, generalmente a la entrada de cada partida, mediante la cual se debe comprobar, al menos visualmente, que el residuo recibido se corresponde con el que ha sido aceptado en base a una caracterización básica y posteriormente vigilado a mediante pruebas de conformidad.

#### *Nivel 3. Verificación in situ:*

*Para confirmar que los residuos que lleguen al vertedero en un cargamento son los mismos que han sido sometidos a pruebas de cumplimiento (nivel 2) y que coinciden con los reflejados en los documentos que acompañan a los residuos, se aplicarán métodos de comprobación rápida, que podrán consistir en una inspección visual del cargamento de residuos antes y después de su descarga en el vertedero.*

*.....*

*Por último, cada cargamento de residuos que llegue a la entrada del vertedero deberá someterse a la verificación de nivel 3.*

Por otra parte la Decisión 2003/33/CE indica que:

*Cada carga de residuos que se entregue en un vertedero se someterá a una inspección visual antes y después de su descarga. Se examinará asimismo la documentación reglamentaria.*

*En lo que se refiere a los residuos depositados por su propio productor en un vertedero que él mismo controle, esta verificación podrá llevarse a cabo en el punto de expedición.*

*El residuo podrá ser admitido en el vertedero si es el mismo que ha sido sometido a la caracterización básica y a las pruebas de conformidad y figura descrito en los documentos que lo acompañan. De lo contrario, el residuo no podrá ser admitido.*

*Los Estados miembros establecerán los requisitos de prueba para la verificación in situ, incluidos, llegado el caso, métodos rápidos de prueba.*

*Tras la entrega se tomarán muestras periódicamente. Las muestras que se tomen se conservarán tras la admisión del residuo durante un período que determinará cada Estado miembro [no inferior a un mes. Véase la letra b) del artículo 11 de la Directiva vertidos].*

Por otra parte las disposiciones autonómicas de País Vasco, Cataluña y Galicia reproducen los aspectos esenciales del real decreto y de la decisión, ampliando detalles tales como el número de muestras a tomar (generalmente 3), la cantidad – entre 200 g y en kilo y el tiempo de almacenamiento de estas. En todos los casos se exige como mínimo un control visual del residuo, incluyendo en algunos casos la toma de fotografías, la inspección de los documentos de admisión y, si procede, de control y seguimiento, el control de la carga y, llegado el caso la realización de pruebas rápidas de comprobación (generalmente limitadas a la temperatura y la humedad).

Según los resultados de la encuesta realizada, la totalidad de los gestores afirman realizar pruebas de conformidad a la llegada de residuos al vertedero, consistiendo estas en la inspección visual y la comprobación de los documentos que acompañan al residuo (documento de aceptación, documento de control y seguimiento en el caso de peligrosos). En la mayor parte de los casos se toman fotografías, o incluso se filma en video el cargamento recibido, a veces en el momento de la descarga a la celda de destino. Asimismo la mayor parte de los gestores afirman tomar una muestra de cada residuo a la entrada, almacenándola durante un tiempo variable.

Estos requisitos se corresponden con las exigencias de la mayor parte de las Comunidades Autónomas, estableciéndose en la Decisión la obligación de conservar las muestras durante un mínimo de un mes. La Decisión también establece la necesidad de efectuar la inspección visual antes y después de la descarga. Este aspecto no siempre es posible de cumplir puesto que la carga de los camiones viene generalmente cubierta, siendo posible en el mejor de los casos la inspección antes de la descarga de la capa superior, pero no de la masa del residuo.

Respecto a los análisis rápidos empleados por los gestores a la recepción de una partida de residuo, la situación es muy variable, pero oscila de la no realización de medidas, a la medida de un número muy limitado de parámetros simples tales como la temperatura (mediante un termopar), la humedad (mediante sensores de infrarrojos) o el pH. El resto de medidas que en algunos casos se realizan sobre las muestras recibidas se suelen realizar en laboratorios fijos y no entrarían dentro de la definición de medidas in situ. Algunos

gestores y administraciones indican que en casos excepcionales se han hecho comprobaciones rápidas mediante kits de ensayos rápidos para PCBs, hidrocarburos o cromo VI, sin embargo estas situaciones son la excepción y no la regla.

No se ha podido constatar el empleo de otro tipo de equipamiento analítico de mayor sofisticación, tales como analizadores in situ de metales por fluorescencia de rayos-X o de compuestos orgánicos volátiles mediante equipos con detectores FID o PID, disponibles y usados con cierta frecuencia en la investigación de emplazamientos contaminados.

### 3 Resumen verificación in situ:

- Realizadas por lo gestores a la recepción de los residuos en el vertedero.
- Inspección visual, comprobación de documentación y toma de muestra realizadas de forma sistemática en el caso de los residuos peligrosos e industriales no peligrosos.
- Análisis de comprobación realizados en laboratorio del gestor.
- Escaso uso de análisis rápidos – limitados a pH, humedad y temperatura
- No se ha constatado uso de otro tipo de técnicas rápidas (kits colorimétricos, analizadores FID/PID. XRF).

Cuadro 5 – Resumen de resultados observados a partir de datos de encuesta en relación a la verificación “in situ”

#### 2.3.4. Aplicación de criterios estadísticos

Según se deduce de la encuesta y tras lo apuntado en el punto 2.3.1. relativo a la caracterización básica, no existen claras indicaciones sobre como se debe valorar la variabilidad en la composición del residuo en el nivel 1 de caracterización, sin que hasta la fecha este sea un requisito requerido por ninguna CCAA salvo casos excepcionales.

En lo referente a como se valora el cumplimiento de las pruebas de conformidad, hasta la fecha la práctica habitual declarada por gestores y CCAA ha sido la aplicación absoluta del criterio límite, considerando el residuo no admisible en caso de superación de cualquier partida muestreada (lo que suele llevar a una estabilización por el gestor). Recientemente el Decreto 49/2009 ha incorporado un requisito estadístico de aplicación a la valoración del cumplimiento las pruebas de conformidad indicándose que:

#### 2.2.– Análisis estadístico de las pruebas de cumplimiento.

*Dicho análisis estadístico se realizará sobre los resultados de al menos 5 pruebas de conformidad de los parámetros críticos de dicho residuo.*

*El método estadístico utilizado deberá ser consecuente con el número de datos disponibles y adecuados a la función de distribución de probabilidad de cada parámetro, siendo posible que cada parámetro crítico siga un tipo de función diferente. Si la distribución de probabilidad del parámetro crítico no sigue una distribución normal o de Gauss, entonces los datos podrán ser transformados previamente (como en el caso de la distribución log-normal) o bien se utilizará un test estadístico basado en una distribución libre.*

*El contraste de la hipótesis deberá verificarse para un nivel de significación del contrato ( $\alpha$ ) [probabilidad de cometer un error tipo I: rechazar una hipótesis que es cierta] no inferior a 0,01.*

Este tipo de enfoque se aproxima mucho más las consideraciones estadísticas realizadas de forma mucho más prolija en el informe técnico UNE-CEN/TR 15310-1 y llevan escaso tiempo requiriéndose en el País Vasco, por lo que la experiencia en la aplicabilidad de esta sistemática es limitada. *A priori* sin embargo, y salvando la cierta complejidad y el rechazo que la aplicación de técnicas estadísticas supone para muchos, la realización de estudios sobre series acumuladas de datos procedentes de pruebas de cumplimiento parece una forma al menos parcial de salvar la ausencia de repeticiones en las pruebas de caracterización básica aunque, claro está, se ve limitado por la representatividad de esta, que lleva a la determinación de los parámetros críticos.

Salvo en el País Vasco y excepto en casos excepcionales, no existe exigencia ni experiencia en la aplicación de criterios estadísticos a la valoración del cumplimiento de pruebas de caracterización básica ni de conformidad.

#### 4. Resumen tratamiento estadístico:

- Muy escasa o nula aplicación de criterios estadísticos en la valoración del cumplimiento de partidas de residuos frente a los límites. Generalmente se aplica criterio de cumplimiento absoluto.
- El Decreto 49/2009 Vasco establece por primera vez en España criterios a este respecto.

*Cuadro 6 – Resumen de resultados observados a partir de datos de encuesta en relación al tratamiento estadístico de datos de cumplimiento de parámetros críticos.*

#### 2.3.5. Criterios de admisión en vertederos de no-peligrosos

Como es sabido el punto 2.2.2. de la orden establece criterios para el vertido de residuos no peligrosos, sin embargo estos tienen un límite de aplicación limitado a residuos granulares no peligrosos que vayan a ser vertidos en celdas que admiten también residuos peligrosos estables no reactivos. El punto 2.3. del anexo de la Decisión fija los mismos criterios para

los residuos peligrosos estables no reactivos que pueden verterse en vertederos de residuos no peligrosos. Por tanto, los valores límite sobre lixiviado a aplicar, y algunos sobre el propio residuo en el caso de los residuos peligrosos estables no reactivos, sólo conciernen a un tipo muy concreto de vertedero, destinado al covertido de residuos peligrosos estabilizados y residuos inorgánicos de bajo contenido orgánico, que se ajustan a la subclase de vertedero no peligroso del tipo B2a, según nomenclatura de la Decisión.

Estos criterios por tanto no son de aplicación por tanto ni a vertedero de residuos mayoritariamente orgánicos, ni a los mixtos, ni a los que admiten residuos fundamentalmente inorgánicos pero que al no cumplir con los criterios del punto 2.2.2., no pueden ser vertidos en la misma celda que residuos peligrosos estables no reactivos. Asimismo tampoco existen criterios adoptados para residuos monolíticos (véase punto 2.3.10.), debiendo los Estados Miembro fijar límites al respecto, según encomienda la decisión.

Esta importante laguna de la Decisión, no cubierta mediante ningún desarrollo de ámbito nacional, es considerada tanto por las Administraciones como por los gestores consultados como una de las principales carencias de la actual legislación. Esta indefinición es también causa de enormes dificultades tanto para consultores como administraciones a la hora de valorar la admisibilidad de residuos no peligrosos en vertederos distintos de los del tipo B2a. Dada la escasa incidencia detectada de prácticas de covertido de residuos estabilizados con residuos no peligrosos, atendiendo a la legislación actual los límites de la decisión no deberían ser casi nunca de aplicación.

Sin embargo, ante la falta de mejor criterio, la práctica de la enorme mayoría de comunidades autónomas y de gestores ha sido la de aplicar los límites en lixiviado 1/10 proporcionados en la tabla 2.2.2. del anexo de la Decisión a todos aquellos residuos caracterizados como no peligrosos y que no cumplen con los umbrales para ser vertidos como inertes. Es decir los límites establecidos para el co-vertido de residuos no peligroso con peligrosos estabilizados se ha en la práctica habitual convertido en el estándar para la admisión en CUALQUIER tipo de vertedero de no peligrosos, a excepción de los vertederos de residuos municipales, a los que la Decisión de una consideración especial y no requieren pruebas.

Este criterio que de facto goza de aplicación casi generalizada, ha sido incorporada a los decretos del País Vasco y de Cataluña, así como a la Orden promulgada en Galicia, todas ellas en el año 2009, estableciéndose en todas ellas la obligatoriedad de aplicar los valores extraídos del punto 2.2.2. de la Decisión, a la totalidad de vertederos en los que se admitan residuos no peligrosos distintos de los municipales.

A título de ejemplo, el Decreto 69/2009 Catalán fija específicamente criterios para todo tipo de residuos granulares no especiales (no peligrosos) que vayan a ser vertidos en vertederos de no peligrosos, distintos de aquellos que admiten residuos peligrosos estables no reactivos. Se aplican todos los parámetros en lixiviado L/S 1/10 del punto 2.2.2. de la Decisión, añadiéndose únicamente un límite inferior de pH para el lixiviado generado de 6.0

unidades de pH e indicándose que el límite de COD (carbono orgánico disuelto) podrá superarse si el vertedero está diseñado para recibir residuos orgánicos o si este COD se ve aportado por materia no biodegradable. Igualmente, este decreto establece valores límite en residuo un 15% en términos de materia orgánica definida como LOI (pérdida por calcinación sobre la base del peso seco del residuo) y de un máximo de un 65% de humedad, aplicable como pérdida a 105 °C, indicándose asimismo la posibilidad de superar el primer criterio si la materia orgánica no es biodegradable.

En términos similares, la Orden 27 de julio de 2009 de Galicia remite a la Decisión 2003/33/CE en lo que se refiere a límites para vertederos de residuos inertes y peligrosos, pero incluye una única tabla específica de límites en su IV aplicable a todos los vertederos de residuos no peligrosos. Esta tabla contiene un listado de límites en lixiviado L/S 10/1 idéntica a la del punto 2.2.2. de la Decisión, pero aplicado a cualquier vertedero de no peligrosos. Al igual que en el decreto catalán, se hace una mención específica a la superación del valor límite de COD siempre que:

*... el depósito controlado esté especialmente diseñado para la recepción de residuos orgánicos, se justifique que su proceso de depuración de lixiviados es eficaz y siempre y cuando los factores ambientales de riesgo (producción de lixiviados, estabilidad del vertedero, emisión de gases, etc.) no pongan en peligro la salud humana y no perjudiquen el medio ambiente creando riesgos para el agua, el suelo, la fauna o la flora, este límite podrá ser superado tras contar con la aprobación del órgano administrativo competente en materia de residuos*

En estos casos la Orden también establece un endurecimiento de las medidas de supervisión del vertedero en términos de frecuencia de las pruebas de cumplimiento, del control de gases de vertedero y de la vigilancia de la integridad de las barreras del vaso.

Cabe mencionar que, al no mencionarse el criterio de COT (carbono orgánico total) en ningún punto de los criterios de admisión de la Orden gallega, y dado que no existe referencia a la Decisión ni mención explícita en la Orden al vertido o covertedo de residuos peligrosos estabilizados, se pierde el límite del 5% como COT sobre residuo establecido en la Decisión para el vertido de residuos no peligrosos en celdas que admitan residuos peligrosos estabilizados, lo que puede constituir un incumplimiento de los establecido en la Decisión 2003/33/CE.

El Decreto 49/2009 del País Vasco traslada a todos los vertederos de no peligrosos los límites en lixiviado LS1/10 (y de percolación) fijados en la Decisión, así como los criterios establecidos en esta en su punto 2.2.2. (y 2.3.1 y 2.3.2. para residuos estabilizados).

Por consiguiente la tendencia de desarrollo legislativo de las CCAA más activas en esta materia parecen incorporar lo que *de facto* se ha realizado en los últimos 5 años en todas, es decir, la aplicación de los criterios específicos que la decisión estableció para el covertedo de residuos estabilizados y residuos no peligrosos inorgánicos (y que tenía por objeto asegurar el mantenimiento de la estabilidad de los primeros), a todos los vertederos de no peligrosos.

En opinión del consultor esta solución, siendo probablemente la más sencilla desde el punto de vista de desarrollo reglamentario, probablemente penaliza con límites excesivamente estrictos al resto de vertederos de residuos no peligrosos en los que no se admitan residuos peligrosos estabilizados. Dado que la sección 2.2 del anexo de la Decisión permite a los Estados miembro crear subcategorías de vertedero para residuos peligrosos, una opción diferente para abordar esta situación sería la de definir algunas de estas subcategorías, según las opciones dadas en el anexo B de la Decisión u otras diferentes, p.ej. para tierras excavadas, como se da en el caso de la legislación austriaca. En el caso de establecerse nuevos valores, éstos se podrían derivar mediante aproximaciones basadas en la modelización del transporte y dilución de contaminantes hasta un punto razonablemente previsible de contacto con un receptor (un pozo de captación de agua potable próximo al vertedero), aplicándose el cálculo inverso sobre valores de referencia toxicológicos para la protección de la salud humana (en su momento se emplearon valores de referencia de calidad de aguas de consumo humano).

Dado que este criterio ya se venía empleando de forma generalizada, los propios gestores afirman que es práctica habitual en sus instalaciones tratar aquellos residuos no peligrosos que el realizar pruebas de comprobación (resultantes de la verificación a la entrada) superan los límites del punto 2.2.2. de modo que cumplan el criterio general de aplicación a no peligrosos.

Por último y respecto al covertedido de residuos estabilizados junto con residuos no peligrosos inorgánicos, diversas comunidades indican que esta práctica no se admite, estando esta incluso expresamente prohibida en el País Vasco en el punto 4.4 del anexo II de su decreto 49/2009.

#### **5. Criterios de admisión para residuos no peligrosos**

- Existe una aplicación generalizada de los criterios de la tabla 2.2.2. de la Decisión a todos los tipos de vertederos de residuos no peligrosos.
- Cataluña, País Vasco y Galicia han legislado específicamente al respecto, trasladando este criterio a todos los vertederos de no peligrosos.
- Algunas CCAA prohíben el covertedido de residuos peligrosos estabilizados con otros residuos no peligrosos.
- El desarrollo nacional de criterios específicos de admisión para otras subclases de vertederos de residuos no peligrosos es una de las necesidades más importantes percibidas por gestores y CCAA en esta materia.

*Cuadro 7 – Resumen de resultados observados a partir de datos de encuesta en relación a los criterios de admisión para residuos no peligrosos*

### 2.3.6. *Parámetros problemáticos*

Uno de los aspectos tratados en la encuesta, y que han sido objeto de comentario generalizado por gestores y algunas administraciones es el referente a determinados residuos problemáticos por la superación de determinados parámetros.

Los parámetros considerados problemáticos al superarse con relativa frecuencia y ser considerados difíciles de reducir o simplemente injustificadamente restrictivos son los siguientes, habiendo sido enumerados por gestores y administraciones:

Cloruros (en lixiviado)

Sulfatos (en lixiviado)

Sólidos totales disueltos (en lixiviado, como alternativa a Cl y SO<sub>4</sub>)

Carbono orgánico disuelto (en lixiviado)

Carbono orgánico total (en residuo, aplicable a inertes, estabilizados y peligrosos)

Por tipología de residuos los declarados como problemáticos han resultado ser:

Lodos de depuración y lodos estabilizados (DOC, TOC)

Tierras de excavación (DOC, TOC, algunos metales)

Residuos estabilizados (STD, cloruros, sulfatos, COD, COT)

Finos de granallado

Cenizas volantes (de incineración)

No ha sido posible recabar más ejemplos concretos en cuanto a tipos de residuos, pero existe una concordancia generalizada en cuanto a los parámetros más problemáticos. A este respecto cabe destacar la posición remitida por ASEGRE al MARM titulada "*Propuesta de Aplicación de la Decisión 2003/33/CE por la que se establecen criterios y procedimientos de admisión de residuos en vertederos*", en la cual se indican las dificultades técnicas para el cumplimiento de parámetros como cloruros, sulfatos, COD y DOC que, particularmente en el caso de los residuos peligrosos, puede dejar sin alternativas viables de gestión a algunos residuos. Se argumenta que los valores de cloruros y sulfatos son excesivamente restrictivos, siendo estos superiores en las aguas subterráneas de los emplazamientos de muchos de nuestros vertederos, especialmente en aquellos afectados por la intrusión marina. Adicionalmente, y en lo que respecta a todos los parámetros mencionados se argumenta que las medidas técnicas y constructivas de los vertederos actuales garantizan que, por razón de las distintas barreras existentes, así como por los medios para de

recogida y tratamiento de los lixiviados, el riesgo de fugas es mínimo. Atendiendo a su vez a que las restricciones de materia orgánica biodegradable a los vertederos son estrictas, se propone la aplicación de límites de COT y DOC sólo en términos de materia orgánica biodegradable.

#### **6. Parámetros problemáticos**

- Los principales parámetros problemáticos son los cloruros, los sulfatos, el carbono orgánico disuelto y el carbono orgánico total
- Los criterios para sulfatos y cloruros son considerados injustificadamente restrictivos atendiendo a la salinidad de muchas de las aguas subterráneas en España.
- Se propone la aplicación de límites asociados a la materia orgánica biodegradable como modificadores de los existentes para COT y COD.
- Los actuales límites plantean serios problemas para dar solución a la gestión para algunos residuos.

*Cuadro 8 – Resumen de resultados observados a partir de datos de encuesta en relación a los parámetros problemáticos.*

#### **2.3.7. Autorizaciones para superar límites de admisión**

Dado que se dan casos de residuos problemáticos por la superación de los límites para su admisión en el tipo deseado de vertedero de destino (tanto para inertes, no-peligrosos como peligrosos), y considerando que la Decisión contempla diversas posibilidades de rebasar algunos de los límites establecidos en esta, en la encuesta realizada se ha preguntado a administraciones y gestores por casos en los que se haya autorizado la superación excepcional algún parámetro.

La base para este tipo de autorizaciones se encuentra en el texto de la Decisión, habiéndose trasladado, en ocasiones con alguna ampliación, a los desarrollos de las tres CCAA que han legislado a este respecto. Concretamente, la Decisión establece en el punto 2 de su anexo que:

*En ciertas circunstancias, se admitirán valores límite hasta tres veces superiores para parámetros específicos enumerados en el presente punto [distintos de Carbono orgánico disuelto (COD) de los puntos 2.1.2.1, 2.2.2, 2.3.1 y 2.4.1, de los TX, PCB y aceites minerales del punto 2.1.2.2 Carbono orgánico total (COT) y pH del punto 2.3.2 y de la pérdida por calcinación (LOI). COT del punto 2.4.2, y limitando el posible aumento del valor límite de los COT del punto 2.1.2.2 a solamente dos veces el valor límite], si:*

*— la autoridad competente otorga una autorización específica para residuos específicos sobre una base individualizada para el vertedero de que se trate, teniendo en cuenta las características del vertedero y su entorno, y*

*— las emisiones (incluida la lixiviabilidad) del vertedero, teniendo en cuenta los límites de esos parámetros específicos en el presente punto, no presentan riesgos adicionales para el medio ambiente con arreglo a la evaluación del riesgo.*

Adicionalmente existen diversas notas al pie de las tablas de límites para los distintos tipos de vertederos en los que se proporcionan algunos criterios que permiten la superación de determinados límites, o la sustitución de unos parámetros por otros.

(\*) Aunque el residuo no cumpla estos valores correspondientes al sulfato, podrá considerarse que cumple los criterios de admisión si la lixiviación no supera ninguno de los siguientes valores: 1 500 mg/l en  $C_0$  con una relación  $L/S = 0,1$  l/kg y 6 000 mg/kg con una relación  $L/S = 10$  l/kg. Será necesario utilizar la ensayo de percolación para determinar el valor límite con una relación  $L/S = 0,1$  l/kg en las condiciones iniciales de equilibrio, mientras que el valor con una relación  $L/S = 10$  l/kg se podrá determinar, bien mediante una prueba de lixiviación por lotes, bien mediante una ensayo de percolación en condiciones próximas al equilibrio local.

(\*\*) Si el residuo no cumple estos valores de Carbono orgánico disuelto (COD) con su propio pH, podrá alternativamente probarse con una relación  $L/S = 10$  l/kg y un pH entre 7,5 y 8,0. El residuo podrá considerarse conforme a los criterios de admisión de COD si el resultado de esta determinación no es superior a 500 mg/kg. (Existe un proyecto de método basado en la prenorma prEN 14429).

(\*\*\*) Los valores de sólidos totales disueltos (STD) podrá utilizarse como alternativa a los valores de sulfato y cloruro.

Para residuos admisibles en vertederos de inertes:

(\*) En el caso de la tierra, la autoridad competente podrá admitir un valor límite más alto siempre que el carbono orgánico disuelto (COD) alcance un valor de 500 mg/kg a  $L/S = 10$  l/kg, bien con el mismo pH del suelo o con un pH situado entre 7,5 y 8,0.

Para residuos admisibles en vertederos de no peligrosos:

(\*) Si el residuo no cumple estos valores de COD con su propio pH, podrá alternativamente probarse con una relación  $L/S = 10$  l/kg y un pH entre 7,5 y 8,0. El residuo podrá considerarse conforme a los criterios de admisión de COD si el resultado de esta determinación no es superior a 800 mg/kg. (Existe un proyecto de método basado en la prenorma prEN 14429).

(\*\*) Los valores de STD podrán utilizarse como alternativa a los valores de sulfato y cloruro.

Por último, para residuos admisibles sólo en vertederos de peligrosos:

(\*) Si el residuo no cumple estos valores de COD con su propio pH, podrá alternativamente probarse con una relación = 10 l/kg y un pH entre 7,5 y 8,0. El residuo podrá considerarse conforme a los criterios de admisión de COD si el resultado de esta determinación no es superior a 1 000 mg/kg. (Existe un proyecto de método basado en la prEN 14429).

(\*\*) Los valores de STD podrán utilizarse como alternativa a los valores de sulfato y cloruro.

(\*) Deberá utilizarse o bien la LOI, o bien el COT.

(\*\*) Si no se alcanza este valor, la autoridad competente podrá admitir un valor límite mayor, siempre y cuando el Carbono orgánico disuelto (COD) alcance un valor no superior a 1 000 mg/kg a L/S = 10 l/Kg bien con el mismo pH que el material, bien con un pH situado entre 7,5 y 8,0.

De los gestores y administraciones consultados, muchos declaran no conocer casos de autorizaciones de superación excepcionales, aunque se han declarado algunos casos asociados a las CCAA de País Vasco, Navarra, Cataluña, Galicia y Madrid. A continuación de describen de manera esquemática algunos de los casos detectados\*:

- En la CCAA de Madrid se ha dado el caso de una autorización para el vertido como residuos inertes de escombros con contenido en yesos en los que se superaba el criterio de sulfatos. Dado que el vertedero poseía sistema para la recogida de lixiviados y la base del terreno eran en sí rica en yesos, se aplicó el sentido común y se permitió superación que no llegaba a 2x del límite para inertes.
- En el País Vasco se ha permitido bajo diversos criterios específicos la superación de límites para residuos de sal común, del curtido cuero, de finos de acería y finos granallado, de polvos ferruginosos y mezclas de residuos (suelos contaminados), así como de residuos de caucho, kevlar y lámina de arcilla.
- En la CCAA de Navarra se autorizó en una ocasión el vertido de unas tierras de excavación con un contenido natural de plomo que hacía que se superase el criterio para su admisión en un vertedero de no peligrosos, usándose realmente las tierras como relleno en el vertedero.
- En el caso de la CCAA de Galicia se ha autorizado el vertido de lodos estabilizados que superaban el umbral de carbono orgánico disuelto.
- En el caso de la CCAA de Cataluña, la ACR ha autorizado la superación de los valores de sulfatos y cloruros en hasta tres veces su valor límite para el caso de las cenizas procedentes de las cuatro incineradoras de residuos urbanos de la Comunidad, que se mezclan y gestionan en el depósito de seguridad de clase III (de peligrosos) de Castellolí (Barcelona). Esta autorización se concedió a tenor de las medidas de contención del vertedero (muy superiores a las requeridas por el RD 1481/2001) incluyendo capa de 1.5 m de arcilla más capa de bentonita, tres drenajes para lixiviados y planta de tratamiento de estos, nivel freático a gran profundidad, así como de control (controles en continuo en piezómetros próximos). Adicionalmente las cenizas son ensacadas en big-bag de doble pared y la ceniza es compactada, alcanzando una densidad muy superior a la de las cenizas de origen (de 0.4 a 1.3 aproximadamente). Adicionalmente se realizaron estudios exhaustivos de comportamiento se lixiviación de las cenizas antes y después de su compactación. Como consecuencia de esto se estimó que el riesgo era mínimo y el vertido fue autorizado.

\* Los casos referidos proceden de informaciones, a veces parciales, proporcionadas en las encuestas realizadas y de comunicaciones personales de gestores o personal de las administraciones. No se han establecido los detalles de cada caso ni si estos se encuentran documentados en ninguna acto jurídico o administrativo.

De lo averiguado acerca de los distintos casos se desprende que las administraciones competentes exigen siempre justificación detallada de las circunstancias que rodean a la necesidad de superar un determinado límite para un parámetro y deciden caso por caso, apoyándose en los criterios de la Decisión y en el sentido común. Sin embargo en ninguno de los casos se declara haber aplicado un procedimiento concreto de evaluación de riesgos como se aplica, por ejemplo, en la evaluación de riesgos de un emplazamiento contaminado de acuerdo con el RD 9/2005.

Cabe destacar que en el caso de País Vasco, su actual decreto 49/2009 indica a este respecto, además de lo establecido en la decisión 2003/33/CE que:

*... las emisiones (incluida la lixiviabilidad) del vertedero no suponen riesgos adicionales para el medio ambiente de acuerdo con una evaluación de riesgos. La entidad gestora del vertedero deberá justificar la inexistencia de riesgos basándose en la eficacia de su proceso de depuración de lixiviados para el parámetro concreto de que se trate.*

#### **7. Autorizaciones para superar parámetros**

- Al menos en las CCAA de País Vasco, Cataluña, Navarra, Galicia y Madrid se han concedido autorizaciones para la superación adicional de límites establecidos en la Decisión, ya sea para vertederos de inertes, de no-peligrosos o de peligrosos, con una amplia casuística.
- La decisión se basa en justificaciones documentadas y razonadas aplicando criterios casos por caso, sin una sistemática concreta establecida.
- En general no se aplican estudios formales de evaluación de riesgos.

*Cuadro 9 – Resumen de resultados observados a partir de datos de encuesta en relación a las autorizaciones especiales para superar los límites establecidos en la Decisión 2003/33/CE.*

#### **2.3.8. Criterios para residuos estables no reactivos**

De acuerdo con la investigación realizada de la legislación, no existen en la actualidad, en el ámbito nacional o autonómico criterios específicos para determinar si un residuo peligroso se puede considerar estable no reactivo, más allá del cumplimiento de los criterios de comportamiento de lixiviación contenidos en el punto 2.3. de la Decisión (relativos a los criterios de admisión de residuos peligrosos estables no reactivos en vertederos de la clase B1a).

Debe hacerse constar que los métodos de lixiviación recogidos en la legislación vigente empleados (métodos de lixiviación por lotes para residuos granulares) no son probablemente adecuados para describir el comportamiento en vertedero de muchos tipos de residuos estabilizados, puesto que requieren reducción de tamaño del residuo, muchas veces monolítico, dando por tanto resultados de lixiviación superiores a los razonablemente previsibles en el mismo residuo sin disgregar. El Comité Europeo de Normalización tiene en desarrollo diversas normas EN dirigidas al estudio de residuos monolíticos que estarán disponibles en forma definitiva en un futuro cercano y que, a pesar de su aparente mayor

coste y complejidad, presumiblemente ofrecerán alternativas mejores para la valoración de este tipo de residuos.

Dicho esto tanto Alemania como los países escandinavos aplican actualmente la trituración (hasta aprox 10 mm) de los residuos monolíticos y su valoración según ensayos convencionales de lixiviación, defendiendo estos últimos que así se proporciona u valoración acelerada del comportamiento difusivo de los materiales estabilizados.

Para una descripción de la actual situación en esta materia en el contexto Europeo, se dirige al lector al apartado 3 del presente informe,

### **2.3.9. Residuos monolíticos y otros residuos especiales**

Este aspecto se encuentra estrechamente ligado al punto anterior, asimilándose en muchos casos el concepto de residuo monolítico. Y sus necesidades de prueba, a los residuos estabilizados. Esto aún siendo cierto en muchos casos, afecta también a otros tipos de residuos voluminosos y de gran tamaño, no procedentes de procesos de tratamiento de residuos, tales como diversos residuos de construcción y demolición, residuos de refractarios, etc.

Hasta la fecha no se han definido en el ámbito nacional ni autonómico criterios para la admisión de residuos monolíticos en vertederos, ni métodos de prueba adecuados para verificar su cumplimiento. Es por tanto evidente que no se ha dado cumplimiento al requerimiento expresado en relación a cada una de las tablas de criterios de admisión según el cual:

*“Los Estados miembros establecerán criterios en relación con los residuos monolíticos para ofrecer el mismo nivel de protección medioambiental que los valores límite anteriores. “.*

### **2.3.10. Requisitos en materia de acreditación**

Otro de los aspectos investigados en la encuesta se centra en determinar las exigencias de las diferentes administraciones en materia de cualificación / acreditación de los organismos encargados de la realización de la toma de muestras y de los análisis de residuos dirigidos a las pruebas de caracterización para la admisión a vertedero.

En este sentido entran en juego no sólo los requisitos legales especificados en el RD 1481/2001 y en la Decisión, según los cuales:

*Los análisis necesarios para la caracterización básica, pruebas de cumplimiento y verificación in situ serán efectuados por laboratorios competentes, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial.*

sino también la interpretación precisa de los requisitos del RD 2200/1995, de los criterios de la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) al respecto y de la existencia de diversas figuras autonómicas que definen a los organismos de control autorizados para realizar actividades de inspección en el ámbito del medioambiente en cada Comunidad Autónoma (OCAs, ECA, ECCMA, EMCCA, etc). Esta complejidad, así como una cierta disparidad de criterios en este sentido hace que, según se ha revelado en la encuesta, se aprecie una variedad de situaciones.

Por otra parte la Decisión indica que

*La toma de muestras y las pruebas para la caracterización básica y las pruebas de conformidad las llevarán a cabo personas e instituciones independientes y capacitadas. Los laboratorios tendrán experiencia acreditada en pruebas con residuos y análisis de éstos, así como un sistema eficaz de garantía de calidad.*

*Los Estados miembros podrán decidir lo siguiente:*

*1) La toma de muestras podrán llevarla a cabo productores de residuos u operadores con la condición de que un control suficiente por parte de personas o instituciones independientes y capacitadas garantice que se cumplen los objetivos definidos en la presente Decisión.*

*2) Las pruebas de residuos podrán llevarla a cabo productores de residuos u operadores a condición de que dispongan de un sistema apropiado de garantía de calidad, con comprobaciones periódicas independientes.*

Como punto de partida se establece que tanto la toma de muestras deberá ser hecha por entidades independientes, capacitadas y, en principio, acreditadas, que es lo que se desprende de la mención al RD 2200/1995 y de la mención a “un sistema apropiado de garantía de calidad, con comprobaciones periódicas independientes”. Esto conduce a la interpretación de que la toma de muestras debe ser realizada por entidades debidamente acreditadas por ENAC como “Entidad Técnica de Inspección”, en el ámbito de medioambiente, y en particular en residuos, de acuerdo con la actual norma UNE-EN ISO 17020. Respecto a los análisis, cabe la misma interpretación, pero referida a la norma UNE-EN ISO17025 relativa a la acreditación de laboratorios de ensayo.

En las disposiciones autonómicas existentes en materia de criterios de admisión de residuos se establece la necesidad de la realización de los análisis por parte de un laboratorio acreditado, indicándose en la Orden gallega un plazo de 3 años a partir de su publicación para cumplir con este requisito. Por otra parte en el decreto vasco se indica, respecto a los análisis que no sólo deberán ser realizados por un laboratorio acreditado, sino que todos los parámetros analizados deberán estar dentro del alcance de la acreditación. En el otro extremo, existen CCAA en las que este requisito no se ha respondido o expresado con claridad en la encuesta, por lo que no es posible precisar si no se está exigiendo la acreditación y simplemente no existe un criterio homogéneo.

En lo referente a la toma de muestras sólo la Orden gallega menciona expresamente las actuaciones en calidad de organismo de control acreditado de acuerdo con la norma 17020..

Según los resultados de la encuesta se detecta que la mayor parte de las CCAA requieren que los análisis sean realizados por un laboratorio acreditado según la norma 17.025, sin que explícitamente se requiera que el alcance de la acreditación cubra la totalidad de los parámetros analizados. Respecto a la toma de muestras la postura más frecuente es requerir que la toma de muestras sea realizada por un organismo de control autorizado, de acuerdo con la normativa vigente y figuras legales existentes en la CCAA. Cabe destacar que en la mayor parte de las CCAA, para ser organismo de control es requisito imprescindible ser entidad de inspección acreditada por ENAC.

#### **8. Requisitos en materia de acreditación**

- Es norma generalizada requerir que los análisis sean realizados por laboratorios de competencia acreditada, generalmente por ENAC y de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 17.025.
- La mayor parte de las CCAA no exigen explícitamente que todos los parámetros analizados estén incluidos en el alcance de la acreditación (aunque es probable que la tendencia hacia esto sea cada vez mayor).
- Los requisitos en materia de acreditación de la capacitación para la toma de muestras están definidos con menor precisión, exigiéndose como mínimo experiencia contrastada y, con bastante frecuencia, la condición de organismo de control autorizado por la autoridad ambiental competente en la CCAA.

*Cuadro 10 – Resumen de resultados observados a partir de datos de encuesta en relación a los requisitos en materia de acreditación.*

#### **2.3.11. Propuestas de mejora**

El último punto de la encuesta realizada se centraba en la recogida de sugerencias de mejora del actual marco legal en materia de vertederos y, en particular, en lo referente a la decisión sobre criterios de admisión. A continuación se indican aquellas opiniones obtenidas de administraciones y gestores, sobre cuáles serían las mejoras más necesarias en futuros desarrollos que se pudieran realizar en el ámbito nacional: Entre paréntesis se indica que grupos de interés son los principales ponentes de estas sugerencias.

- Definición de criterios específicos para vertederos de residuos no peligrosos distintos de los que admiten el vertido conjunto con residuos peligrosos estables no reactivos (*administraciones, gestores*).
- Definición de criterios menos restrictivos, y adaptados a la realidad nacional, para determinados parámetros problemáticos, en particular: cloruros y sulfatos en lixiviado. Fomento de la aplicación de los criterios que permiten la concesión de autorizaciones para exceder, justificadamente, los límites generales. (*gestores, asociaciones de gestores*)

- Definición de criterios y métodos de análisis para COT y COD referidos a la materia orgánica biodegradable, permitiéndose desviaciones por encima de los valores tabulados en caso de materia escasamente degradable. Resulta conveniente explorar la aplicabilidad de los métodos y criterios respirométricos (AT<sub>4</sub>, etc.) recogidos en la legislación Austriaca. (*gestores, asociaciones de gestores*)
- Elaboración de una Guía de aplicación de la Decisión donde se expliciten con precisión los requisitos en términos de toma de muestra y análisis y de fijen con claridad criterios no contemplados en la actualidad para PAHs y capacidad de neutralización de ácidos (*gestores, administraciones, asociaciones*).
- Definición de criterios específicos relativos a la obligación de determinar la composición y la variabilidad de los residuos en la caracterización básica (nº de muestras, aplicación de criterios estadísticos,...). (*administraciones, gestores*)
- Establecimiento de una categoría específica aparte para vertederos de residuos municipales. (*algunas administraciones*)
- Desarrollo técnico de la Decisión, no sólo en lo referente a los criterios de admisión sino en los generales de diseño y construcción. (*algunos gestores*).
- Definición de criterios específicos para otorgar autorizaciones para exceder parámetros, en particular en lo relativo al contenido y alcance de los estudios de evaluación de riesgos. (*administraciones, algunos gestores*)

### 3. EVALUACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS Y CRITERIOS ASOCIADOS

Según se ha indicado en la introducción, y de acuerdo con el Artículo 4 de la Decisión 2003/33/CE relativa a procedimientos y criterios de admisión de residuos en vertedero, en el punto 3 del Anexo de dicha Decisión se enumeran los métodos de toma de muestras y prueba.

En este punto se indica que los Estados miembros podrán decidir que las pruebas de residuos podrán llevarla a cabo productores de residuos u operadores a condición de que dispongan de un sistema apropiado de garantía de calidad, con comprobaciones periódicas independientes. Así, como se ha indicado en el punto 2.3.10. del presente informe, la mayoría de las CCAA consultadas exigen la elaboración de las pruebas en laboratorios acreditados bajo la norma ISO 17025 sin que se requiera que el alcance de la acreditación cubra la totalidad de los parámetros analizados.

En este sentido, se sigue lo dispuesto en el punto 3 del Anexo de la Decisión 2003/33/CE ya que ahí se indica que, hasta tanto no se disponga de la norma EN que estaba elaborando entonces el CEN, los Estados miembros utilizarán, o bien normas o procedimientos nacionales, o bien el proyecto de norma CEN, cuando se disponga de ella en forma prEN.

En la actualidad, con la mayor parte de los métodos analíticos y de preparación de muestras de residuos disponibles como normas EN, su aplicación es variable. Según nuestra experiencia la mayor parte de los laboratorios de análisis emplean métodos internos. Generalmente desarrollados a partir de métodos USEPA, ISO o los propios EN, generalmente similares en cuanto a metodología y principio del análisis, pero sin que resulte fácil determinar el grado de conformidad con el método analítico.

Una comparativa del desarrollo normativo en relación a los métodos de ensayo se muestra en la Tabla 6. El listado actualizado de todas las normas EN desarrolladas en el ámbito de caracterización de residuos se muestra en el apartado 3.1. del presente informe.

Tabla 6. Comparativa del desarrollo normativo.

Parámetro	Norma Decisión 2003/33/CE	Norma Europea actual	Norma española actual	Año revisión
COT	EN-13137	EN-13137	UNE-EN-13137	2007
Materia seca	PrEN-14346	EN-14346	UNE-EN-14346	2007
Ensayo de precolación	PrEN-14405	CEN/TS-14405	-	-
Ensayo de lixiviación	EN-12457/1	EN-12457/1	UNE-EN-12457/1	2003
	EN-12457/2	EN-12457/2	UNE-EN-12457/2	2003
	EN-12457/3	EN-12457/3	UNE-EN-12457/3	2003
	EN-12457/4	EN-12457/4	UNE-EN-12457/4	2006
Digestión de residuos crudos	EN-13657	EN-13657	UNE-EN-13657	2003
	EN-13656	EN-13656	UNE-EN-13656	2003
Análisis de eluatos (pH, metales, aniones)	ENV-12506	EN-12506	UNE-EN-12506	2004
Análisis de eluatos (amoníaco, AOX, mercurio, fenol, COT, CN <sup>-</sup> , aniones)	ENV-13370	EN-13370	UNE-EN-13370	2004
Hidrocarburos C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub>	PrEN-14039	EN-14039	UNE-EN-14039	2005

### 3.1. Lista actualizada de métodos analíticos

A continuación en la Tabla 7, se proporciona una lista actualizada de las normas referentes a los distintos métodos analíticos aplicables a la caracterización de residuos.

Tabla 7. Normas actualizadas referentes a métodos de análisis.

MÉTODO DE ANÁLISIS	NORMA PUBLICADA POR EL CEN
<b>Análisis de soluciones</b>	
Determinación del pH, As, Ba, Cd, Cl-, Co, Cr, Cr VI, Cu, Mo, Ni, NO <sub>2</sub> -, Pb, S <sub>total</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , V y Zn	EN 12506:2003
Determinación de Amonio, AOX, conductividad, Hg, índice de fenol, COT, CN-fácilmente liberable, F -.	EN 13370:2003
Determinación de los sólidos disueltos totales (TDS) en agua y soluciones	EN 15216:2007
<b>Carbono orgánico total (COT)</b>	
Determinación de carbono orgánico total (COT) de los residuos, los lodos y sedimentos	EN 13137:2001
<b>Digestiones</b>	
Digestión asistida por microondas con fluorhídrico (HF), nítrico (HNO <sub>3</sub> ) y ácido clorhídrico (HCl), ácido mezcla para su posterior determinación de los elementos.	EN 13656:2002
Digestión para la posterior determinación de la porción soluble en agua regia y de los elementos.	EN 13657:2002
<b>Hidrocarburos C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub></b>	
Determinación del contenido de hidrocarburos en el rango de C10 a C40 por cromatografía de gases.	EN 14039:2004
<b>Materia seca</b>	
Cálculo de la materia seca por determinación del residuo seco o el contenido de agua	EN 14346:2006
<b>Materia orgánica</b>	
Determinación de las pérdidas por calcinación de residuos, lodos y sedimentos	EN 15169:2007
<b>Determinación de analitos inorgánicos</b>	
Halógenos y contenido de azufre - combustión oxigenada en sistemas cerrados y métodos de determinación	EN 14582:2007
Determinación de cromo (VI) en el material sólido de la digestión alcalina y cromatografía iónica con detección espectrofotométrica	EN 15192:2006
<b>Determinación de analitos orgánicos</b>	
Determinación de los bifenilos policlorados (PCB) seleccionados en residuos sólidos utilizando cromatografía de gases capilar con detección por captura de electrones o espectrometría de masas	EN 15308:2008
Determinación de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) en residuos por cromatografía de gases / espectrometría de masas (GC/ EM)	EN 15527:2008
<b>Comportamiento durante la lixiviación</b>	
Ensayo de capacidad de neutralización ácida y básica	CEN/TS 15364:2006
<b>Determinación de la composición elemental</b>	
Fluorescencia de rayos X	EN 15309:2007

Asimismo, en la Tabla 8 se presentan los métodos de referencia más habituales identificados en materia de análisis de residuos.

Tabla 8. Métodos analíticos de referencia más habituales.

MÉTODO DE ANÁLISIS		REFERENCIA DE MÉTODOS PUBLICADOS POR LA EPA (U.S.)
<b>Métodos de Determinación de Analitos inorgánicos.</b>		
Plasma de acoplamiento inductivo-espectrometría de emisión atómica		Method 6010C
Plasma de acoplamiento inductivo-espectrometría de masas		Method 6020A:
Espectrómetro portátil de fluorescencia de Rayos X para la determinación de la concentración elemental en los suelos y los sedimentos		Method 6200:
Arsénico	Absorción Atómica, hidruro gaseoso	Method 7061A:
	En muestras acuosas y Extractos por Voltametría de Redisolución Anódica (ASV)	Method 7063
Antimonio y arsénico Absorción Atómica, Reducción por borohidruro		Method 7062:
Cromo hexavalente	Coprecipitación	Method 7195
	Colorimetría	Method 7196A
	Quelación / Extracción	Method 7197
Mercurio	En residuos líquidos (Manual de la técnica de vapor frío)	Method 7470A
	En estado sólido o semisólido de residuos (Manual de la técnica de vapor frío)	Method 7471B
	En muestras acuosas y Extractos por Voltametría de Redisolución Anódica (ASV)	Method 7472:
Selenio	Absorción Atómica, Hidruro gaseoso	Method 7741A
	Absorción Atómica, Reducción por borohidruro	Method 7742
<b>Métodos de Determinación de analitos orgánicos.</b>		
1,2-Dibromoetano y 1,2-Dibromo-3-cloropropano por Microextracción y cromatografía de gases		Method 8011:
Compuestos orgánicos no halogenados por Cromatografía de Gases		Method 8015C
Aromáticos y halogenados volátiles por cromatografía de gases, usando fotoionización y / o detectores de conductividad electrolítica		Method 8021B
Acronitrilo por cromatografía de gases		Method 8031
Acrilamida por cromatografía de gases		Method 8032A
Acetonitrilo por Cromatografía de Gases con Detección N-P.		Method 8033
Fenoles por cromatografía de gases		Method 8041A
Ésteres de ftalato por cromatografía de gases con captura de electrones (GC / ECD)		Method 8061A
Nitrosaminas por cromatografía de gases		Method 8070A
Plaguicidas organoclorados por cromatografía de gases		Method 8081B
Policlorobifenilos (PCB) por Cromatografía de Gases		Method 8082A
Cuantificación Elemental independiente de plaguicidas por Cromatografía de Gases con detección de emisión atómica (GC / AED)		Method 8085

Tabla 8. Métodos analíticos de referencia más habituales (continuación).

MÉTODO DE ANÁLISIS	REFERENCIA DE MÉTODOS PUBLICADOS POR LA EPA (U.S.)
<b>Métodos de Determinación de Analitos inorgánicos.</b>	
Nitroaromáticos cíclicos y cetonas por Cromatografía de Gases	Method 8091
Explosivos por cromatografía de gases	Method 8095
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Method 8100
Haloéteres por Cromatografía de Gases	Method 8111
Hidrocarburos clorados por Cromatografía de Gases: Técnica de Columna Capilar	Method 8121
Anilina y Derivados seleccionados por Cromatografía de Gases	Method 8131
Compuestos Organofosforados por Cromatografía de Gases	Method 8141B
Herbicidas clorados por GC usando metilación o Pentafluorobencilación Derivatización (PDF)	Method 8151A
<b>Métodos de Cromatografía gaseosa / espectrometría de masas (GC / MS)</b>	
Compuestos orgánicos volátiles por Cromatografía de Gases / espectrometría de masas (GC / MS)	Method 8260B
Compuestos orgánicos volátiles por destilación en vacío en combinación con la GC / MS (VD / GC / MS)	Method 8261
Compuestos orgánicos semivolátiles por Cromatografía de Gases / espectrometría de masas (GC / MS)	Method 8270D
Compuestos orgánicos semivolátiles (HAPs y PCBs) en Suelos, lodos y residuos sólidos usando extracción térmica / cromatografía de gases / espectrometría de masas (TE / GC / MS)	Method 8275A
Policlorobifenilos Dibenzo-p-dioxinas (PCDD) y los policlorobifenilos Dibenzofuranos (PCDF) por cromatografía de gases de Alta Resolución / espectrometría de masas de baja resolución (HRGC / LRMS)	Method 8280B
Policlorobifenilos dibenzo-p-dioxinas (PCDD) y policlorobifenilos dibenzofuranos (PCDF) por cromatografía de Gases de Alta Resolución / espectrometría de masas de Alta Resolución (HRGC / HRMS)	Method 8290A
<b>Métodos de Cromatografía líquida de alta resolución</b>	
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Method 8310
Acrilamida, Acrilonitrilo y Acroleína	Method 8316
N-Metilcarbarnatos	Method 8318A
Compuestos no volátiles extraíbles en disolvente por Cromatografía líquida de alto rendimiento/ thermospray/ espectrometría de masas (HPLC / TS / MS) o ultravioleta (UV)	Method 8321B
Compuestos no volátiles extraíbles en disolvente por cromatografía líquida de alto rendimiento/ haz de partículas / espectrometría de masas (HPLC / PB / MS)	Method 8325
Nitroaromáticos y Nitroaminas	Method 8330A
Tetraceno por fase inversa	Method 8331
Nitroglicerina	Method 8332

Tabla 8. Métodos analíticos de referencia más habituales (continuación).

MÉTODO DE ANÁLISIS	REFERENCIA DE MÉTODOS PUBLICADOS POR LA EPA (U.S.)
<b>Métodos de Determinación de Analitos inorgánicos.</b>	
<b>Métodos por espectrometría Infrarroja</b>	
Cromatografía de Gases / infrarrojo transformada de Fourier (GC / FT-IR) Espectrometría compuestos orgánicos semivolátiles: Columna capilar	Method 8410
Análisis de Bis (2-cloroetil) con éter y productos de la hidrólisis por inyección directa de agua (GC / FT-IR)	Method 8430
Hidrocarburos totales recuperables del petróleo por espectrofotometría de infrarrojo	Method 8440
<b>Métodos inmunoenzimáticos</b>	
Inmunoanálisis	Method 4000
Detección de pentaclorofenol por Inmunoensayo	Method 4010A
Detección de ácido 2,4-Diclorofenoxiacético por Inmunoensayo	Method 4015
Detección de bifenilos policlorados por Inmunoensayo	Method 4020
Detección en suelo de Hidrocarburos de Petróleo por Inmunoensayo	Method 4030
Hidrocarburos aromáticos policíclicos en suelo cribado por Inmunoensayo	Method 4035
Toxafeno en suelo cribado por Inmunoensayo	Method 4040
Clordano en suelo cribado por Inmunoensayo	Method 4041
DDT en suelo cribado por Inmunoensayo	Method 4042
TNT explosivos en los suelos por Inmunoensayo	Method 4050
Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazina (RDX) en los suelos por Inmunoensayo	Method 4051
Cribado de extractos de muestras ambientales para compuestos orgánicos planos (HAP, PCB, PCDD / PCDF) por marcadores genéticos en una línea de células Humanas	Method 4425
Herbicidas Triazinicos como atrazina en el agua por Inmunoensayos cuantitativos	Method 4670

### 3.2. Análisis de PAHs y criterios de valoración

Algunos hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) son carcinogénicos y/o mutagénicos, por tanto, su presencia en el medio ambiente (aire, agua, suelo, sedimentos y residuos) es controlada y determinada en las investigaciones asociadas a numerosas matrices ambientales. Actualmente el análisis de estos compuestos se lleva a cabo en estas matrices de forma rutinaria por Cromatografía de líquidos (HPLC) en combinación con detección de diodos ultravioleta o detección por fluorescencia. Sin embargo, las diferentes matrices cubiertas por la norma UNE-EN 15527:2008 (véase Anexo 3) pueden contener muchos contaminantes por lo que la cromatografía de gases con detección por espectrometría de masas parece el método más apropiado para el análisis de residuos.

La metodología desarrollada en dicha norma pasa por una extracción en medio orgánico de los HPA del residuo, una purificación por cromatografía en columna de adsorción y un análisis mediante cromatografía de gases con detección por espectrometría de masas aplicando un método de cuantificación con patrón interno.

Una de las limitaciones operativas que se derivan de dicha metodología es el corto período de conservación de muestras a 4 °C debido a la actividad microbiológica (lo que da lugar a interferencias) y a la fotosensibilidad de los hidrocarburos policíclicos aromáticos. Para alcanzar un período óptimo de conservación deben almacenarse en total oscuridad y a -18°C.

En la etapa de pretratamiento de la muestra hay que hacer especial hincapié en la posibilidad de pérdidas de compuestos orgánicos volátiles entre los que se encuentra el naftaleno.

El uso de patrones internos deuterados en el método de cuantificación asegura una identificación y cuantificación más precisa, ya que sólo se acepta una desviación del 0.2% en tiempo de retención y una relación señal/ruido superior a 3 para cada ión diagnóstico de cada HPA detectado en un extracto de una muestra. Sin embargo, debido a la complejidad de las matrices, se acepta un intervalo de recuperación de los patrones de extracción entre el 50% - 120% lo que da lugar a una mayor incertidumbre en el resultado (según datos de la Tabla B.2. del Anexo B de la norma se pueden observar valores en la reproducibilidad del método, según el tipo de muestra y compuesto, de entre 1.7% y 15.5%).

Desde el punto de vista práctico el análisis de PAHs según lo descrito no ofrece problemas analíticos para un laboratorio de análisis competente y suficientemente equipado, pudiéndose afirmar que la metodología está bien establecida y no debe suponer problema alguno para su cumplimiento.

Los criterios adoptados en las diferentes legislaciones europeas en cuanto a valores límite admisibles en contenido de HPA son los que se indican a continuación en la Tabla 9 (información obtenida del Annex to the Final Report del informe elaborado por BIPRO)<sup>5</sup>:

Tabla 9. Valores adoptados por cada país para el contenido en HPA como criterio de admisión en vertedero de residuos inertes.

País	Valor adoptado (mg/Kg)	Observaciones
Reino Unido	100	Sumatorio de 17 compuestos
Alemania	30	Sumatorio de 16 compuestos
Holanda	40	Sumatorio de 16 compuestos
Francia	50	Sumatorio de 16 compuestos
Irlanda	100	Sumatorio de 16 compuestos
Portugal	100	Sumatorio de 16 compuestos
Bélgica	8.5-400	Valor individual para cada uno de los 10 compuestos
Austria	20	Sumatorio de 16 compuestos (valor específico de 2 mg/Kg para el benzo(a)pireno)
Suecia	10	Sumatorio de 8 compuestos (clasificados como cancerígenos)
	40	Sumatorio de 8 compuestos (no clasificados como cancerígenos)
Luxemburgo	10	Sumatorio de 16 compuestos
España (Cataluña)	55	Sumatorio de 16 compuestos

Se puede considerar que el valor límite de 100 mg/Kg se puede tomar como referencia ya que, según el Reglamento CE 1272/2008 de clasificación y etiquetado de sustancias y mezclas, establece la clasificación del benzo(a)pireno como cancerígeno categoría 1B si éste está en la mezcla (residuo) en una concentración superior al 0.01%. No obstante, dada la incertidumbre analítica de la norma de referencia, que puede alcanzar fácilmente el 20%, podría ser recomendable la postura conservadora de adoptar un criterio algo inferior, como el establecido por el Decreto Catalán (Decreto 69/2009) en 55 mg/Kg.

En todo caso para la fijación de un criterio u otro sería conveniente establecer unos criterios transparentes para su establecimiento, así como realizar una valoración de la incidencia de los valores de PAHs en distintos flujos de residuos admisibles en vertederos de residuos inertes.

### **3.3. Capacidad de neutralización de ácidos**

El número de equivalentes de ácido por kilogramo de residuo seco necesarios para alcanzar cada valor de pH es lo que se denomina capacidad de neutralización ácida y es el resultado que se muestra en las gráficas obtenidas tras el ensayo recogido en la especificación técnica UNE-EN/TS 15364. Con estas gráficas de capacidad de neutralización ácida se puede determinar qué cantidad de equivalentes de ácido (proveniente del entorno en el que se deposite el residuo) harían falta para que el residuo en cuestión alcanzase un valor de pH determinado o, por el contrario, valorar si a pesar de tener en el entorno una cantidad determinada de miliequivalentes de ácido, el residuo es capaz de mantener su pH natural.

Esto significa que se puede evaluar la variación del pH del residuo en función del entorno y valorar si, en condiciones determinadas, la lixiviación de contaminantes puede variar (por ejemplo, si un entorno ácido hace que el pH del residuo sea también más ácido por tener una baja capacidad de neutralización, los metales que éste pueda contener serán más fáciles de lixiviar en ese entorno).

La especificación técnica UNE-EN/TS 15364 se aplica para determinar la capacidad de neutralización ácida o básica en un material mediante un ensayo en el que la condición de equilibrio se establece a diferentes valores de pH como resultado de una reacción entre cantidades preseleccionadas de ácido o base y las porciones de ensayo de los residuos. Este ensayo sólo es requerido de acuerdo con la Decisión 2003/33/CE para la admisión a vertederos de residuos peligrosos.

El principio de dicho ensayo se basa en la preparación de porciones de ensayo separadas a una relación L/S fija con lixiviantes que contienen cantidades preseleccionadas de ácido o base para alcanzar valores de pH estables al final del periodo de extracción. Cada lixivante se añade en tres etapas al principio del ensayo. Al menos se requieren 8 valores finales de pH, cubriendo como mínimo el rango de pH 4 a pH 12 (ambos incluidos). La capacidad de neutralización ácida o básica (ANC o BNC) de los materiales se determina a partir de las

cantidades necesarias de ácido o de base para cubrir el intervalo de pH. La condición de equilibrio (desviación de pH inferior a 0.3 unidades en las últimas 4 h de ensayo) se verifica al final del período de extracción. Para cada valor final de pH, la cantidad de ácido que se añade se expresa en mol H<sup>+</sup>/Kg de materia seca y los mol/Kg netos se presentan como una función de pH.

El procedimiento analítico es en sí operativamente sencillo de llevar a cabo pero laborioso y largo (tiempo de ensayo 48 h más el tiempo de la preparación de muestra) y requiere la utilización de suficiente espacio y material como para cubrir los 10 ensayos de lixiviación por muestra que se necesitan hacer simultáneamente. Esto supone que, a día de hoy, no se hayan encontrado en España laboratorios en los que se haya desarrollado esta metodología como análisis de rutina, siendo en opinión de los autores un método necesariamente costoso y de difícil aplicación, salvo en casos específicos en que pueda estar justificada una investigación detallada de esta naturaleza.

En cuanto a los valores adoptados como criterio de admisión en vertederos de residuos peligrosos, se observa que ningún país ha establecido ningún valor para este parámetro. Aunque son varios los países que han exigido dentro de su legislación nacional la determinación de este parámetro, tan sólo se han encontrado dos países que recojan recomendaciones para establecer valores de admisibilidad en vertederos no peligrosos: una recomendación en la legislación inglesa (*Statutory Rules for Northern Ireland, Amendment nº 297 – 2004, Environmental Protection*) en las que se indica que se debería establecer como criterio el no superar un valor determinado en la variación de mol H<sup>+</sup>/Kg a pH 6, pH natural y pH del lugar donde se va a depositar.

Esto implica que también hay que hacer el ensayo en el material circundante y así tener una idea de cómo es capaz de neutralizar los pH extremos de determinados residuos el entorno del vertedero y, por tanto, evitar la lixiviación natural de determinados contaminantes, y otra recomendación en la legislación Belga (Flandes) en la que se indica que la concentración de especies lixivadas debe permanecer constante al entrar el residuo en contacto con las aguas pluviales infiltradas y que, por tanto, la capacidad de neutralización del residuo debe asegurar este comportamiento.

### **3.4. Métodos de lixiviación y criterios para residuos monolíticos**

En diferentes países Europeos se han desarrollado métodos para caracterizar el comportamiento de los constituyentes de un residuo que pueden lixiviar bajo condiciones de almacenamiento que simulan el depósito en vertedero. La liberación de los constituyentes solubles cuando el residuo entra en contacto con agua se considera como el mecanismo principal de liberación de contaminantes suponiendo por tanto, el principal riesgo potencial para el medio ambiente. El procedimiento para caracterizar el comportamiento de los residuos se desglosa tanto en la Directiva de vertederos (Directiva 1999/31/EC) y en el Anexo II de la Decisión de admisión de residuos en vertedero (Decisión 2003/33/CE) aunque la normativa contemplada en estos instrumentos se centra en métodos de lixiviación

para residuos granulares, de naturaleza relativamente homogénea, dejándose en manos de los Estados Miembro el desarrollar métodos de lixiviación para valorar el comportamiento de residuos monolíticos, más compactos y de mayor tamaño. .

Cabe destacar que ni en la Directiva ni en la Decisión del Consejo se incluye la definición del término “*monolítico*” ni “*residuo monolítico*” a pesar de estar recogida en la Decisión la obligación de los Estados Miembros de establecer los criterios de aceptación de residuos monolíticos en vertedero que proporcionen al menos un nivel equivalente de protección.

En el contexto del Comité Europeo de Estandarización, y en particular de su comité técnico sobre residuos CEN/TC 292, la definición y requisitos de un “residuo monolítico” ha sido ampliamente discutido habiendo acordado varios aspectos importantes que deben tenerse en cuenta a la hora de determinar el carácter monolítico del residuo. Estos aspectos incluyen:

- El mecanismo de extracción de contaminantes.
- La permeabilidad y otras propiedades intrínsecas como la distribución de poros, el tamaño de poro y la “tortuosidad”.
- La durabilidad física.
- La durabilidad química.

Así, teniendo en cuenta los aspectos anteriores, se ha propuesto la siguiente definición tanto para monolito como para residuo monolítico:

“*Monolito*”: Material que tiene unas dimensiones mínimas y unas propiedades físico-químicas que aseguren la integridad durante la duración del test al que va a ser sometido (prEN WI292040:2004)

“*Residuo monolítico*”: Material que tiene unas dimensiones mínimas y unas propiedades físico-químicas que aseguren la integridad durante un cierto período de tiempo (Nota: para el propósito de esta norma ese período de tiempo es la duración total del ensayo (CEN/TC 292 WG2, WI292010:2004)

En septiembre de 2008 fueron publicados los proyectos de norma desarrollados por el comité de estandarización CEN/TC292, en relación al comportamiento en la lixiviación de residuos monolíticas. Las normas que recogen los diferentes ensayos de lixiviación, tanto para la caracterización básica como para los ensayos de cumplimiento, son las siguientes:

- **PrEN 15862:2008** – Caracterización de residuos. Ensayo de conformidad de lixiviación. Ensayo de lixiviación por lotes en una etapa para monolitos de una proporción determinada de líquido/área de superficie (L/A) para porciones de ensayo con unas dimensiones mínimas determinadas.
- **prEN 15863:2008** – Caracterización de residuos. Ensayo de comportamiento de lixiviación para caracterización básica. Ensayo de lixiviación monolítico dinámico con renovación periódica del lecho, bajo condiciones de ensayo determinadas.
- **PrEN 15864:2008** – Caracterización de residuos. Ensayo de comportamiento de lixiviación para caracterización básica. Ensayo de lixiviación monolítico dinámico con renovación continua del lecho bajo condiciones relevantes para escenario(s) específico(s).

### Métodos de lixiviación:

#### **A) prEN 15862:2008**

El procedimiento descrito en esta norma pertenece a la categoría 2: ensayos de conformidad. El ensayo permite establecer qué especies y en qué concentración se pueden extraer estas en condiciones estáticas cuando el residuo monolítico se pone en contacto con un lixiviante, generalmente agua. El desarrollo de esta norma está basado en los siguientes procedimientos NEN 7345, NF X 31-211:2000 y ÖNORM S 2116-4.

Esta norma europea especifica los ensayos de conformidad que proporcionan información sobre la lixivabilidad de residuos monolíticos bajo unas condiciones específicas de relación líquido / superficie (L/A) de  $12 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ . Se aplica a una porción de residuo monolítico con una forma regular, con **una dimensión mínima de 40 mm en todas las direcciones** obtenida mediante corte, perforación hasta el centro o moldeado. La porción de ensayo se pone en contacto con agua desionizada bajo unas condiciones específicas durante **24 horas**. Tras filtración, las propiedades del eluato se analizan siguiendo los métodos analíticos desarrollados para aguas.

El ensayo en sí es de fácil aplicación (no se utilizan volúmenes grandes de agua, se recoge un único eluato por muestra y el tiempo de ensayo es corto) y se asemeja a los ensayos de lixiviación recogidos en las normas europeas aplicadas a residuos granulares.

#### **B) prEN 15863:2008**

El procedimiento descrito en esta norma pertenece a la categoría 1: caracterización básica. El ensayo permite establecer qué especies y en qué concentración se pueden

extraer en condiciones dinámicas cuando el residuo monolítico se pone en contacto con un lixiviante, generalmente agua. El desarrollo de esta norma está basado en el procedimiento holandés NEN 7345.

Esta norma europea se aplica para evaluar el comportamiento en cuanto a lixiviación de residuos monolíticos bajo unas condiciones dinámicas tal y como se especifica en la norma EN 12920. Los resultados del test se utilizan para identificar los mecanismos de lixiviación y su importancia relativa. Las propiedades intrínsecas se pueden usar para predecir la extracción de los constituyentes en condiciones específicas. El método se aplica a residuos monolíticos de forma regular y bien definida con unas dimensiones mínimas de 40 mm en todas las direcciones, y constituidos de un material de baja permeabilidad.

La porción del residuo monolítico a ensayar se introduce en un recipiente de lixiviación y se sumerge completamente en la solución. La solución acuosa se utiliza en una proporción tal que se obtenga un ratio (L/A) determinada. Esta solución se mantiene a una cierta temperatura y se renueva a intervalos determinados.

Las siguientes condiciones de ensayo son las que se fijan inicialmente:

- Tipo de lixiviante
- Temperatura
- L/A ratio (mL/cm<sup>2</sup>)
- Duración total del test
- Número de eluatos recogidos en los intervalos de tiempo predeterminados

El eluato se recoge en un número fijo de fracciones. Esto se determina a partir de los mecanismos de lixiviación que se pueden deducir a partir de resultados analíticos. Las fracciones del eluato se filtran y se caracterizan físico-químicamente de acuerdo con los estándares establecidos. Los resultados se expresan como mg contaminante/m<sup>2</sup>.

Las condiciones del ensayo han sido diseñadas de tal manera que se identifiquen y se establezca la importancia relativa de cada uno de los posibles mecanismos de lixiviación. Los principales mecanismos son:

- Difusión (desde y a través de los poros de la superficie del residuo hasta la disolución de eluato)
- Disolución de los constituyentes (extracción controlada por la solubilidad de cada constituyente en el medio acuoso)
- Lavado inicial de la superficie
- Disolución de la matriz

El tiempo total de ensayo son **36 días**, los cuales se deben dividir en 8 etapas (a intervalos de tiempos definidos) y, por tanto, tener 8 analíticas diferentes (para cada uno de los parámetros a controlar) para cada muestra. Esto supone un coste técnico y de tiempo elevado lo que hace poco práctica la aplicación de dicho ensayo aunque, por otra parte, parece ser una buena aproximación para reflejar el comportamiento real del residuo en el vertedero.

### **C) prEN 15864:2008**

El procedimiento descrito en esta norma pertenece a la categoría 1: caracterización básica. El desarrollo de esta norma está basado en los siguientes procedimientos AFNOR XP X30-450:2002, AFNOR XP X30-467:2002 y AFNOR XP X30-469:2007.

El procedimiento descrito en esta norma pertenece a la categoría 1: caracterización básica. El ensayo permite establecer qué especies y en qué concentración se pueden extraer en condiciones dinámicas cuando el residuo monolítico se pone en contacto con un lixiviante, generalmente agua. En esta norma, la velocidad de renovación del agente lixiviante se ha establecido de tal forma que los elementos extraídos influyen en la extracción aunque las concentraciones permanecen significativamente por debajo de la saturación.

Los resultados del test se utilizan para identificar los mecanismos de lixiviación y su importancia relativa. Las propiedades intrínsecas se pueden usar para predecir la extracción de los constituyentes en condiciones específicas. El método se aplica a residuos monolíticos de forma regular y bien definida con unas dimensiones mínimas de 40 mm en todas las direcciones, y constituidos de un material de baja permeabilidad.

La porción del residuo monolítico a ensayar se introduce en un recipiente de lixiviación y se sumerge completamente en la solución. La solución acuosa se utiliza en una proporción tal que se obtenga un ratio (L/A) determinada. Esta solución se mantiene a una cierta temperatura y se renueva a intervalos determinados.

Las siguientes condiciones de ensayo son las que se fijan inicialmente:

- Tipo de lixiviante
- Temperatura
- Velocidad de renovación continua del lixiviante (h-1)
- Duración total del test
- Número de eluatos recogidos en los intervalos de tiempo predeterminados

Los resultados del test se expresan, en función del tiempo, como mg de constituyente extraído por litro de eluato, es decir, mg de constituyente extraído en total por m<sup>2</sup> de superficie geométrica del residuo expuesto en el ensayo de lixiviación.

El tiempo total de ensayo son 36 días, los cuales se deben dividir en 8 etapas (a intervalos de tiempos definidos) y, por tanto, tener 8 analíticas diferentes (para cada uno de los parámetros a controlar) para cada muestra. Asimismo, se debe calcular, a partir de datos experimentales, la velocidad de renovación crítica a fin de repetir los ensayos en diferentes escenarios. Esto supone un coste técnico y de tiempo elevado lo que hace poco práctica la aplicación de dicho ensayo aunque, por otra parte, el ensayo en condiciones dinámicas permite interpretar a través de los resultados obtenidos, el (los) mecanismo(s) que gobiernan el proceso de lixiviación y, por tanto, se puede predecir el comportamiento del residuo en el entorno donde se va a depositar a más largo plazo. Este método es la mejor aproximación para evaluar el comportamiento real del residuo ya que es el que más variables contempla en su ejecución.

#### **Criterios de aceptación:**

La aplicación de estas normas tiene sentido si se cuenta con valores límite de admisibilidad en vertedero. En este sentido, hay varias posturas dentro de la Comunidad Europea: los países nórdicos han colaborado en un proyecto específico para establecer valores límite para residuos monolíticos (*Development of criteria for acceptance of monolithic waste at landfills*”, informe elaborado por el DHI danés junto con SGI y VTT)<sup>6</sup> en el que se demostró que, bajo las condiciones de los escenarios escogidos y de acuerdo con los cálculos basado en datos experimentales, la extracción de los contaminantes en el fondo del vertedero están regidos en mayor medida por mecanismos de equilibrio que por mecanismos de difusión. Para alcanzar dicho equilibrio no se requiere más que la penetración de una pequeña cantidad de agua. Asimismo, tratamientos físicos, como la estabilización, no afectan a las cantidades lixiviadas de contaminantes. Por tanto, en el estudio se propone la utilización de los mismos métodos y criterios establecidos para residuos granulares con la salvedad de que para materiales con dimensiones >10 mm, se debe realizar una trituración previa a fin de disminuir el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio. Los criterios recogidos en la legislación Danesa, Finlandesa y Sueca son los que aparecen en la Decisión 2003/33/CE para admisión de residuos granulares en vertederos de residuos no peligrosos.

La legislación Belga (Flandes) es la única que recoge, para residuos monolíticos, límites específicos de concentración en el lixiviado (expresados como indican las normas anteriormente mencionadas) los cuales se indican en la Tabla 10 (estos parámetros estándar serán de aplicación si no hay otros especificados en las autorizaciones del vertedero).

Tabla 10. Valores límite adoptados por la legislación Belga para cada parámetro en lixiviado de residuos monolíticos como criterio de admisión en vertedero de residuos no peligrosos.

Parámetro	Límite en lixiviado (mg/m <sup>2</sup> ) <sup>#</sup>
As	270
Cd	11
Cr	550
Cu	250
Hg	8
Pb	600
Ni	150
Zn	900

<sup>#</sup> El método de lixiviación debe realizarse conforme a la norma NEN 7345.

### 3.5. Residuos estables no reactivos – criterios

El concepto de residuo estable no reactivo está considerado dentro de la Decisión 2003/33/CE como aquellos cuyo comportamiento de lixiviación no cambiará adversamente a largo plazo en las condiciones de diseño del vertedero, o en caso de accidentes previsibles. El comportamiento de lixiviación de este tipo de residuos vendrá determinado en función de los mecanismos que rigen el proceso de lixiviación. Es por ello que, al generar este tipo de residuos mediante procesos de estabilización, se deben tener en cuenta tanto las propiedades intrínsecas del residuo final obtenido como el diseño y características del vertedero donde se vaya a depositar.

Así, la relación entre dichas propiedades y el principal mecanismo de lixiviación que puede observarse se detalla a continuación (Tabla 11):

Tabla 11. Propiedades del residuo estable no reactivo y condiciones del vertedero que influyen en los mecanismos de lixiviación.

Propiedades / Condiciones	Efecto en el mecanismo de lixiviación en vertedero
<b>Propiedades intrínsecas del residuo monolítico</b>	
Permeabilidad	Disminución de la permeabilidad favorece el control por difusión
Dureza mecánica, robustez	Incremento de robustez (durabilidad) favorece el control por difusión
Solubilidad del contaminante en el residuo	Baja solubilidad del contaminante en el residuo favorece el control por equilibrio en el eluato
<b>Características del diseño y operación del vertedero</b>	
Altura del vertedero	Incremento en la altura del vertedero favorece el control por solubilidad en el fondo del vertedero
Área superficial geométrica por unidad de volumen de residuo	Incremento en el área superficial favorece el control por equilibrio
Velocidad de infiltración de las aguas pluviales	Disminución en la velocidad de infiltración favorece el control por equilibrio

Por tanto, dado que los residuos peligrosos estables no reactivos pueden generarse teniendo en cuenta las condiciones anteriores, diversos países han establecido criterios para estas propiedades a fin de controlar los mecanismos de extracción de contaminantes durante el almacenamiento en el vertedero.

Así, Holanda recoge en su legislación los criterios para residuos monolíticos que provienen de residuos peligrosos sometidos a tratamientos de estabilización. El valor límite para la estabilidad física es  $> 1 \text{ N/mm}^2$  (los residuos estabilizados presentan valores típicos entre 0.5 y 5 MPa y el hormigón presenta valores superiores a los 15 MPa (Laaksonen, R. (2004))<sup>7</sup> y los límites de los contaminantes en lixiviado son los establecidos por la Decisión para vertederos de residuos no peligrosos si el ensayo de lixiviación se realiza según las siguientes premisas:

- El ensayo se debe realizar durante 64 días (extracciones acumulativas conforme la norma de lixiviación en tanque NEN 7345) con una maduración completa de la muestra (28 días).
- El contenido en aditivos debe ser  $<25\%$
- La desintegración de la muestra debe ser  $<1\%$
- Los límites establecidos se pueden superar si se cumplen las siguientes premisas:
  - El residuo sin aditivos no debe tener más del 20% de  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$
  - Para cualquier sustancia – el residuo no supone más del 10% de la capacidad total de la celda y este no se encuentra ubicado próximo a los extremos de la celda.

Los países nórdicos han colaborado en un proyecto específico para establecer los valores límite para residuos monolíticos (Development of criteria for acceptance of monolithic waste at landfills) en el que se demostró que, bajo las condiciones de los escenarios escogidos y de acuerdo con los cálculos basado en datos experimentales, la extracción de los contaminantes en el fondo del vertedero están regidos en mayor medida por mecanismos de equilibrio que por mecanismos de difusión. Para alcanzar dicho equilibrio se requiere la penetración de muy poca cantidad de agua para alcanzar el equilibrio. Asimismo, de acuerdo con este estudio los tratamientos físicos, como la estabilización, no afectan a las cantidades lixiviadas de contaminantes. Por tanto, se propone la utilización de los mismos métodos y criterios establecidos para residuos granulares con la salvedad de que para materiales con dimensiones  $>10 \text{ mm}$ , se debe realizar una trituración previa a fin de disminuir el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio. Los criterios recogidos en la

legislación Danesa, Finlandesa y Sueca son los que aparecen en la Decisión 2003/33/CE para admisión de residuos granulares en vertederos de residuos no peligrosos.

En la legislación sueca se indica, además, que los residuos peligrosos estabilizados no reactivos no se deben depositar en vertedero de residuos no peligrosos junto con residuos no peligrosos biodegradables.

En Portugal y en Irlanda del Norte, se consideran los mismos criterios de la Decisión para residuos granulares válidos para residuos monolíticos procedentes de residuos peligrosos estabilizados no reactivos.

En la legislación Escocesa se recogen los criterios para residuos monolíticos indicando que el residuo debe ser separado en dos partes para su estudio, una que ya esté constituido como monolito y otra que ha sido tratada para llegar a ser monolítico. La parte de residuo que ha sido tratada para ser monolítico se comparará con los valores establecidos en la Decisión para residuos peligrosos estabilizados no reactivos que se depositan en vertederos de no peligrosos, además de cumplir con un LOI <10% y un contenido en COT <6%.

Para la parte de la muestra que se considera ya monolito, se deben cumplir con unos valores más estrictos que los indicados para residuos no peligrosos. Esto es, el contenido en COD, pH, conductividad eléctrica y CNA debe ser evaluado. Asimismo, debe cumplir con un límite para la estabilidad física de > 1.5 MPa y unas dimensiones de más de 40 cm en cualquier dirección.

En el Reino Unido la Agencia de Medio Ambiente inglesa<sup>†</sup> contiene una propuesta de valores límite de lixiviación para residuos monolíticos destinados a vertederos que admitan residuos estables no reactivos así como residuos peligrosos monolíticos, proporcionándose valores ligados a la prueba de tanque según norma NEN 7345, tanto en su modo completo de 64 días, como en su modo de prueba de cumplimiento, de sólo 4 días. Asimismo, la legislación inglesa, se recogen también criterios para la fuerza compresiva de al menos 1 MPa después de 28 días de “curado”. Antes del tratamiento para convertir el residuo es monolítico, éste debe presentar una pérdida de masa por calcinación (LOI) <10% y un contenido en COT <6%.

En la legislación Alemana, se especifica que los residuos peligrosos estables no reactivos con carácter monolítico se podrán depositar en vertederos de no peligrosos siempre y cuando aquellos residuos que son considerados peligrosos por su contenido en compuestos

---

<sup>†</sup> Guidance on sampling and testing of wastes to meet landfill waste acceptance procedures. Version 1. April 2005. Environment Agency.

orgánicos, han sido tratados de tal manera que se han eliminado dicho compuestos orgánicos mediante el tratamiento de estabilización.

Por otro lado, ante la falta de normativa europea, en la legislación Francesa se ha desarrollado normativa nacional relativa a ensayos de lixiviación de residuos monolíticos (XP X 31-211). En esta norma se establecen las condiciones de lixiviación para un residuo peligroso estabilizado, tras 4 días de maduración (moldeado/curado) en un ensayo a 24 h, con una relación L/S = 10 L/Kg. Por tanto, este ensayo sólo sería válido para los residuos monolíticos cuya condición de monolito se adquiere por tratamiento ó estabilización de un residuo peligroso. Los criterios de admisión a vertedero de no peligrosos aplicados a dichos residuos monolíticos, son los recogidos en la Decisión para residuos granulares.

El resto de países Europeos no han establecido criterios para este tipo de residuos.

A modo de resumen, se puede concluir que son pocos los países que han recogido en las distintas legislaciones criterios de cumplimiento distintos a los especificados en la Decisión 2003/33/CE para residuos peligrosos estabilizados y no reactivos granulares y cuyo carácter monolítico hace que tenga que ser evaluado su comportamiento de lixiviación de manera similar a lo descrito en el apartado anterior de este informe. En general, y aunque existen numerosos residuos tanto peligrosos como no peligrosos que pueden considerarse “monolíticos” en función de su naturaleza de partida y por sus dimensiones y características físicas, el debate acerca de los residuos monolíticos se relaciona con la valoración de residuos, ya sean originalmente peligrosos o no, estabilizados, proponiéndose el empleo de los métodos recogidos en las normas prEN-15862, prEN- 15863 y prEN-15864, generalmente más complejos, para valorar el comportamiento a largo plazo de estos residuos.

### **3.6. Requisitos de prueba de la verificación “*in situ*”**

Según el punto 1.3. del Anexo de la Decisión 2003/33/CE, cada carga de residuos que se entregue en un vertedero se someterá a una inspección visual antes y después de su descarga y se examinará asimismo la documentación reglamentaria. El residuo podrá ser admitido en el vertedero si es el mismo que ha sido sometido a la caracterización básica y a las pruebas de conformidad y si es el que figura en la documentación que lo acompaña. A este efecto, los Estados miembros establecerán los requisitos de prueba para la verificación “*in situ*”, incluidos, llegado el caso, de métodos rápidos de prueba.

Las distintas aplicaciones de las técnicas analíticas más comunes utilizadas para los análisis “*in situ*” se resumen en la Tabla 12.

Tabla 12. Aplicaciones de las técnicas analíticas más comunes usadas en análisis “in situ”

Técnica	Análisis de campo	Caracterización en campo	Confirmación muestreo	Caracterización de residuos	Aseguramiento del riesgo
Biosensor	✓				
Test colorimétrico	✓	✓			
Sensor químico de fibra óptica	✓	✓			
Espectrómetro de FTIR		✓		✓	
Cromatografía de gases		✓	✓	✓	
Inmunoensayo	✓	✓	✓	✓	
Fluorescencia de Rayos-X	✓	✓	✓	✓	✓

Según se ha visto en apartados anteriores, la respuesta recogida entre los gestores y las distintas administraciones ponen de manifiesto la escasa aplicación que hay de este tipo de técnicas a la hora de valorar la admisibilidad del residuo en el vertedero. Los parámetros más comúnmente analizados “in situ” son el pH, la temperatura y la humedad, así como en algunas ocasiones los metales. A continuación se describen brevemente los tipos de técnicas e instrumentación más comunes existentes hoy en día en el mercado para este tipo de aplicaciones.

**Tipos de tecnologías existentes:**

➤ **Sistemas en kit – semicuantitativos / cualitativos.**

- **Biosensores:**

Los biosensores son dispositivos en los cuales el elemento sensor es una enzima, anticuerpo, microorganismo, etc. y el transductor es un dispositivo electroquímico, acústico u óptico por el que se obtiene una señal cuantificable en la mayor parte de los casos. Sus ventajas son el relativo bajo coste y la obtención de datos en tiempo real. El principal inconveniente es el número limitado de analitos que pueden ser detectados (y cuantificados) con este tipo de dispositivos.

- Test colorimétrico:

Los kits colorimétricos son ensayos simples realizados sobre muestras en solución (o húmedas) y que utilizan una tecnología distinta a los inmunoensayos. Se basan en la obtención de una sustancia coloreada, generalmente a través de una reacción química, y la intensidad del color se puede medir con un espectrofotómetro o visualmente y se puede correlacionar con la concentración de un determinado analito. Los límites de detección alcanzados son del orden de ppm (sólo unos pocos analitos pueden detectarse a un nivel de concentración de cientos de ppb). Normalmente no se necesita realizar calibraciones de equipos en el ensayo aunque si se utilizan soluciones patrón (suministradas con el kit) generalmente a dos concentraciones (una del límite inferior del intervalo de trabajo y otra en la zona superior del intervalo de trabajo) para poder comprobar el buen estado de los reactivos y tener dos puntos de referencia de la curva de calibrado. En otros casos como en el análisis de hidrocarburos o de PCB's, si se necesita hacer una curva de calibración con, al menos, 5 puntos para poder obtener un resultado fiable (en precisión y exactitud) utilizando para ello colorímetros portátiles.

Las ventajas principales son el relativo bajo coste, la sencillez de uso, la amplia variedad de analitos que se pueden determinar y la obtención de datos en tiempo real. La principal desventaja es la existencia de posibles interferencias y la necesidad de analizar la muestra con un mínimo de humedad.

Algunos de los métodos de referencia en los que se basan los kits disponibles son los que se indican en la Tabla 13.

Tabla 13. Métodos EPA de referencia para análisis "in situ" realizados con kits

Método EPA SW-846	Nombre del método
EPA 8510	Análisis colorimétrico de RDX y HMX en suelos
EPA 8515	Análisis colorimétrico de trinitrotolueno (TNT) en suelos
EPA 8535	Análisis colorimétrico de compuestos orgánicos volátiles halogenados en aguas (y lixiviados)
EPA 9074	Análisis turbidimétrico hidrocarburos totales recuperables en suelos
EPA 9077	Análisis de cloro total en productos del petróleo (nuevos y usados)
EPA 9078	Análisis de policlorobifenilos en suelos
EPA 9079	Análisis de policlorobifenilos en aceites de transformador

De estos sólo algunos son de utilidad para el control de entrada en vertederos.

- Sensor químico de fibra óptica:

Un sensor químico de fibra óptica es un dispositivo basado en el cambio de la absorbancia, fluorescencia, reflectancia o de la luz polarizada debido a la interacción del analito con la capa químicamente modificada que está situada en el recubrimiento de la fibra óptica. Este cambio en la luz detectada se puede correlacionar con la concentración de analito en el medio. En el contexto de los suelos y los residuos se utiliza principalmente para cuantificar hidrocarburos, BTEX y compuestos orgánicos volátiles halogenados. Es necesario realizar una calibración previa en la que se correlacione la señal detectada con la concentración del analito (estándar) en el medio de análisis.

Las principales ventajas son su relativo bajo coste, la posibilidad de analizar "*in situ*" todo tipo de muestras, el fácil manejo y pequeño tamaño, la existencia de dispositivos portátiles, la obtención de resultados en tiempo real con un bajo tiempo de respuesta del equipo (generalmente menos de 10 minutos) y la obtención de unos límites de detección adecuados (ppm). Las principales desventajas son las posibles interferencias de otras sustancias presentes en el residuo (existen pocos sensores químicos de fibra óptica selectivos), la mayor parte de ellos proporcionan una señal que varía con la temperatura por lo que es necesario hacer correcciones de los resultados si las variaciones de la temperatura son grandes. Por último, el tiempo de respuesta es mayor en caso de una alta concentración de contaminantes.

➤ **Electrodos selectivos.**

Las técnicas electroanalíticas estudian las propiedades eléctricas de una disolución en la llamada "célula electroquímica". Estas técnicas se caracterizan por una alta sensibilidad, gran selectividad y elevada precisión. El límite de detección puede ser menor de  $10^{-10}$  M. Una característica de estas técnicas es que miden actividades no concentraciones de analito, de ahí que se haya de tener siempre presente la presencia de sustancias enmascarantes

La celda electroquímica está constituida por dos electrodos (conductores metálicos), unidos externamente por un hilo conductor y sumergidos en distintas soluciones electrolíticas. Las soluciones están separadas físicamente, pero pueden intercambiar iones a través del puente salino. El llamado puente salino suele ser un tubo relleno con un gel empapado con una disolución saturada de cloruro de potasio. El KCl tiene la ventaja que permite una buena comunicación bidireccional entre las dos disoluciones debido a que el  $K^+$  y  $Cl^-$  tienen movilidad electroforética similar.

Se distinguen, desde el punto de vista energético, dos tipos de celdas:

1. **Celdas galvánicas:** producen energía eléctrica neta.
2. **Celdas electrolíticas:** consumen energía eléctrica.

Las técnicas electroanalíticas se clasifican en tres grandes grupos en función de las variables que se estudien en la celda electroquímica. Así tenemos las siguientes técnicas:

- ✓ Métodos potenciométricos: estudian la relación entre la fuerza electromotriz externa ( $f_{em}$ ) y la actividad del analito por aplicación de la ecuación de Nernst.
- ✓ Métodos coulombimétricos: estudian la relación entre la cantidad de carga empleada y la concentración de analito.
- ✓ Métodos voltamperométricos: estudian la relación entre la intensidad de corriente y el voltaje aplicado en la celda.

Ejemplos de electrodos analíticos:

□ **Electrodo de vidrio para medida del pH**

Se aplica principalmente para determinar el pH de cualquier solución acuosa (sangre, orina, solución amortiguadora, lixiviado..). El pH se relaciona con la diferencia de potencial a través de una membrana de vidrio selectiva a los protones. La celda contiene 2 electrodos de referencia: 1) Electrodo de referencia externo (Ej.  $Ag/AgCl$  ó  $Hg/Hg_2Cl_2$ ). 2) Electrodo interno de  $Ag/AgCl$ .

La técnica analítica más común en ciencia es la medición del pH por lo que es sumamente importante que el pH se pueda medir de forma reproducible en cualquier laboratorio del mundo. El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (USA) y la IUPAC recomiendan una definición operacional del pH, basada en la calibración directa del medidor de pH con amortiguadores estándares internacionalmente certificados. La medición del pH de estándares primarios certificados la realizan laboratorios acreditados que emplean celdas sin uniones líquidas.

La mayoría de los pH-metros se componen de un par de electrodos conectados a un medidor capaz de medir voltajes pequeños, del orden de milivoltios. El valor de pH se obtiene a través de la medida del potencial que adopta un electrodo de vidrio al ser sumergido en una disolución problema. Para ello, antes de proceder a la medida, se tiene que realizar la calibración del aparato utilizando dos disoluciones tampón de pH 4 y 7, respectivamente.

□ **Electrodos de vidrio sensibles a otros cationes**

Se fabrican membranas selectivas para otros cationes incorporando alúmina, boratos, etc. Así, se han obtenido membranas sensibles a metales alcalinos,  $Ag^+$ ,  $NH_4^+$ , ...

#### □ **Electrodos selectivos a moléculas**

Sondas sensibles a los gases: el fundamento de estas sondas es una membrana permeable a los gases. Un ejemplo, presente en todos los equipos de gasometría, es el conocido electrodo de Severinghaus o sonda sensible al CO<sub>2</sub> basado en el carácter ácido de este óxido. El fundamento es el siguiente: por una membrana microporosa difunde el CO<sub>2</sub> de la muestra problema; un electrodo de pH, en el lado interno de la membrana, registra la variación de pH que ocasiona este ácido anhídrido. La modificación del pH es proporcional a la concentración de CO<sub>2</sub> en la muestra. Se han desarrollado sondas sensibles a otros gases (NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, HCN, HF, ...).

Como anteriormente se ha mencionado, los ensayos *in situ* se pueden utilizar para estimar la concentración inicial de contaminantes, caracterizar propiedades del residuo (sobre todo aquéllas que sufren una rápida alteración una vez tomadas las muestras, como es el caso del pH, oxígeno disuelto o turbidez) o un rápido análisis en el transcurso de una investigación. Para los **análisis generales** lo normal es utilizar unos equipos de análisis portátiles de lectura directa que se basan en las propiedades electroquímicas de los contaminantes. Son útiles para evaluar muestras cuyas propiedades cambian rápidamente al contacto con la atmósfera. Normalmente evalúan pH, conductividad, temperatura, concentración de oxígeno disuelto y concentración de amonio. Los instrumentos de medida (conductímetro, pH-metro, oxímetro) son diversos, algunos de estos equipos pueden medir varios parámetros a la vez, son las denominadas sondas multiparamétricas.

Las principales ventajas de estos sistemas para las mediciones continuas en tiempo real (*in situ*) son:

- Medidas simples como técnica, coste, equipo y personal.
- Análisis rápidos (minutos)
- Cantidad de muestra reducida (0,3 ml)
- No necesita preparación de muestra
- Alta sensibilidad (hasta ppb)
- Medida independiente de color y turbidez
- Exentos de interferencias o fácilmente eliminables
- Fácil repetibilidad.

#### ➤ **Analizadores.**

- Espectrometría de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR):

Esta es una técnica analítica para identificar en aire principalmente los compuestos orgánicos volátiles generados o desprendidos del residuo. La identificación se realiza

a partir de las bandas de absorción que aparecen en la región infrarroja del espectro electromagnético y que da lugar a la “huella dactilar” de cada compuesto. Los límites de detección oscilan entre las 10 – 100 ppm en matriz sólida. Los resultados obtenidos son semi-cuantitativos (no se realiza calibración del equipo) y es necesario realizar un “background” ya que los dispositivos portátiles no disponen de doble haz para poder hacer correcciones de fondo.

Las principales ventajas son el adecuado límite de detección de la técnica, la disponibilidad de equipos portátiles y la obtención de resultados en tiempo real. Las principales desventajas son la interferencia por vapor de agua o dióxido de carbono, la falta de procedimientos adecuados para el aseguramiento de la calidad de los análisis y la no aplicabilidad cuando se requiere una alta resolución espacial, es decir, una diferenciación en la composición entre dos puntos muy próximos en el espacio.

- Cromatografía de gases (GC):

La cromatografía de gases en la técnica analítica usada para separar y analizar contaminantes en muy diversas matrices medioambientales. Es la técnica ampliamente aceptada y reconocida como la herramienta analítica principal debido a la capacidad de separar, detectar, identificar y cuantificar analitos de interés en mezclas complejas. Esta técnica es apropiada sólo para compuestos orgánicos térmicamente estables y puede incorporar distintos tipos de detectores (ionización por llama, fotoionización, captura de electrones, conductividad electrolítica, nitrógeno-fósforo, espectrometría de masas, etc.). Asimismo, puede combinarse con diferentes tipos de extracción e inyección de muestra (headspace, purga y trampa, extracción líquido-sólido, extracción en fase sólida, desorción térmica, etc.). Los principales analitos cuantificados con esta técnica son compuestos orgánicos volátiles (COV's), compuestos orgánicos semivolátiles (SCOV's), incluidos policlorobifenilos (PCB's), hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH's), pentaclorofenol, hidrocarburos, pesticidas, etc.

La preparación de muestra para este tipo de análisis suele ser compleja ya que requiere de gran cantidad de disolventes, campanas extractoras o atmósferas no contaminadas (sobre todo para semivolátiles), baños de agua, material de vidrio tratado térmicamente, etc. Por tanto, estos procedimientos no son adecuados para el análisis “in situ”, son apropiados para el análisis en laboratorio fijo. Sin embargo, algunos métodos como el desarrollado por Spittler<sup>‡</sup>, pueden ser adecuados para análisis de PCB's y otros compuestos orgánicos semivolátiles en campo.

<sup>‡</sup> **THOMAS M. SPITTLER**, U.S. Environmental Protection Agency, Region 1, Lexington, MA 02173, [Environmental Sampling for Hazardous Wastes](#), Chapter 5, pp 37–42. **Chapter DOI:** 10.1021/bk-1984-0267.ch005, *ACS Symposium Series*, Vol. 267, **ISBN13:** 9780841208841 **eISBN:** 9780841210950, Publication Date (Print): October 31, 1984.

Algunos de los métodos EPA se pueden utilizar como métodos de referencia los cuales pueden ser adaptados para la realización de medidas “*in situ*” con dispositivos de campo. Estos métodos se recogen en la Tabla 14.

Tabla 14. Métodos EPA de referencia para análisis “*in situ*” realizados con dispositivos de cromatografía de gases.

Método EPA SW-846	Nombre del método
EPA 8015C	Análisis de compuestos orgánicos no halogenados por GC/FID
EPA 8021B	Análisis de compuestos orgánicos volátiles aromáticos y halogenados mediante GC usando detección por fotoionización (PID) y/o conductividad electrolítica (ELCD)
EPA 8081B	Análisis de pesticidas organoclorados mediante cromatografía de gases
EPA 8082A	Análisis de policlorobifenilos mediante cromatografía de gases
EPA 8100	Análisis de hidrocarburos policíclicos aromáticos mediante cromatografía de gases

Estas técnicas analíticas requieren de calibración del equipo (según manual del fabricante) como de calibración analítica para la cuantificación de los compuestos de interés. La calibración analítica consiste en la inyección de cantidades conocidas del compuesto a cuantificar y determinar tanto su tiempo de retención (diferencia entre el tiempo de inyección y el de elusión) y la señal recogida (área o altura de pico) a cada concentración. Si parámetros como el flujo del gas portador, la temperatura o rampas de temperatura y el volumen de inyección permanecen constantes, el tiempo de retención permanecerá también inalterado para cada compuesto y se podrá utilizar como parámetro identificador. La construcción de la curva de calibrado para el análisis cuantitativo se realizará mediante la representación de área/altura de pico frente a concentración de la solución inyectada.

Las principales ventajas son el relativo bajo coste, límites de detección muy bajos (ppb), resultados con gran exactitud y precisión, existencia de dispositivos portátiles, alto rendimiento por análisis debido a la posibilidad de cuantificar simultáneamente varios analitos. Los inconvenientes más destacados son la necesidad de una preparación de muestra relativamente compleja, tiempos de respuesta moderados, necesidad de un entrenamiento técnico del operador, en algunos casos puede ser necesario cambiar el tiempo y modo de extracción de la muestra en función de la carga orgánica y, en caso de que más de dos componentes co-eluyan, los límites de

detección / cuantificación varían pudiéndose superar en algún caso el límite exigido por la legislación.

- Fluorescencia de Rayos X:

La fluorescencia de Rayos X es la técnica analítica más utilizada para la detección de metales en diversos tipos de matrices sólidas, siendo algunos de ellos el arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, selenio, plata y zinc. Los dispositivos portátiles utilizan un radioisótopo como fuente de rayos X evitando así la necesidad de una fuente fija de radiación (tubo de Rayos-X).

El principio de medida se basa en la exposición de la muestra a los rayos-X, los cuales tienen una energía similar pero siempre superior a la energía de excitación de los electrones situados en las capas de valencia del elemento metálico. Esto produce el salto de los electrones a las capas superiores donde están los orbitales vacíos, produciéndose a continuación la entrada de electrones procedentes de otros niveles superiores en las vacantes que han quedado tras la excitación electrónica. Dado que los electrones que rellenan estas vacantes tienen más energía que el nivel que van a ocupar, esa diferencia de energía es emitida en forma de rayos-X. Por tanto, cada elemento metálico emitirá la radiación (rayos-X) a una longitud de onda determinada, pudiendo asignar la presencia de determinados metales simplemente observando la energía de los rayos-X emitidos por la muestra. La intensidad de dicha radiación es proporcional a la concentración del metal.

Las principales interferencias provienen de la matriz a analizar y de la humedad (si supera el 20% puede haber problemas de cuantificación ya que los equipos suelen estar calibrados para humedades menores de ese valor). Existen también las posibles interferencias químicas debido a que, por ejemplo, el hierro tiende a absorber la radiación emitida por el cobre, el cromo puede dar una señal mayor en presencia de hierro, etc. Estos efectos pueden ser corregidos mediante análisis matemático con el software del equipo.

El límite de detección del equipo puede oscilar entre las 10 y las 100 ppm mientras que los límites de detección metodológicos están situados entre las 40 y las 200 ppm, dependiendo del metal. El caso más desfavorable es el cromo ya que tiene bandas de emisión a una longitud de onda (energía) muy cercanas a la energía de las fuentes comúnmente utilizadas.

Estos dispositivos se calibran normalmente mediante uno o varios de los siguientes métodos:

- Calibración basada en parámetros fundamentales: se calibra el equipo utilizando la respuesta conocida de cada metal a la exposición de Rayos-X de una

determinada energía. Se realiza mediante incorporación de algoritmos en el software. Normalmente lo realiza el fabricante aunque el usuario puede modificar esa calibración (pendiente y ordenada en el origen) mediante comprobación de la respuesta obtenida cuando se analizan soluciones patrón o materiales de referencia.

- Calibración empírica: se obtiene la curva de calibrado mediante análisis de soluciones patrón a unas determinadas concentraciones. Pueden ser más laboriosas y consumen más tiempo pero son más efectivas ya que se pueden reproducir las condiciones de la matriz a analizar y poder corregir así de manera adecuada las interferencias por efecto matriz.

Las principales ventajas son su bajo peso (normalmente menos de 13.5 Kg) y su autonomía (8-10 h), el tiempo de análisis (la mayor parte de las muestras se pueden analizar en menos de 5 min), la gran variedad de analitos que pueden determinarse (hasta 35 elementos) y es un ensayo no destructivo por lo que se pueden hacer replicados de una muestra. No se necesita preparación de muestra y algunos de ellos pueden tener un bajo coste. Los principales inconvenientes son los altos límites de detección para algunos metales (cromo, cadmio y arsénico), pueden existir interferencias matriciales y los materiales de referencia para las calibraciones suelen ser caros.

### 3.7. Recomendaciones

Según lo expuesto en apartados anteriores, sobre los que se ha centrado esta sección del presente informe, parece evidente la necesidad de establecer criterios para valorar en nivel de cumplimiento para algunos de los parámetros analíticos descritos en la Decisión.

- En lo relativo a los PAHs resulta oportuno establecer un límite para la admisión en vertederos de inertes que, por coherencia con los criterios del actual reglamento CE 1272/2008 sobre criterios de clasificación y etiquetado para sustancias y mezclas no debería superar los 100 mg/kg establecidos para el benzo(a) pireno. La adopción del valor límite clasificatorio para el B(a)P como referente de conjunto para los 16 PAHs (tomando como criterio muy conservador que todos posean una potencia mutágena equiparable) y la adopción de una cautela adicional asociada a la incertidumbre analítica puede llevar a recomendar de forma empírica valores del orden de 70-80 mg/kg (p.s), no muy distantes al propuesto en Cataluña. En todo caso el valor propuesto, ya sea empírico, o basado en un escenario específico de riesgo, deberá estar claramente justificado.

- El método para determinar la capacidad de neutralización de ácidos (o de bases) sin ser complejo requiere un considerable esfuerzo, por lo que es prioritario definir valores de referencia, si es preciso en función del entorno receptor previsto, así como acotar los casos en los que resulte imprescindible la realización de estos ensayos. Esto requerirá con toda probabilidad la realización de un proyecto específico para la determinación de la base técnica que permita fijar estos criterios.
- Los restantes métodos analíticos de ensayo para parámetros habituales se encuentran ya normalizados y suficientemente desarrollados como para no suponer un rato para cualquier laboratorio competente. Excepcionalmente puede ser necesario recurrir a análisis de parámetros adicionales cuando la naturaleza del residuo lo justifique (pesticidas, dioxinas y furanos, otros metales, etc.).
- Parece recomendable fomentar el empleo de los múltiples métodos analíticos *in situ* disponibles, desde kits hasta analizadores portátiles puesto que pueden resultar herramientas tremendamente potentes y útiles en el control de entrada, al igual que lo son ya en el campo de la investigación de emplazamientos contaminados. Su uso sin embargo se ve actualmente limitado por el elevado coste de los equipos analizadores más complejos.
- Resulta urgente plantear criterios y ejemplos de casos en relación con residuos monolíticos, indicándose claramente en que casos estos a su vez son aplicables a residuos estables no reactivos. Los enfoques y resultados de los diversos estudios consultados parecen ser notablemente divergentes, existiendo países que han adoptados métodos de lixiviación en tanques de duración variable pero siempre extensa, a países como los Nórdicos que parecen apostar por el empleo en residuos monolíticos de los métodos convencionales aplicados a residuos granulares, previa reducción de tamaño de los mismos, afirmando que en ambos casos, y dado suficiente tiempo para el equilibrio, los resultados son comparables. Aunque esta decisión requiere de un estudio científico más detallado del abordado aquí, y la existencia de proyectos de norma europea de pruebas en tanque para residuos monolíticos probablemente limite la alternativa Nórdica, se recomienda un enfoque secuencial, que permita la resolución de la mayor parte de los casos mediante pruebas de cumplimiento de corta duración, dado que pruebas de hasta 64 días y múltiples pasos de recogida de lixiviados parecen inabordables como pruebas de rutina.

#### 4. ELABORACIÓN DE PLANES DE MUESTREO

Uno de los conceptos centrales a la caracterización de residuos es la del muestreo representativo, puesto que de este depende no sólo la validez de los resultados obtenidos tras el análisis de la muestras o muestras tomadas, sino el propio valor de las decisiones posteriores de gestión sobre el total de la masa de residuo muestreada y la a seguridad de las personas, las instalaciones y el entorno afectados.

La decisión 2003/33/CE hace referencia a este aspecto a las normas europeas e informes técnicos elaborados por el Comité Europeo de Normalización para la caracterización de residuos y que se centran en los principales aspectos de la elaboración de un plan de muestreo, el equipamiento y la conservación de las muestras. A este respecto, los elementos normativos principales a nivel europeo son los siguientes:

Tabla 15. Normas y guías Europeas más relevantes en relación a la toma y conservación de muestras publicadas por CEN.

Norma / Guía	Organismo emisor
Norma UNE-EN 14899: 2007. Caracterización de residuos. Toma de muestras de residuos. Esquema para la preparación y aplicación de un plan de muestreo.	CEN / AENOR
UNE-CEN/TR 15310-1:2008 IN. Caracterización de residuos. Muestreo de residuos. Parte 1: Orientación en la selección y aplicación de los criterios de muestreo bajo diversas condiciones.	CEN / AENOR
UNE-CEN/TR 15310-2:2008 IN. Caracterización de residuos. Muestreo de residuos. Parte 2: Orientación en técnicas de muestreo.	CEN / AENOR
UNE-CEN/TR 15310-3:2008 IN. Caracterización de residuos. Muestreo de residuos. Parte 3: Orientación en los procedimientos de submuestreo en campo.	CEN / AENOR
UNE-CEN/TR 15310-4:2008 IN. Caracterización de residuos. Muestreo de residuos. Parte 4: Orientación en procedimientos para embalar, almacenar, conservar, transportar y entregar muestras.	CEN / AENOR
UNE-CEN/TR 15310-5:2008 IN. Caracterización de residuos. Muestreo de residuos. Parte 5: Orientación en el proceso de definición del plan de muestreo.	CEN / AENOR

La Decisión, publicada en 2003, sólo indicaba respecto a los métodos de toma de muestra que *“para el muestreo de los residuos con fines de caracterización básica, prueba de conformidad y pruebas de verificación in situ, se elaborará un plan de muestreo de conformidad con la parte 1 de la norma de muestreo que está siendo redactada por el CEN”*. Por otra parte el RD 1481/2001 indicaba que *“Hasta que se apruebe una norma europea de toma de muestras de residuos, se aplicarán las normas y procedimientos vigentes en el territorio de cada Comunidad Autónoma”*.

Los últimos 5 años han presenciado un desarrollo normativo importante en materia de caracterización y toma de muestras de residuos, a través fundamentalmente del subcomité CEN/TC 292 de residuos, resultando en la publicación de la norma EN 14899 y de los informes técnicos de la serie EN 15310 que la complementan en enorme detalle y que reflejan el estado de la técnica en esta materia.

Como consecuencia de esto, los nuevos desarrollos normativos en Galicia y País Vasco incorporan referencias explícitas a la norma UNE-EN 14899 y a la que se pueda desarrollar posteriormente.

En el contexto de la norma EN 14899, la elaboración de un adecuado plan de muestreo es el concepto central que gobierna todo el proceso. El objetivo principal del plan de muestreo es el obtener una muestra o conjunto de muestras representativas del residuo objeto de estudio, llegando a ello a través del muestreo de un número suficiente de muestras en los puntos apropiados, determinados mediante métodos probabilísticos o no, en función de la naturaleza, presentación, almacenamiento, homogeneidad y demás condicionantes asociados al estudio.

Deben apreciarse sin embargo las dificultades que plantean los residuos, debido a la variabilidad en su generación, a su frecuente falta de homogeneidad y a su a menudo muy compleja composición. El muestreo representativo de los residuos ha sido y es el punto más débil de todo el proceso de caracterización, sin que exista generalmente una percepción de la necesidad de destinar esfuerzos exhaustivos al la obtención de muestras suficientemente representativas de la masa de residuos estudiados.

Las nuevas normas europeas, en línea con otros desarrollos similares en el marco internacional marcan un camino mucho más riguroso en todos los aspectos relacionados con el diseño y ejecución de un plan de muestreo que pueda ser considerado representativo, lo que entraña importantes cambios para productores, empresas consultoras y administraciones que, en general, deberán estar dispuestos a exigir esfuerzos más intensos, y por tanto más costosos, en las etapas de caracterización básica, y también de conformidad, de las que en la práctica hoy en día se consideran aceptables.

A continuación se presenta un resumen de los aspectos más relevantes en materia de diseño de planes de muestreo de residuos, establecidos fundamentalmente por la norma UNE-EN 14899: 2007 sobre "*Caracterización de residuos. Toma de muestras de residuos*" y el Informe Técnico UNE-CEN/TR 15310-1:2008 relativo a la "*Orientación en la selección y aplicación de los criterios de muestreo bajo diversas condiciones*". Asimismo de realizará una breve revisión del contenido de otras normas, y de las practicas incorporadas a este respecto, por otros países desarrollados de nuestro entorno. Cabe destacar que en el ámbito europeo, todos los países que han desarrollado normativa específica recientemente, se apoyan en las normas EN referidas.

#### 4.1. Normas relativas a la toma de muestras

A continuación se proporciona un listado de las principales normas europeas y nacionales relacionadas con la toma de muestra de residuos y el desarrollo de planes de muestreo de residuos, así como guías relacionadas.

Tabla 16. Normas y guías Europeas más relevantes relativas a la toma de muestras en la caracterización de residuos.

Norma / Guía	Organismo emisor
Norma UNE-EN 14899: 2007. Caracterización de residuos. Toma de muestras de residuos. Esquema para la preparación y aplicación de un plan de muestreo.	CEN / AENOR
UNE-CEN/TR 15310-1:2008 IN. Caracterización de residuos. Muestreo de residuos. Parte 1: Orientación en la selección y aplicación de los criterios de muestreo bajo diversas condiciones.	CEN / AENOR
UNE-CEN/TR 15310-2:2008 IN. Caracterización de residuos. Muestreo de residuos. Parte 2: Orientación en técnicas de muestreo.	CEN / AENOR
UNE-CEN/TR 15310-5:2008 IN. Caracterización de residuos. Muestreo de residuos. Parte 5: Orientación en el proceso de definición del plan de muestreo.	CEN / AENOR
ASTM D4687 - 95(2006) Standard Guide for General Planning of Waste Sampling	ASTM
Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. SW-846. EPA Publication.	USEPA
RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance Planning, Implementation and Assessment USEPA, Environmental Protection Emergency Response, Office of Solid Waste - EPA530-D-02-002 - August 2002.	USEPA
Guidance on sampling and testing of wastes to meet landfill waste Acceptance procedures version 1. April 2005. Environment Agency	Environment Agency (UK)
LAGA PN 98 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz . Dec. 2001. (Guía para la caracterización físico-química y toxicológica de residuos).	Ministerio de Medio Ambiente del Lander de Renania-Palatinado
Ordinance on Landfill Sites and Long-Term Storage Facilities (Landfill Ordinance – DepV).27 abril de 2009. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Alemania	Ministerio de Medioambiente. Alemania
Erläuterungen zur Deponieverordnung 2008. Agosto 2009. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (Guía para la aplicación del decreto Austriaco de vertederos).	Ministerio de Medioambiente. Austria

## 4.2. Importancia de plan de muestreo

Como se ha indicado el plan de muestreo debe ser adecuado para cumplir los objetivos o metas técnicas del estudio para el que se realiza el muestreo, debiendo estos estar claramente definidos. En el contexto que nos ocupa, el estudio de un residuo generalmente se realizará con alguno de los siguientes fines:

- Obtención de una muestra para la caracterización básica de un residuo de acuerdo con la Decisión 2003/33/CE, incluyendo la determinación de su naturaleza como peligroso o no peligroso. Podrá requerir un número grande de muestras puesto que su objetivo suele ser el de determinar la variabilidad del comportamiento del residuo y determinar el comportamiento límite de sus constituyentes clave.
- Obtención de una muestra para la realización de ensayos de conformidad de acuerdo con la Decisión 2003/33/CE. Si la legislación aplicable define criterios estadísticos de cumplimiento, serán estos los que determinen el enfoque del estudio. Generalmente se basará en la determinación de valores medios o percentiles que se usarán para determinar el nivel de cumplimiento frente a valores de referencia legales.
- Obtención de una muestra con el fin de determinar algún aspecto de su composición química o de sus propiedades físicas, químicas o toxicológicas / ecotoxicológicas con cualquier otro fin reglamentario o no reglamentario.

Todos los aspectos relevantes asociados con el objetivo del estudio, los parámetros a analizar y los posteriores criterios legales frente a los que se van a valorar los resultados obtenidos, así como los aspectos prácticos necesarios para el muestreo como son el origen y proceso generador del residuo, la población a muestrear, la presentación y almacenamiento del residuo, su forma física, el número total de muestras a tomar, su localización y cantidad y el procedimiento de muestreo específico se deben recoger en un *documento de Plan de Muestreo*.

Según indica la norma EN 14899, en la medida que sea posible, el plan de muestreo debe tener en cuenta la variabilidad de la muestra y establecer en función de criterios objetivos el planteamiento de la toma de muestras de forma que, siempre que se pueda determinar, la incertidumbre asociada al muestreo sea compatible con los objetivos técnicos del estudio.

En definitiva, el plan de muestreo debe recoger una descripción de dónde, cuando y como se deben tomar las muestras para obtener en la medida de lo posible una cantidad de muestra representativa y manejable, conforme a los requisitos de los ensayos a realizar. Se debe indicar si el enfoque seleccionado se ajusta a criterios estadísticos o si por el contrario el muestreo se realiza “a juicio de experto”.

Los aspectos descritos a continuación se basan esencialmente en el contenido de los Informes Técnicos CEN/TR 15310-1 y 15310-5, a los que se refiere para una revisión exhaustiva de los criterios empleados.

### 4.3. Parámetros que definen el muestreo

Entre otros aspectos, el plan de muestreo debe indicar claramente si la muestra o muestras que se van a mandar a analizar (muestra de laboratorio) van a ser el resultado de un acto puntual (se toma una sola porción de muestra que luego es enviada a analizar) o por el contrario se realizan muestras compuestas, agregando diversas porciones (alícuotas) tomadas en diferentes puntos, que tras homogeneizarse debidamente generan muestras agregadas representativas de la población muestreada. Este último caso, en el que se generan una o varias muestras compuestas como resultado de un muestreo suele ser el enfoque más habitual.

El plan indicará por tanto el número de alícuotas a tomar para cada muestra compuesta, el número y ubicación de los puntos de muestreo dentro de la población total del residuo, el procedimiento de muestreo y homogeneización de muestras, así como las cantidades de cada alícuota y de la muestra integrada a enviar al laboratorio. La presente exposición recoge los criterios más relevantes descritos en el informe técnico CEN/TR 15310-1 relacionados con la selección de los criterios más adecuados para definir estos aspectos de un plan de muestreo.

#### Muestreo probabilístico y a juicio de experto

Según se define en la norma europea el muestreo probabilístico es un muestreo planteado siguiendo principios estadísticos, según los cuales cada elemento dentro de la subpoblación que se muestrea tiene la misma probabilidad de ser seleccionado. Entre este tipo de muestreos existen diversas aproximaciones como el muestreo simple aleatorio, en el que cada elemento individual se selecciona al azar, el muestreo sistemático, según el cual la ubicación del primer punto de muestreo elegido al azar determina la localización de los siguientes puntos de muestreo de acuerdo con un patrón predefinido, o el muestreo estratificado, en el caso de que den diferentes capas o estratos dentro del residuo.

En el muestreo a juicio se descarta de forma total o parcial el empleo de técnicas estadísticas y por consiguiente la incertidumbre del muestreo y su bondad respecto a los objetivos del estudio no se puede cuantificar o, en el mejor de los casos, esto se hace parcialmente. El principal motivo por el que no se emplea un enfoque probabilístico es cuando la población a muestrear es muy grande y/o cuando otros condicionantes como el tiempo disponible, la accesibilidad o factores económicos limitan el uso de enfoques más exhaustivos en términos de intensidad y alcance del proceso de toma de muestras.

Como alternativa parcialmente probabilística, la norma UNE-EN 14899 contempla la posibilidad de usar un enfoque probabilístico restringido sobre una subpoblación del residuo con lo que, aunque no se asegura representatividad respecto a toda la población, al menos se hace respecto a subconjunto seleccionado.

La norma contempla el empleo de un muestreo a juicio de experto, pero esta opción siempre deberá ser justificada, siendo especialmente importante en estos casos la disponibilidad de información exhaustiva de partida acerca del régimen de producción y almacenamiento del residuo, de sus características, aspecto, distribución y cualquier otro dato que facilite la selección a juicio de del punto / puntos de muestreo.

### Definición de la población a muestrear

En primer lugar conviene definir con claridad en el plan de muestreo el alcance de los elementos sometidos a estudio. Para ello se recurre a los conceptos de:

*Población global*, constituida por el volumen total de material sobre el que se requiere información. En el estudio de las cenizas generadas por un horno de incineración esto supone la totalidad de las cenizas generadas a lo largo de la vida útil de la instalación y por tanto no resulta factible.

*Población* - Como alternativa, generalmente un estudio se restringe a una subserie adecuada de los residuos generados que forman parte de la población global, por ejemplo, las cenizas generadas durante una semana o un mes de operación o cualquier otro período que se considere típico del comportamiento global del residuo. Esta selección depende del conocimiento del proceso generador y del buen criterio del responsable de la elaboración del plan de muestreo. La definición de la población deberá especificarse en términos espaciales o temporales.

*Sub-población* – Esta la parte de una población de residuo sobre la que se realiza efectivamente el ejercicio de muestreo y que se estima suficientemente representativa de la población. Puede ser necesario al muestreo de una subpoblación cuando la cantidad de residuo de la población es muy grande o cuando existen limitaciones al acceso (p.ej el perímetro de un acopio o la zona accesible con pértiga hasta 1 m de la orilla de una laguna de decantación).

### Escala

La escala defina la masa o volumen de residuo que representa directamente una muestra. Por tanto indica el alcance del ejercicio de muestreo y define el nivel a que es representativo. La escala puede oscilar desde el tamaño de las partículas individuales muestreadas hasta la sub-población o población total muestreada. Dado que la heterogeneidad de un residuo en general aumenta a medida que disminuye la escala, este aspecto se debe indicar claramente en el plan de muestreo.

Ejemplos:

- Conjunto de acopios existente en el parque de residuos en un momento dado
- Acopio concreto de unos 10 m<sup>3</sup>, subpoblación de la población anterior

Se recomienda fotografiar la zona ocupada por los residuos objeto del ejercicio de muestreo con el fin de ilustrar la escala precisa de la población o subpoblación a muestrear.

### Variabilidad

La variabilidad es una indicación del *grado de diferencia en alguna característica del residuo* (p.ej su color o la concentración de un determinado metal) en función de su distribución espacial y/o temporal. Esto podrá depender de diferencias en el proceso productivo así como de cambios posteriores que se den en el residuo (estratificación, descomposición, mezclado, etc.). Cuanto más se conozca acerca del proceso generador del residuo y de la naturaleza de los materiales de partida, así como acerca de la manipulación y posteriores procesos que intervienen en la generación y posterior almacenamiento del residuo, mejor se podrá determinar, de forma cuantitativa o cualitativa la variabilidad del residuo, es decir su grado de homogeneidad o heterogeneidad en relación a las características de interés. Todas las observaciones y datos disponibles al respecto (p.ej. procedentes de un estudio prospectivo previo) deberán reflejarse en el Plan de Muestreo.

Como cabe esperar la escala es un factor importante a la hora de definir la variabilidad, puesto que las variaciones que se puedan dar a escalas inferiores a la definida para el muestreo se consideran de escasa importancia (p.ej bidones de 200 L en una población de 100 bidones almacenados, la escala mínima considerada puede ser el bidón individual).

### Tipos de muestreo

Como se ha indicado antes, el muestreo probabilístico se apoya en el empleo criterios estadísticos y en la aplicación de métodos que hacen que cada elemento en la población tenga la misma probabilidad de ser seleccionado que cualquier otro. Esto ofrece la ventaja de poder cuantificar la fiabilidad de las conclusiones resultantes.

En la práctica, frecuentemente el muestreo probabilístico se ve limitado por trabas de índole práctica y/o económica. El empleo de criterios estadísticos para la definición del número de muestras y submuestras a tomar requiere generalmente un conocimiento previo aproximado de la variabilidad de las concentraciones analizadas de los parámetros relevantes de un residuo. Ello implica que, salvo que se disponga de analíticas previas adecuadas, el empleo de estas técnicas requiera un estudio exploratorio previo con un número limitado de muestras. Esto no siempre resulta posible, al igual que tampoco lo es, por motivos en última instancia económicos, la realización de muestreos exhaustivos y que llevan al análisis de numerosas muestras, con el fin de determinar los parámetros de interés con la precisión y la confianza que sería deseable.

En aquellos casos en que limitaciones económicas y/o técnicas hagan imposible el muestreo probabilístico, se podrá usar, presentando la debida justificación, un enfoque “*a juicio de experto*”, que es un muestreo dirigido o sesgado, que se centra en una subpoblación concreta seleccionada por el responsable del muestreo, y sobre la que en el mejor de los casos se puede emplear una aproximación parcialmente probabilística. La

naturaleza del enfoque y la justificación, llegado el caso, para la realización de un muestreo “a juicio de experto” deberá documentarse en el Plan de Muestreo y en el posterior informe.

Existen diversos patrones de muestreo que se emplean ampliamente:

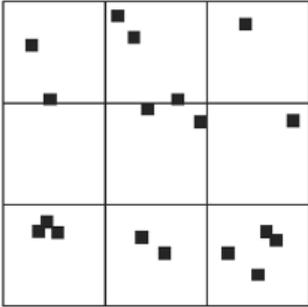
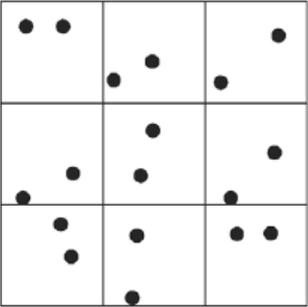
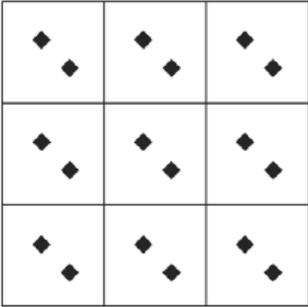
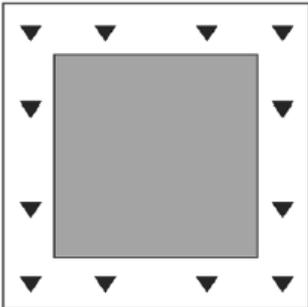
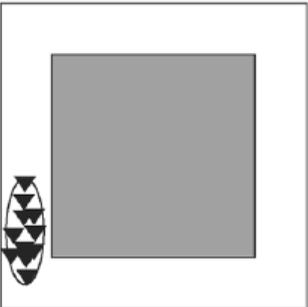
Muestreo aleatorio simple	Muestreo aleatorio estratificado	Muestreo sistemático
		
Muestreo a juicio del experto (1)	Muestreo a juicio del experto (2)	
		

Figura 1. Patrones de muestreo (Fuente: UNE-CEN/TR 15310-1:2006)

La figura muestra diversos patrones de muestreo posibles. Los primeros tres son utilizables en planteamientos estadísticos, mientras que los otros dos ilustran muestreos “a juicio de experto”.

En el muestreo aleatorio simple todas las muestras o puntos de muestreo se seleccionan al azar entre la población o subpoblación a muestrear. La selección de las muestras se hace con la ayuda de una retícula o cualquier otro sistema para definir unidades de muestreo en un espacio bi o tridimensional y un sistema para obtener números aleatorios (véase más adelante).

En el muestreo aleatorio estratificado se predefinen estratos en la población (en el ejemplo definido por cuadrículas individuales) en cada uno de los cuales se tomará un número definido de muestras aleatorias. De esta forma se asegura que cada estrato o parte diferenciada de la población estará representado.

En el muestreo sistemático, se elige un primer punto o unidad de muestreo al azar, empleando números aleatorios, estando los siguientes puntos de muestreo determinados de acuerdo con un patrón predefinido y constante, lo que supone evidentes ventajas operativas. Este esquema es uno de los más utilizados.

En el muestreo a juicio de experto, el enfoque puede ser parcialmente probabilístico, como en el caso (1), en el que se ha elegido una subpoblación específica para muestrear (p.ej porque no se tiene acceso a la parte central de la zona de depósito, sólo al perímetro), pero dentro de esta se ha empleado un enfoque sistemático. Por el contrario en el caso (2) elige una zona concreta a muestrear, desestimando las demás. Este último caso puede ser adecuado para caracterizar “*puntos calientes*” que a menudo pueden reflejar un peor de los casos. El empleo de un muestreo a juicio deberá ser justificado y, en muchos casos, no admitirá tratamiento estadístico de ningún tipo.

El patrón de muestreo elegido deberá hacerse constar en el Plan de muestreo y en el informe posterior.

#### Muestreo probabilístico – selección de parámetro estadístico requerido

En aquellos casos en los que el enfoque estadístico es posible, la selección de cual o de cuales de los parámetros que definen la población van a requerir ser estimados (como la media, o la desviación típica) es fundamental, puesto que ello regirá el tipo de muestreo y el número de muestras. Generalmente en una caracterización básica se deseará determinar parámetros de la variabilidad del residuo así como medidas de tendencia central como la media y/o la mediana. En el caso de las pruebas de conformidad, y en función de los requisitos legales, se suele estimar la media aritmética o un determinado percentil (p90 o p95 habitualmente), que se emplea como referente ante el valor límite aplicable.

#### Muestreo probabilístico – Elección de la fiabilidad deseada

La fiabilidad del muestreo está asociada a los conceptos estadísticos de *sesgo*, *precisión* y *confianza*. La definición cuantitativa de estos aspectos sólo es posible en un enfoque probabilístico, requiere información previa acerca del residuo y tiene un impacto directo en el número de muestras a tomar, por lo que siempre resulta del compromiso entre coste y expectativas del plan de muestreo.

Una propiedad única del muestreo probabilístico es que permite definir un margen de error situado alrededor del valor de cualquier parámetro estimado. A esto se le denomina, intervalo de confianza y es es una medida del margen de error en la estimación de cualquier parámetro (p.ej la media de la concentración de arsénico), siendo la precisión la mitad de la amplitud del intervalo de confianza. La precisión depende del grado de confianza estadística deseado del estudio, de la variabilidad de la población estudiada, del patrón de muestreo, del número de muestras seleccionado y de la distribución de probabilidad a la que mejor se ajuste la característica o características estudiadas en la población (normal, log-normal, binomial, etc).

Como referencia, y aunque la norma europea no establece un intervalo de confianza obligatorio (debe ser seleccionado por el usuario), en todas las ecuaciones de usa un intervalo de confianza relativamente conservador del 90%, lo que equivale a un nivel de confianza ( $p$ ) bilateral de 0.95. Este es el valor empleado en los cálculos mostrados en la norma europea, así como en los textos consultados de las guías del Reino Unido y de Austria, siendo por tanto el valor que en primera instancia proponemos como nivel de confianza e emplear el las estimaciones de los diferentes valores ( $n^{\circ}$  de muestras, etc.).

Cabe destacar que la norma ASTM Norteamericana recurre a un valor de intervalo de confianza menos conservador del 80% ( $p = 0.90$ ) y que en la legislación del País Vasco se establece en un 99% (se interpreta que el nivel de confianza del 0.01 citado para los contrastes de hipótesis es unilateral).

En todo caso resultaría recomendable valorar la realización de un estudio del impacto de la selección de un nivel de confianza u otro sobre el  $n^{\circ}$  de muestras a tomar para diversos tipos de residuos cuya variabilidad para los parámetros de interés sea conocida o pueda determinarse en el estudio, con el fin de determinar las consecuencias económicas sobre el coste del muestreo y del análisis que supone una decisión de esta naturaleza.

#### Determinación de la fracción elemental

La fracción elemental es la cantidad mínima de muestra que se toma en una única acción de muestreo. Esta fracción puede destinarse posteriormente al análisis o destinarse a ser parte de una muestra compuesta. Lo relevante respecto a la fracción elemental es que su cantidad (en masa o volumen) debe ser suficientemente grande como para minimizar los errores causados por la variabilidad en el tamaño de sus partículas individuales.

Por tanto el tamaño mínimo para la fracción elemental viene determinada por el tamaño de las partículas que constituyen el residuo y, también en cierta medida, por la apertura y capacidad del dispositivo de toma de muestras.

En el caso de los líquidos, el tamaño de las partículas individuales se mueve en el ámbito molecular, por lo que en la práctica el tamaño de la fracción elemental estará determinada por el dispositivo de muestreo y por las necesidades del laboratorio de análisis en cuanto a cantidad de muestra requerida. En el caso de los polvos y lodos el tamaño de partícula es igualmente muy pequeño y su impacto sobre la variabilidad es despreciable, por lo que no existe un tamaño mínimo de fracción elemental.

En el caso de los materiales particulados y granulados, el tamaño de la partícula sí es relevante para definir el tamaño mínimo de la fracción elemental que se tome en un acto de muestreo. Para un dispositivo de muestreo tridimensional, la apertura de la boca del dispositivo de muestreo debe ser al menos 3 veces el diámetro de las partículas más grandes (3D) o, en términos de volumen total,  $27d^3$ . Por motivos prácticos el valor empleado para el diámetro empleado será generalmente el percentil95 ( $p_{95}$ ) estimado del diámetro de las partículas del residuo.

En caso que se conozca la densidad del material a muestrear, la masa mínima de la fracción elemental puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Masa mínima} = 2.7 \times 10^{-8} \rho D_{95}^3 \quad (1)$$

Donde:

Masa mínima: es el tamaño mínimo de fracción elemental en Kg

D95: es el percentil 95 estimado del diámetro de partícula expresado en mm

$\rho$  : es la densidad del residuo expresada en kg/m<sup>3</sup>

#### Determinación del tamaño mínimo de muestra

El tamaño mínimo de la muestra a tomar (que podrá estar integrada por varias submuestras cada una de tamaño mínimo definido por la fracción elemental) se ve definido por varios factores entre los que se encuentra el tamaño de partícula, la densidad de las partículas del material, el grado de homogeneidad en la distribución de la granulometría del residuo, el coeficiente de variación causado por el error fundamental.

Se puede obtener una estimación grosera del tamaño mínimo de muestra aplicando la siguiente fórmula:

$$M_{\text{sam}} = \frac{1}{6} \pi \times (D_{95})^3 \times \rho \times g \times \frac{(1-p)}{CV^2 \times p} \quad (2)$$

Donde:

$M_{\text{sam}}$ : es la masa de la muestra en g

$D_{95}$ : es el tamaño máximo de partícula definido por el p95

$\rho$  : es la densidad del material expresada en g/cm<sup>3</sup>

$g$ : es un factor de corrección en función de la granulometría del material

$p$ : es la fracción de la partícula con una característica específica (m/m)

$CV$ : es el coeficiente variación causado por el error fundamental

#### Estimación de variables:

Dado que se estima que la variabilidad fundamental debe ser baja, se acepta generalmente un valor de CV de 0.1

El valor de  $p$  depende del residuo y de la proporción de partículas que tengan la característica investigada. Para un material de grano fino se acepta por defecto un valor de 0.02

El diámetro D ( $D_{95}$ ) se estima en función de la granulometría máxima estimada para el residuo (p.ej mediante el uso de tamices).

El factor de corrección en función de la distribución del tamaño de partícula (g) se puede estimar si se dispone información de la granulometría del residuo. De lo contrario se aceptan los siguientes valores por defecto: distribución amplia de tamaños (0.25), distribución media (0.5), distribución estrecha (0.75). Un suelo de grano fino, por ejemplo, presentaría una distribución amplia.

La densidad ( $\rho$ ) del material se determina experimentalmente o se estima de la forma más precisa posible. Para suelos de grano fino el CEN/TR 15310-1 proporciona un valor por defecto de 2.6 g/cm<sup>3</sup>.

Obsérvese que adicionalmente, el tamaño mínimo de muestra podrá ser mayor si los requisitos de volumen de muestra impuestos por el laboratorio exigen mayor cantidad de la estimada.

#### Determinación del número de fracciones elementales y/o de muestras

El número de submuestras y/o muestras está estrechamente ligado al objetivo del estudio, a la variabilidad del material que se va a muestrear y a la precisión y confianza deseada del estudio. Generalmente no se dispone de datos de variabilidad del material, por lo que no es posible aplicar un muestreo bajo criterios estadísticos de precisión y confianza si no se realiza un estudio exploratorio previo. El que esto sea posible o no dependerá del nivel de exigencia de la Administración competente y de las restricciones temporales y económicas asociadas al estudio.

El anexo C del informe técnico CEN/TR 15310-1 hace una revisión de las ecuaciones, criterios y asunciones necesarias para determinar el número de submuestras y muestras en un estudio con enfoque probabilístico. Como se han indicado, su aplicación requiere un conocimiento previo de la variabilidad del residuo, así como de los criterios de confianza y precisión deseados que, hasta la fecha no se han fijado en la normativa nacional ni autonómica, por lo que no es generalmente factible aplicar este apartado. En todo caso a continuación se proporcionan las ecuaciones más relevantes, junto con una breve explicación, dirigiéndose al lector al mencionado informe técnico para profundizar más.

#### Número de submuestras para una única muestra compuesta sobre la que se quieren determinar valores medios para contraste con límites legales

Asumiendo el caso en el que se establece que sólo se puede destinar para análisis una única muestra compuesta de un residuo (p.ej para un estudio de cumplimiento resultante de una inspección), el número de fracciones elementales (submuestras) a tomar se estima de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$m = \sigma_w^2 / \left[ n(d/u_a)^2 - \sigma_b^2 - \sigma_e^2 \right] \quad (3)$$

Donde:

d: es la precisión deseada (generalmente en mg/L o mg/kg respecto al analito objetivo)

$u_a$ : es la desviación normal típica correspondiente a la probabilidad acumulativa  $\alpha$  relativa al nivel de confianza deseado.  $\alpha = 1-(1-C/100)/2$ . Para un nivel de confianza del 90%,  $\alpha = 0.95$ . Por tanto, asumiendo una distribución normal, la desviación típica normal para  $p=0.95 = 1.65$  (tabulado).

$\sigma_w$   $\sigma_b$   $\sigma_e$ : desviaciones típicas de la variación espacial local, entre submuestras y del error analítico

n: es el número de muestras compuestas. En este caso se fija en 1.

m: es el número de fracciones elementales o submuestras

Como alternativa simplificada a la ecuación para determinar el número de muestras a muestrear proporcionado en la CEN/TR 15310-1, se propone la utilización de la versión de la simplificada de misma ecuación ofrecida en la norma ASTM D4687-95 (2006).

$$n = \frac{t_{0.80}^2 S^2}{d^2} \quad (4)$$

Donde:

n = es el número de muestras a tomar

$t^2$  = es el valor tabulado de la t de Student para un nivel de confianza del 80%, correspondiente a los grados de libertad de la varianza ( $S^2$ )

S = es la desviación típica

d = Precisión. Medido como desviación admisible que sólo se superará, según esta fórmula, en dos de cada 10 muestreos para la cantidad (X-L). Siendo X la media esperada para el parámetro investigado de interés en el residuo y L el valor límite o reglamentario de referencia.

#### 4.4. Otros criterios internacionales aplicados a la toma de muestras

Se ha revisado la legislación y guías técnicas relevantes, a efectos de estrategias de toma de muestras de residuos, publicadas en los países desarrollados de nuestro entorno. A continuación se resumen los aspectos principales identificados, refiriéndose al lector a la bibliografía indicada para una mayor profundización en cada caso particular.

##### 4.4.1. EEUU – Norma ASTM y criterios USEPA<sup>8</sup>

La norma ASDM D4687-95 (reaprobada en 2006) y titulada “*Standard Guide for General Planning of Waste Sampling*” recoge indicaciones para la planificación y diseño de un plan de muestreo de residuos, incluyendo la elaboración de planes de seguridad y salud y otras

actuaciones relacionadas. La norma, aunque más simple en su redacción que las normas EN citadas con anterioridad, no difiere excesivamente de estas en su planteamiento, hace hincapié en el conocimiento previo de la naturaleza del residuo, su forma física, la forma en que se encuentra almacenado y el objetivo del estudio. Cuando el conocimiento de la variabilidad del residuo y de la precisión requerida lo permiten, la norma ofrece la ecuación indicada en la página anterior para determinar el número mínimo de muestras a tomar para caracterizar un residuo. Cuando la información disponible es escasa o existen condicionantes económicos, la norma reconoce que un enfoque no estadístico basado en un muestreo a juicio suele ser la mejor opción. En su aproximación estadística la norma se basa en asumir una distribución normal de las variables del residuo a estudiar y en el empleo de la distribución de la “t de Student” como una aproximación razonable a la distribución real y desconocida en el residuo.

Por otra parte, la USEPA profundiza en el campo de los criterios para el plan de muestreo de los residuos en el capítulo 5 de su documento “*RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance*”<sup>9</sup> USEPA, 1992 – ref. EPA530-D-02-002). En esta guía se proporciona un tratamiento estadístico exhaustivo en función del tipo de muestreo (aleatorio simple, sistemático, etc.) y del objetivo del estudio (comparar valores medios o un percentil frente a un valor de cumplimiento legal, etc.). Las ecuaciones y el tratamiento estadístico no difieren en gran medida de lo expresado en la normativa Europea (como cabe esperar). En todo caso un aspecto es claro: para poder aplicar técnicas estadísticas para determinar el número de muestras a tomar para determinar un determinado parámetro, con una determinada fiabilidad, resulta imprescindible disponer de datos preliminares acerca de la variabilidad (en términos de desviación estándar o varianza) del analito de interés en el residuo. Para ello sólo existen dos opciones:

- realizar un estudio exploratorio con un mínimo de 4-5 muestras
- obtener estos datos de un caso previsiblemente similar (cenizas de una incineradora, etc.).

Alternativamente y como aproximación muy grosera, cabe estimar la desviación estándar (s) como:

$$S = \text{intervalo} / 6$$

El intervalo se refiere al intervalo entre concentraciones máxima y mínima esperado en función del juicio de un experto conocedor del residuo. El hecho de dividir entre 6 se basa en que en el 99% de los valores en una distribución normal de encuentran a 3 desviaciones estándar (3s) de a media. Esta estimación es muy grosera y no se basa en datos analíticos, por lo que sólo se recomienda si no existen otras alternativas válidas.

Al igual que en el caso de otras normativas, se reconoce que el empleo de muestreos a juicio de experto no proporciona resultados cuya fiabilidad de pueda medir mediante una aproximación estadística y que presentan serios riesgos, pero en muchas ocasiones puede ser la única opción económicamente viable.

Cabe destacar que la USEPA desarrollo, en soporte de la elaboración de objetivos de calidad de datos y planes de muestreo en el campo de los residuos y de los suelos contaminados un software denominado DEFT (*Data Quality Objectives Decision Error Feasibility Trials*) que opera bajo Windows e incorpora las ecuaciones que permiten estimar los principales parámetros (nº de muestras, etc.) manejados en el desarrollo de los planes de muestreo.

#### **4.4.2. Reino Unido**

En el Reino Unido, según se describe en “*Guidance on sampling and testing of waste to meet landfill waste acceptance procedures*” (Environment Agency, 2005)<sup>10</sup> se propone la elaboración de planes específicos de muestreo según la información disponible acerca del residuos y la ejecución de la toma de muestras de acuerdo con las normas europeas ya mencionadas anteriormente (EN-14899, etc.). En este documento se hace hincapié en un muestreo representativo, teniendo en cuenta que la escala será habitualmente la de un contenedor o carga de camión, debiéndose seleccionar cargas que puedan suponer un “peor de los casos” y no sólo cargas normales, puesto que en Inglaterra los criterios de admisión se consideran límites absolutos.

No se proporcionan instrucciones precisas acerca del como abordar la caracterización básica de un residuo, pero esta debe ser exhaustiva, representativa del residuo (en los términos de la norma EN-14899) y se reconoce que el proceso puede requerir numerosas muestras, ser realizado en varias etapas consecutivas y durar varios meses, siendo esta una actividad generalmente realizada por el productor, teniendo en cuenta toda la información disponible acerca del proceso generador, materias primas, etc. En caso que el residuo generado sea un residuo estabilizado será necesario emplear técnicas de lixiviación aplicables a residuos monolíticos.

Para el control de cumplimiento, generalmente en manos del gestor del vertedero, el objetivo es determinar el cumplimiento absoluto con los criterios de admisión y por tanto puede ser admisible un enfoque de muestreo dirigido a detectar las situaciones más desfavorables. Se recomienda un periodo inicial de seguimiento del residuo de 1 año, a escala de la carga de camión, en el que igualmente se admite un enfoque sistemático, p.ej. un muestreo cada 40 descargas o un muestreo cada 2 meses. En general la agencia de medioambiente inglesa considera que se deben tomar un mínimo de 6 muestras a lo largo del periodo de comprobación, proporcionándose también una tabla de la “potencia estadística” asociada al muestreo de números incrementales de muestras (se entiende que a lo largo de un año) en la que se refleja la probabilidad de detectar un incumplimiento en función del nivel de incumplimiento de real para un residuo determinado y del número de muestras tomadas durante el período de estudio.

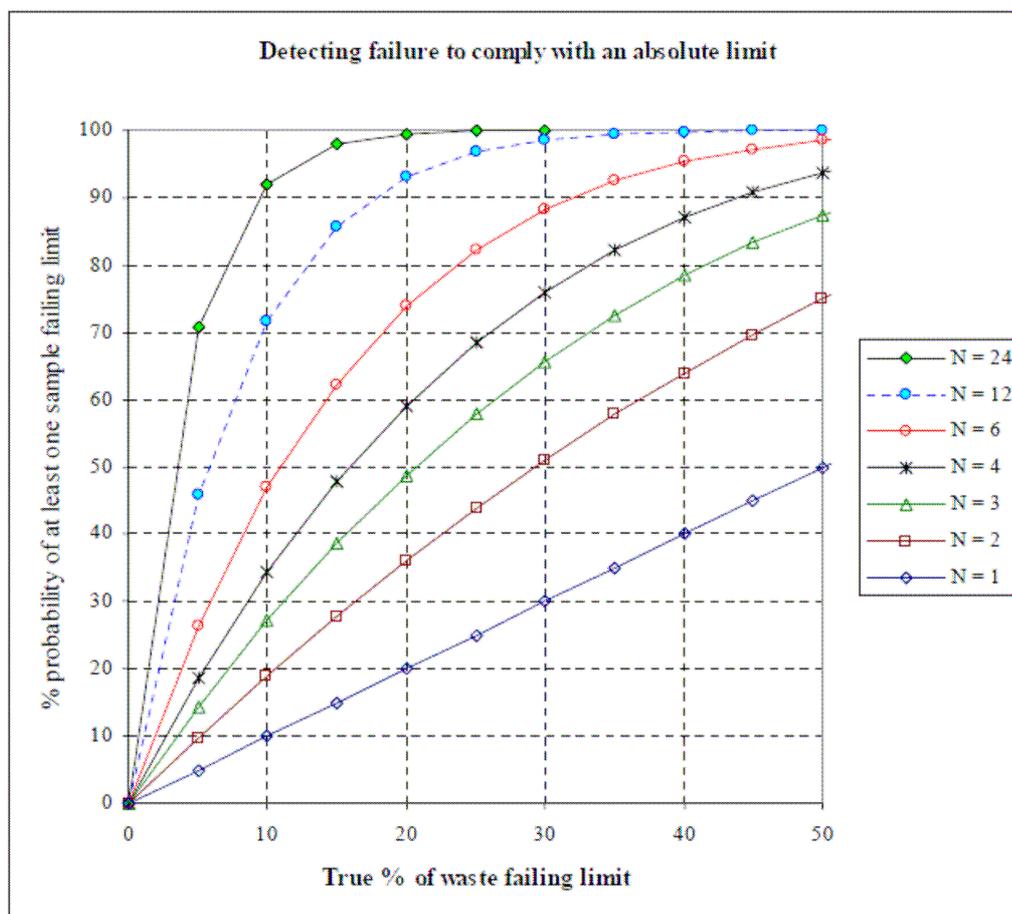


Figura 2. Probabilidad de detección de incumplimiento frente a valores límite absolutos.

Fuente: Guidance on sampling and testing of waste... (Environment Agency, 2005)

Según esta figura, para un residuo en el que la variabilidad real del mismo conduzca a una tasa de incumplimiento real del 10%, el empleo de un programa de muestreo (p.ej. anual) de sólo 6 muestras llevaría a algo menos del 50% de probabilidad de detectar este incumplimiento, mientras que si la tasa real es del 30%, seis muestras bastarían para detectar en un 90% de los casos el incumplimiento (véase línea n=6).

En sus anexos A y B el referido documento guía inglés refiere a las indicaciones de la norma EN-14899 y de sus informes técnicos, tanto para caracterizaciones básicas como para pruebas de cumplimiento, indicando que es imprescindible un conocimiento previo del proceso generador y del comportamiento del residuo y que en ocasiones puede ser necesario el acudir a un experto en estadística para definir un adecuado plan de muestreo.

En todo caso cabe recalcar que mientras que para los estudios de caracterización básica, se propugna un estudio detallado del residuo generado por un proceso industrial, con el fin de determinar valores medios a través de un muestreo representativo (generalmente a lo largo de varios meses), para las pruebas de cumplimiento, en las que el criterio es absoluto

(no superación) se propugna muestreos periodicos dirigidos siempre a la identificación del peor de los casos. La tabla siguiente, extraída del mencionado documento, proporciona las probabilidades reales de incumplimiento para un parámetro cualquiera, con un 90% de confianza, calculadas bajo el supuesto de que su comportamiento se ajuste a una distribución binomial, en función del número de muestras aleatorias tomadas en el periodo de seguimiento (p.ej durante un año).

Number of random samples	Observed number of failures	90% confidence limits for true failure rate	
		Lower limit	Upper limit
2	1	2.5%	97.5%
3	1	1.7%	86.5%
4	1	1.3%	75.1%
5	1	1.0%	65.7%
6	1	0.9%	58.2%
12	1	0.4%	33.9%

De acuerdo con estos estadísticos, una tasa de incumplimiento de 1 en 12 muestras analizadas supone que en los términos expresados, todavía podría darse el caso de que la tasa de incumplimiento real alcanzase casi el 34% de las muestras.

#### 4.4.3. Alemania

En Alemania la legislación relativa al depósito de residuos en vertedero ha sido modificada recientemente a través de su “*Deponieverordnung*” de 27 de abril de 2009 (BGBl. I S. 900).<sup>11</sup> A efectos de la presente revisión los métodos de toma de muestra que deben ser empleados para la caracterización de los residuos se determinan en el anexo IV de dicha disposición, indicándose que estos se harán de acuerdo con la siguiente publicación especializada:

“LAGA PN 98 – *Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen*” (Guía metodológica para la investigación físico-química y biológica de residuos para su valorización o eliminación”, elaborada por el Grupo de Trabajo conjunto en materia de residuos de los *Länder* alemanes).<sup>12</sup>

Este documento, del año 2001 y por tanto anterior a la publicación de la norma EN14899 y de sus informes técnicos asociados, se proporcionan numerosas indicaciones prácticas acerca de cómo elaborar una estrategia de muestreo, como llevarlo a cabo y con qué equipamiento. En uno de sus anexos de carácter informativo (no reglamentario) se plantean disquisiciones de naturaleza estadística similares a las expresadas posteriormente en la norma EN, requiriéndose un conocimiento de aspectos tales como la desviación estándar y los valores previsibles del parámetro de estudio en el residuo a muestrear, el nivel de confianza y la incertidumbre asociada.

Sin embargo, además de criterios estadísticos de difícil aplicación, este documento guía proporciona tablas, supuestamente basadas en los mencionados criterios, en las que se recogen instrucciones de fácil comprensión y aplicación para el muestreo de residuos relativamente homogéneos y de naturaleza granular.

#### Tamaño mínimo de muestra

Como ya se ha visto anteriormente, el tamaño mínimo de muestra viene determinado por la granulometría de los residuos y en particular por su diámetro máximo. La siguiente tabla, extraída del LAGA 32 proporciona los volúmenes mínimos a tomar tanto de una muestra individual (que posteriormente puede ser integrada en otras para generar una muestra compuesta), como de cada muestra compuesta de campo para ser enviada a laboratorio (muestra de laboratorio).

Adicionalmente se indica que estos criterios son aplicables sólo para residuos constituidos por elementos de tamaño inferior a 120 mm en su mayor diámetro (percentil 95), debiéndose considerar como muestras individuales los elementos mayores o recurrir a criterios por definir a nivel Federal para residuos monolíticos. Los fragmentos grandes no deben triturarse.

Tabla 17. Tamaños mínimos de muestra en función de la granulometría. LAGA32

Tamaño máximo de partícula (mm)	Volumen mínimo de muestra individual (L)	Volumen mínimo de muestra para laboratorio (L)
≤ 2	0,5	1
> 2 y ≤ 20	1	2
> 20 y ≤ 50	2	4
> 50 ≤ 120	5	10
> 120	Cada pieza es una muestra	Cada pieza es una muestra

Para los residuos de construcción y demolición, que a menudo superan este tamaño, algunos estados como el de Sajonia han elaborado directrices específicas.

Dicho lo anterior, de acuerdo con una comunicación personal realizada por Bernd Engelmann del Departamento de residuos de la Agencia Federal de Residuos Alemana, no se emplean en la actualidad métodos específicos para residuos monolíticos, reduciéndose

estos a un tamaño no inferior a 100 mm y aplicándose los estudios de lixiviación convencionales.

### Número de muestras

Asimismo se define también el número mínimo de sub-muestras y muestras compuestas a tomar en función del volumen de la subpoblación a muestrear con el fin de asegurar la representatividad del muestreo.

Tabla 18. Números mínimos de muestras en función del volumen total de residuo. LAGA32

Volumen de la sub-población de residuo	Nº de muestras individuales a tomar	Nº de muestras compuestas resultantes	Nº de muestras compuestas adicionales	Nº de muestras para analizar en laboratorio
Hasta 30 m <sup>3</sup>	8	2	0	2
Hasta 60 m <sup>3</sup>	12	3	0	3
Hasta 100 m <sup>3</sup>	16	4	0	4
Hasta 150 m <sup>3</sup>	20	5	0	5
Hasta 200 m <sup>3</sup>	24	6	0	6
Hasta 300 m <sup>3</sup>	28	7	0	7
Hasta 400 m <sup>3</sup>	32	8	0	8
Hasta 500 m <sup>3</sup>	36	9	0	9
Hasta 600 m <sup>3</sup>	40	10	0	10
Hasta 700 m <sup>3</sup>	44	10 + (1)	1	11
Hasta 800 m <sup>3</sup>	48	10 + (2)	1	11
Hasta 900 m <sup>3</sup>	52	10 + (3)	1	11
Hasta 1000 m <sup>3</sup>	56	10 + (4)	2	12
Hasta 1100 m <sup>3</sup>	60	10 + (5)	2	12
Hasta 1200 m <sup>3</sup>	64	10 + (6)	2	12
En adelante		1 muestra compuesta por cada 100 m <sup>3</sup>	Se genera una muestra compuesta adicional por cada 300m <sup>3</sup>	Se genera una muestra para análisis adicional por cada 300m <sup>3</sup>

Como se puede observar cada incremento de volumen supone la toma de 4 muestras aleatoria individuales que son mezcladas para generar una muestra compuesta que se analiza. A partir de los 700 m<sup>3</sup> las muestras individuales se van agrupando para su análisis en escalones de un máximo de 300m<sup>3</sup>.

Los números propuestos de muestras a analizar pueden reducirse siempre que se pueda justificar la baja variabilidad del residuo y tratarse este de un residuo de comportamiento y características bien conocidas.

### Big-bag, bidones, trommel y otros contenedores

Para residuos almacenados en contenedores repetidos, y siempre que en todos los contenedores o sacos los residuos sean de la misma naturaleza (la escala de muestreo es el contenedor), se proporcionan las siguientes indicaciones para su muestreo representativo:

Tabla 19. Número mínimo de muestras a tomar de big-bag, bidones y otros contenedores.

LAGA32

Nº total de contenedores	Nº mínimo de contenedores a muestrear	Nº mínimo de muestras compuestas a generar
1 – 30	10	2
31 – 60	15	3
61 – 100	20	4
101 – 150	25	5
151 – 200	30	6
201 – 300	35	7
301 – 400	40	8
401 – 500	45	9
501 – 600	50	10
> 600	10 por cada 300 contenedores adicionales	1 por cada 300 contenedores adicionales

Obsérvese que la legislación alemana no distingue entre muestreos para residuos de producción continua y los de producción irregular, ni proporciona instrucciones de muestreo distintas para residuos con fines de caracterización básica o de cumplimiento. Los requisitos del documento LAGA 32 PN 98 son aplicables a todos los casos. Las pruebas de cumplimiento, realizadas en Alemania generalmente por los gestores de residuos se exigen cada 200 t o una vez cada 3 meses, lo que suceda antes.

#### 4.4.4. Austria

La legislación austriaca en materia de residuos, y en particular de vertederos, es notablemente extensa y detallada, tratando numerosos aspectos en un detalle considerablemente mayor a los requisitos de la directiva y de la propia decisión. La actual norma de referencia austriaca es la *Deponieverordnung* 2008, de 30 de enero de 2008,<sup>13</sup> así como la reciente guía para su interpretación publicada por el Ministerio de Vivienda y Medio Ambiente Austriaco – *Erläuterungen zur Deponieverordnung 2008*.<sup>14</sup>

La normativa austriaca prevé diversas clases y subclases de vertederos:

- 1) vertederos para tierras de excavación
- 2) vertederos para residuos inertes
- 3) diversos tipos de vertederos no peligrosos: i) residuos de incineración ii) fracción resto del tratamiento mecánico-biológico de residuos y iii) residuos de y demolición.
- 4) residuos peligrosos – no existen vertederos en superficie de residuos peligrosos en Austria (los que se generan se llevan principalmente a Alemania).

En su anexo 4, la ley de vertederos de 2008 Austriaca hace un planteamiento prolijo de estrategias para la caracterización básica y de cumplimiento de los distintos tipos de

categorías de residuos contempladas, indicando aproximaciones al nº de muestras puntuales, muestras compuestas representativas (cualificadas según el vocabulario empleado) y otras muestras compuestas en función de criterios temporales (diarias, semanales, trimestrales) en función del régimen de producción de los residuos y de si la producción es regular o irregular o si las cantidades producidas son pequeñas, medianas o grandes.

Para residuos de producción continua se indica como referencia estudios de cumplimiento basados en 12 muestras consecutivas (p.ej. 12 meses). Como referencias normativas para el diseño de planes de muestreo y para la toma de muestras se indican la norma Europea EN 14899, sus informes técnicos – serie CEN 15310 – y las normas austríacas ONORM S2121 y ONORM S2123-1 y 2123-2, estas últimas relativas al muestreo de residuos en pilas y en contenedores, respectivamente.

La cantidad mínima de muestra individual a tomar se determina de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad muestra puntual (kg)} = 0.06 \times D \text{ (p95)}$$

Siendo D el diámetro máximo en milímetros de las partículas del residuo (percentil 95).

Para residuos de producción discontinua se indica que el acúmulo de residuos se debe dividir para el muestreo en subpoblaciones de no más de 1500 t, tomándose una muestra compuesta para análisis de no menos de 2 kg, formada a partir de al menos 1º muestras individuales.

Se proporcionan también criterios específicos para el plan de muestreo de tierras de excavación no contaminadas y contaminadas, en función del tonelaje, incluyéndose un apartado específico dedicado a los trabajos de movimientos de tierras en obras ferroviarias.

En su tabla 3 del anexo IV, se proporciona la siguiente tabla-guía para la determinación del nº de muestras compuestas a tomar (cada una de 10 submuestras) para la caracterización básica de residuos de generación esporádica, en función de la cantidad generada:

Tabla 20. Nº de muestras compuestas en función de la masa de residuos a caracterizar

Masa de residuos (t)	Nº de muestras compuestas a tomar
Hasta 50 toneladas	2
> 50 t a 500 t	4
> 500 t a 1000 t	6
> 1000 t a 1500 t	8
>1500 t a 3000 t	10
> 3000 t a 5000 t	12
> 5000 t	Se divide en subpoblaciones y aplican criterios anteriores

Para **subpoblaciones de hasta 200t** las muestras compuestas se combinan a su vez para generar 2 muestras de campo, de las cuales a 1 se le realiza un análisis completo, mientras que a la segunda sólo se le analizan los parámetros críticos.

Para **subpoblaciones de entre 200 y 1000 t** se divide el residuo en dos subpoblaciones, tomándose tantas muestras compuestas como se requiera según la tabla. De cada subpoblación se generan al dos muestras de campo para analizar, si es preciso haciendo combinaciones de muestras compuestas. De cada subpoblacion se analiza completamente al menos una de las dos muestras integradas creadas, analizándose en la segunda muestra de campo sólo los parámetros críticos.

**Para subpoblaciones de tamaño medio – 1000 a 5000 t** – todas las muestras compuestas se consideran muestras de campo destinadas a análisis. De estas la mitad se destinan a análisis completo y la otra mitad solo a parámetros umbral relevantes.

Para flujos continuos o sistemáticos de residuos la legislación austriaca se embarca en una discusión prolija que permite la reducción en el número de muestras, establece criterios en función de cantidades y régimen de producción y hace referencia a los criterios estadísticos establecidos en las normas europeas. Un debate detallado escapa el alcance del presente estudio.

#### **4.5. Conclusiones relativas a la toma de muestras**

Todos los países que han implementado y desarrollado de forma pormenorizada la legislación de vertido de residuos, y en particular la Decisión 2003/33/CE se apoyan en mayor o menor medida en la aplicación de planes de muestreo y criterio estadísticos para definir parámetros tales como el tamaño mínimo de las muestras individuales y el número mínimo de muestras compuestas a tomar para la caracterización de un residuos, distinguiéndose en ocasiones entre estrategias para la caracterización básica, enfocadas a estimar valores medio y variabilidad y para la caracterización de cumplimiento en la que se realizan valoraciones frente a límites generalmente tomados como absolutos, y las que se pretende detectar el “peor de los casos”.

En términos generales todas las metodologías estudiadas se apoyan en la normativa EN europea o en criterios similares de origen nacional, requiriéndose amplia información previa acerca del residuo y la ejecución de intensos programas de caracterización básica y de vigilancia posterior, tanto por parte del productor como por el gestor.

Aunque en términos de pruebas de conformidad, los gestores en España ya realizan, con cierta frecuencia, ensayos de comprobación, la extensión de la duración y alcance a múltiples muestras y analíticas de las pruebas de caracterización básica, así como la aplicación de criterios estadísticos a los planes de muestreo según se determina en la norma EN 14899 supondrá un importante cambio para todos los implicados, un notable

esfuerzo económico para productores y gestores y una complejidad añadida para las administraciones encargadas de la vigilancia.

Las recomendaciones relacionadas con los aspectos de muestreo por tanto se centran en aclarar y hacer accesibles de la forma más práctica posible los aspectos principales de la norma europea:

- Determinación reglamentaria o en su defecto, mediante una guía de aplicación de las obligaciones precisas de productores y gestores de residuos en lo que se refiere a la caracterización básica y de cumplimiento.
- Establecimiento de criterios estándar, preferiblemente tabulados, para determinar el número mínimo de muestras individuales, muestras compuestas y muestras destinadas a análisis de laboratorio a realizar en función del volumen de residuo, partiendo de supuestos fijos. Esta recomendación de “mínimos” podría ampliarse o reducirse en función de los criterios estadísticos detallados en la norma EN 14899 y sus informes técnicos.
- Recomendar provisionalmente el seleccionar un intervalo de confianza del 90%, o lo que es lo mismo, un nivel de confianza de 0.95 para las estimaciones de los valores requeridos (confianza en la medias, contrastes de hipótesis para incumplimientos frente a valores umbral, etc). Este valor podría modificarse previa justificación y si un seguimiento posterior, o como fruto de un estudio, se demostrase un impacto injustificable sobre el esfuerzo requerido para los estudios de residuos.
- Publicación de tabla de valores para cantidades mínimas de muestras individuales y para análisis a tomar en función del tamaño de partícula. De nuevo modificables justificadamente en función de criterios más precisos.
- Determinación y divulgación de un nº de muestras mínimo a analizar y duración mínima de los procedimientos de caracterización básica (p.ej = 6 muestras).
- Determinación de número mínimo de muestras de conformidad anuales (actualmente cada 200 t o una al año) y explicación de criterios probabilísticos de cumplimiento a aplicar (o en su defecto aclaración de que son límites absolutos). En tal caso determinar potencia estadística de la estimación de cumplimiento del criterio absoluto requerido, puesto que esto, junto con la variabilidad de cada parámetro en el residuo, determinará el la probabilidad de incumplimientos no detectados asociados a programas con un número de muestras anuales determinado.
- Divulgación de guía metodológica y, si factible, de aplicaciones informáticas que simplifiquen las tareas de elaboración del plan de muestreo y de la definición de los parámetros básicos del muestreo.

## 5. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

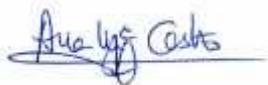
Aunque las conclusiones y recomendaciones que se proporcionan derivadas del presente estudio se relatan al final de cada uno de los apartados correspondientes, resulta conveniente resumir algunas de las principales, a modo de reflexiones que permitan orientar futuros desarrollos legales o en materia de directrices no legislativas.

El estudio realizado confirma una notable herogeneidad en la aplicación de la Decisión 2003/33/CE, pudiendo esta deberse en parte a la falta de desarrollo de alguno de sus elementos, en parte a la complejidad de alguna de las disciplinas que lo sustentan y en parte probablemente a la falta de directrices suficientemente detalladas para facilitar su aplicación, como las que existen en un buen número de países de nuestro entorno.

Resulta por tanto urgente el abordar un desarrollo legislativo que defina los puntos que se indican a continuación, complementándose estas acciones con la debida difusión de sus contenidos y con la deseable edición de guías técnicas de aplicación que permitan abordar los aspectos más complejos relacionados con la caracterización de los residuos, la toma de muestras representativas, las pruebas sobre residuos monolíticos y flujos especiales de residuos o la valoración de conformidad frente a los criterios de admisión.

- Definición y establecimiento de criterios para otras clases de vertederos de residuos no peligrosos (podrían ser necesarios criterios específicos para vertederos de residuos industriales no peligrosos, RCDs, tierras excavadas, etc.)
- Definición de excepciones o límites específicos para parámetros problemáticos todos o en determinados tipos de vertederos, Especialmente sulfatos, cloruros, sólidos totales disueltos y materia orgánica (como COD y COT). Legislaciones como la Austriaca poseen un amplio catálogo de tratamientos especiales para estos parámetros en determinados residuos.
- Definición de criterios específicos para la materia orgánica biodegradable en lugar de para la materia orgánica en general. Pueden resultar útiles los criterios alemanes y austriacos basados en métodos respirométricos y de evolución de gas.
- Definición de criterios y criterios de admisión aplicables a residuos monolíticos y clarificación de su aplicabilidad a residuos estabilizados, tanto peligrosos como no peligrosos. A considerar métodos de tanque, al menos en su forma abreviada, y muy especialmente, debido a su mayor simplicidad y menor coste, los métodos de lixiviación convencionales sobre el residuo triturado, si se demuestra su aptitud como aproximación acelerada a la lixiviabilidad a largo plazo.
- Establecimiento de un valor de referencia, al menos como grupo, para los hidrocarburos aromáticos policíclicos, que por similitud con otros países de nuestro entorno y por coherencia con los criterios de clasificación del reglamento CE 1272/2008, no deberían ser superiores a 100 mg/kg.

- Definición de ámbito preciso de aplicabilidad y criterios de valoración para la prueba de capacidad de neutralización de ácidos (o bases) exigida para residuos peligrosos y que actualmente carece de criterios legales y tiene nula aplicación en España. El ensayo es complejo y relativamente costoso y su necesidad y valoración depende mucho de las propiedades tamponadoras del residuo y del entorno receptor previsto. Requiere una investigación detallada, preferiblemente en el contexto europeo.
- Establecimiento de directrices simplificadas, apoyadas en lo posible en tablas y aplicaciones informáticas de apoyo, para la elaboración de planes de muestreo conforme a los criterios de la norma UNE-EN-14899. Cuando la aproximación probabilística no sea posible por ausencia de datos previos, se recomienda el establecimiento de requisitos mínimos en cuanto a número de muestras, periodicidad de muestreo, nivel de determinación en los contrastes de hipótesis, etc. Elaboración de una guía de apoyo a la elaboración y ejecución de planes de muestreo.



Ana Mª Castro Franco  
Responsable de Proyectos  
Dpto. Gestión de Riesgos Químicos  
GRUPO INTERLAB, S.A.



Enrique García John  
Gerente del Dpto. de Gestión de Riesgos Químicos  
GRUPO INTERLAB, S.A.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Decreto 49/2009, de 24 de febrero, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la ejecución de los rellenos. BOPV N.º 54 ZK.- miércoles 18 de marzo de 2009
- 2 Decret 69/2009, de 28 d'abril, pel qual s'estableixen els criteris i els procediments d'admissió de residus en els dipòsits controlats. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya Núm. 5370 – 30.4.2009
- 3 Orde do 20 de xullo de 2009 po la que se regula a construción e a xestión dos vertedoiros no ámbito da Comunidade Autónoma de Galicia. Diario Oficial de Galicia nº168 - 27 de agosto de 2009
- 4 Assessing legal compliance with and implementation of the waste acceptance criteria and procedures by the EU-15. Final report . Bruselas, Comisión Europea. 30 october 2009. Estudio elaborado por BIPRO.
- 5 Assessing Legal Compliance With And Implementation Of The Waste Acceptance Criteria And Procedures By The Eu-15. Annex to the Final Report. December 2009. BIPRO.
- 6 Development of criteria for acceptance of monolithic waste at landfills. Prepared by DHI in co-operation with SGI and VTT. TemaNord 2006:555
- 7 Laaksonen, R. (2004): Development of criteria for acceptance of monolithic waste at landfill. Comment to the pro-ject group. [rainer.laaksonsn@vtt.fi](mailto:rainer.laaksonsn@vtt.fi)
- 8 USEPA – Chapter 9 – Sampling Plan (1986)
- 9 RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance. USEPA 1992. EPA530-D-02-002
- 10 Guidance on sampling and testing of waste to meet landfill waste acceptance procedures” (Environment Agency, 2005)
- 11 Verordnung über Deponien und Langzeitlager. Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900)
- 12 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zu-sammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) PN 98. Dezember 2001
- 13 Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008)
- 14 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Erläuterungen zur Deponieverordnung 2008. August 2009