

Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental. Caso de España

Francisco J. Colomer Mendoza^{1,3*}, Joan Esteban Altabella¹, Ferrán García Darás¹, Lidón Herrera Prats¹, Fabián Robles Martínez^{2,3}

Fecha de recepción: 11 septiembre 2012 – Fecha de aprobación: 12 agosto 2013

RESUMEN

El depósito de residuos en rellenos sanitarios es la última opción en la jerarquía de gestión de residuos que marca la Unión Europea en sus programas de acción. Sin embargo, es el destino final de más del 50% de los residuos que se generan en España. En este trabajo se han analizado en primer lugar, 14 declaraciones de impacto ambiental de proyectos de rellenos sanitarios españoles y se han dilucidado los factores ambientales que se consideran para permitir su ejecución. Entre ellos se destaca entre otros el uso del suelo, la hidrología, las emisiones de gases y la proximidad a poblaciones. En segundo lugar, se ha realizado un inventario de los rellenos sanitarios españoles y se ha estudiado el efecto en cada uno de los citados factores ambientales. Así mismo, se han buscado correlaciones entre las emisiones de los rellenos sanitarios de cada una de las comunidades autónomas y factores como la geografía, el clima y la densidad de población. Por último, se ha contrastado esta información con las directrices sobre vertederos que marca la normativa de la Unión Europea, la española y la de la EPA (*Environmental Protection Agency*) de EE.UU. analizando el grado de cumplimiento.

Palabras claves: rellenos sanitarios, gestión de residuos, factores ambientales.

ABSTRACT

In this work, firstly, 14 Environmental Impact Statements of Spanish landfills projects have been analyzed and the environmental agents considered for executing them have been identified. The main factors to highlight are land use, hydrology, gas emissions and the proximity to populations. Secondly, an inventory of controlled Spanish dumps has been performed, and the effect of every one of the previous environmental factors and the surface occupied by them have been studied. In addition, the relations between landfill gas emissions in every region and factors like geography, weather and population density have been searched. Finally, this information has been contrasted with the European Union guidelines about dumps, regulated by the European Union, Spanish and EPA (*Environmental Protection Agency*) of USA rules, analyzing the compliance of them.

Keywords: landfills, waste management, environmental factors.

^{1*}Universidad Jaume I, Avda. Vicent Sos Baynat S/N, 12071 Castellón, España. Correo electrónico: fcolomer@uji.es.

²Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México DF, México.

³REDISA, Red Iberoamericana de Ingeniería en Saneamiento Ambiental www.redisa.uji.es

INTRODUCCIÓN

La elección del emplazamiento para una instalación de eliminación de residuos sólidos urbanos es una decisión compleja en la que entran en juego múltiples factores ambientales. De hecho, en España cualquier relleno sanitario controlado de residuos no peligrosos (RNP) que reciba más de 10 t/día de residuos o tenga una capacidad superior a 25.000 t está sometido a evaluación de impacto ambiental (EIA), según el Real Decreto Legislativo 1/2008, definiéndose la EIA como el conjunto de estudios y análisis técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto puede causar sobre el medio ambiente.

El procedimiento de la EIA finaliza con la emisión por el órgano ambiental correspondiente, de una declaración de impacto ambiental (DIA). A partir de la publicación de la DIA en el boletín oficial autonómico o estatal se puede iniciar la ejecución del proyecto. De este modo, mediante la EIA se pretende asegurar la integración de los aspectos ambientales en el proyecto, en este caso, del relleno sanitario. Por lo tanto, al publicarse la DIA se incluyen las condiciones que deben establecerse en orden a la adecuada protección del medio ambiente y los recursos naturales con respecto al proyecto.

La cercanía de masas de agua superficiales es uno de los factores ambientales considerados en la EIA, ya que si un volumen relativamente importante de lixiviados llega a un curso de agua, es muy probable que se sobrepasen los valores de sólidos en suspensión, DBO y DQO permitidos, así como las concentraciones de cloruros, nitratos y otros elementos (Robinson 2005), disminuyendo la concentración de oxígeno disponible para los organismos vivos (Chan *et al.* 1999; O'Leary y Walsh 2002). Por otra parte, los compuestos orgánicos presentes en los lixiviados contienen una importante cantidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que pueden ser liberados y provocar la eutrofización del agua (Chan *et al.* 1999; Mwiganga y Kansime 2005).

También es importante tener en cuenta las aguas subterráneas. Es recomendable, y en algunos casos obligados por normativa, elegir suelos de baja permeabilidad y evitar superficies sobre acuíferos. Sin embargo, los eficaces sistemas de impermeabilización artificial son la causa de

que no siempre se elijan zonas con la geología adecuada (Allen 2001) prevaleciendo la fisiografía sobre la geología.

Por lo que se refiere a la flora y la fauna, la presencia de lixiviados en un suelo con vegetación agrícola o forestal puede alterar el crecimiento de las especies presentes y disminuir significativamente su productividad, además de suponer un importante riesgo para la salud animal (Olaeta *et al.* 2004).

Otro impacto negativo puede ser el efecto sobre de la salud humana, ya sea por ruidos, contaminación atmosférica o por olores. La percepción del olor no es constante sino que varía de un sitio a otro, y de una persona a otra, en función de la respuesta del sentido del olfato a la mezcla de componentes (Sarkar *et al.* 2003a), de hecho, el impacto producido por los olores depende de la superficie de la fuente generadora de olor, su tiempo de exposición y la intensidad percibida (Sarkar *et al.* 2003b). Sin embargo, pese a la aparente toxicidad de estos gases (Gandola *et al.* 1998), no se encuentran estudios que asocien los olores de los rellenos sanitarios con efectos significativos sobre la salud humana o animal (O'Leary *et al.* 2002) y son generalmente percibidos más por su molestia que por su peligro directo a la salud.

Por otra parte, en la búsqueda del emplazamiento adecuado debe considerarse también la distancia a aeropuertos. En Estados Unidos de América alrededor de un 87% de las colisiones entre aves y aviación civil ocurren cerca de aeropuertos cuando el avión se encuentra a menos de 2000 pies (610 m) de altura. Las colisiones con pájaros a esas altitudes son especialmente peligrosas ya que los pilotos no tienen apenas tiempo de reaccionar. De hecho, entre 1990 y 2006, aves acuáticas, gaviotas y aves rapaces estuvieron implicadas en el 77% de los 3493 aviones dañados por golpes con pájaros, cuando el pájaro pudo ser identificado (U.S. Department of Transportation 2006).

Así pues, en el presente trabajo se analiza el grado de cumplimiento de los rellenos sanitarios españoles con respecto a los principales factores ambientales a tener en cuenta a la hora de elegir la ubicación. Para ello, en primer lugar se han analizado 14 declaraciones de impacto ambiental (DIAs) sobre rellenos sanitarios,

publicadas en los boletines oficiales autonómicos o estatales y se han seleccionado los factores ambientales y las condiciones en las que se debe ejecutar el proyecto. En segundo lugar, en 175 ss de residuos sólidos identificados dentro del territorio español se ha comprobado, mediante sistemas de información geográfica, la superficie ocupada por el relleno, la adaptación a la normativa en cuanto a su localización y en tercer lugar, se han inventariado las emisiones de biogás de todos ellos.

METODOLOGÍA

El primer paso de esta investigación fue realizar una recopilación bibliográfica de las DIA de los distintos rellenos sanitarios de España. De esta forma, se pudo llegar a conocer cuáles son los parámetros o aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar la EIA en los rellenos de residuos sólidos. Para ello, se procedió a la búsqueda de las DIA en los Boletines Oficiales de cada Comunidad Autónoma o en el Boletín Oficial del Estado (BOE). Una vez realizada la búsqueda, se obtuvo un total de 14 DIA de rellenos de residuos sólidos. En la Tabla 1 se muestran los datos más significativos.

Estas DIA se estudiaron y analizaron, extrayendo los factores ambientales que se tenían en cuenta en cada una de ellas. En la Tabla 2 se presenta un resumen de todos los factores ambientales que se tienen en cuenta en las 14 DIA analizadas.

Estudiando la frecuencia con la que cada factor aparece en las distintas DIA, se puede identificar cuáles son los aspectos más importantes que se han tenido en cuenta a la hora de emitir la DIA correspondiente.

Una vez conocidos estos factores, se pasa a la segunda fase de este trabajo basada en indagar el nivel de cumplimiento de la legislación en los rellenos sanitarios de España. Para ello se han analizado un total de 175 rellenos españoles, distribuidos en las distintas comunidades autónomas. De este modo, se han recogido datos correspondientes a la ubicación del sitio (coordenadas UTM) y a la superficie ocupada. Los recursos utilizados para recoger todos los datos necesarios han sido la herramienta Google Earth y la de los visores geográficos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).

Tabla 1: resumen de las características de los rellenos sanitarios analizados en función de su DIA correspondiente

Nº	Declaración de Impacto Ambiental	Provincia	Publicado en:	Características del relleno: Superficie ocupada Capacidad Tipo de residuo Tiempo explotación
1	Campo de Enmedio	Cantabria	BOC nº 39 (26/02/10) y nº 54 (19/03/2010)	-- -- RCDs --
2	San Bartolomé de Meruelo	Cantabria	BOC nº 128, (02/07/08) y BOC nº 201 (17/10/08)	-- 2,500,000 t RNP --
3	Toledo	Toledo – Castilla la Mancha	DOCM nº28 (10/02/2010)	-- -- RNP --
4	Castañeda	Cantabria	BOC (07/07/09)	50 ha 7,500,000 m ³ RNP 20-25 años
5	Reocín	Cantabria	BOC nº244 (22/12/2006)	-- -- RSI --
6	Cubilos del Sil y Ponferrada	León – Castilla y León	BOCYL nº114 (16/06/10)	-- 6,000,000 m ³ RNP 16 años
7	La Tahá	Granada - Andalucía	BOJA nº5 (08/01/07)	-- 51,000 m ³ RSI --
8	Mallabia	Vizcaya – País Vasco	BOPV (22/12/2006)	-- 1,318,000 m ³ RNP --
9	Zaldívar	Vizcaya – País Vasco	BOPV nº2007051 (13/03/07)	-- 418,499 m ³ RNP --
10	Guadalajara	Guadalajara – Castilla la Mancha	DOCM nº99 (24/05/11)	-- -- RSI y RNP --
11	La Robla	León – Castilla y León	BOCYL nº124 (30/06/08)	-- 2,199,800 m ³ RNP 12 años
12	Tineo	Asturias - Asturias	BOPA nº51 (03/03/09)	-- -- RNP --
13	Igorre	Vizcaya – País Vasco	BOPV nº91 (14/05/07)	-- 3,328,100 m ³ RSI y RNP 20 años
14	Zaragoza	Zaragoza - Aragón	BOA nº76 (30/06/04)	-- -- RSU --

RCD: residuos de construcción y demolición
RNP: residuos no peligrosos
RSI: residuos sólidos inertes
RSU: residuos sólidos urbanos

Se consultaron también los informes de los rellenos, que pueden encontrarse en la web del MAGRAMA, dentro del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. Una vez conocida la ubicación, la superficie ocupada y los datos principales (como por ejemplo las

emisiones), se procedió a utilizar la herramienta Google Earth para determinar la distancia exacta a los factores ambientales: masas de agua, zonas residenciales y aeropuertos más cercanos. Además se consultó el Sistema de Información de Recursos Subterráneos (SIRS) del MAGRAMA, para determinar si existen aguas subterráneas o acuíferos por debajo de los rellenos analizados.

Tabla 2: Factores ambientales que aparecen en las DIA y letra asignada

	Factor ambiental	Descripción
A	Geomorfología y suelo	Cambios en el terreno
B	Hidrología superficial	Ríos, arroyos, escorrentía
C	Calidad del aire	Polvo, gases
D	Ruidos y vibraciones	Vehículos, maquinaria
E	Flora	Organismos vegetales
F	Fauna	Animales
G	Paisaje	Impacto visual
H	Otras afecciones a la población	Economía, salud, infraestructuras
I	Patrimonio cultural	Elementos arqueológicos
J	Aguas subterráneas	Fugas y derrames
K	Gestión de residuos	Recibidos y generados
L	Salubridad	Plagas y enfermedades
M	Incendios forestales	Causados por la actividad
N	Innovación tecnológica	Mejoras tecnológicas
O	Delimitación de la actuación	Delimitación de la actuación
P	Olores	Producidos por la actividad
Q	Clima	Vientos, temperatura, humedad...
R	Usos del suelo	Utilidad que se le da al suelo

Como en materia de residuos las competencias están transferidas a las comunidades autónomas, el estudio se ha realizado considerando el territorio de cada comunidad autónoma. Así pues, sabiendo los datos de población y la superficie ocupada por rellenos sanitarios se ha planteado una correlación de ambas variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los resultados obtenidos, se realizó una tabla resumen en la que se recogían todos los factores ambientales estudiados en cada DIA. En la Tabla 3 se puede identificar cuáles son los factores ambientales más considerados por los órganos ambientales correspondientes, y por lo tanto los más importantes desde el punto de vista ambiental.

Dicha importancia se calculó en base al porcentaje con el que cada factor ambiental considerado aparecía en cada una de las 14 DIA de los rellenos sanitarios considerados. En la Figura 1 se puede observar el resultado.

De la Figura 1 se puede deducir que desde el punto de vista ambiental, los factores más importantes considerados en el 100% de los DIA consultados son: a) la geomorfología, b) la hidrología superficial, c) la calidad del aire y j) las aguas subterráneas. Posteriormente, el orden de aparición (en %) de los factores ambientales es: d) los ruidos y vibraciones (92.86%), e) la flora (85.71%), g) el paisaje (85.71%), i) el patrimonio cultural (78.57%), f) la fauna (71.43%) y k) la gestión de residuos (71.43%).

El resto de factores han aparecido en menor medida, lo cual se debe fundamentalmente, no a una menor importancia del factor ambiental, sino a determinadas características del emplazamiento y entorno circundante. Un ejemplo podría encontrarse en rellenos situados sobre terrenos yermos e improductivos, alejados de poblaciones y de infraestructuras, evidentemente estos no serán factores ambientales afectados por la instalación.

A la vista de estos resultados, se decidió extrapolar el resultado de este estudio sobre las 14 DIA consideradas para comprobar el grado de cumplimiento de los rellenos sanitarios españoles.

Para ello se analizaron 5 de estos factores en 175 rellenos españoles: hidrología superficial, hidrología subterránea, ruidos y vibraciones, calidad del aire y flora. Además, también se analizó el grado de cumplimiento de otro factor que aunque no aparecía en las DIA estudiadas, también es de vital importancia a la hora de elegir la ubicación por los riesgos que entraña: la distancia a aeropuertos.

Tabla 3: Factores ambientales estudiados en cada DIA.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A														
B														
C														
D														
E														
F														
G														
H														
I														
J														
K														
L														
M														
N														
O														
P														
Q														
R														

A partir de la correlación entre la población de cada comunidad autónoma (habitantes) y la superficie ocupada por el relleno, se han obtenido los resultados de la Tabla 4, de la que se obtiene una línea de tendencia polinómica que presenta un índice de correlación entre las variables de $R^2=0.73$ (Figura 2).

$HM2=0.361 \text{ hab/m}^2$ de la Comunidad de La Rioja (Tabla 4). De este modo, ordenando HM2 para todas las comunidades autónomas se han dividido las comunidades autónomas en dos bloques. El primero engloba las comunidades autónomas cuyo $HM2 > 1 \text{ hab/m}^2$ y el segundo a las que $HM2 < 1 \text{ hab/m}^2$ (Figura 3).

A continuación se estableció un ratio basado en los habitantes que depositan sus residuos en cada metro cuadrado de relleno, a este ratio se le ha llamado HM2. Este ratio ha resultado ser de $1.075 \text{ habitantes/m}^2$, variando entre $HM2 = 2.323 \text{ hab/m}^2$ de la Comunidad de Madrid y

Mediante esta diferenciación de las comunidades autónomas según su ratio HM2 se han obtenido índices de correlación polinomial R^2 mayores, siendo de $R^2 = 0.918$ en el primer bloque (Figura 3a) y $R^2 = 0.969$ en el segundo bloque (Figura 3b).

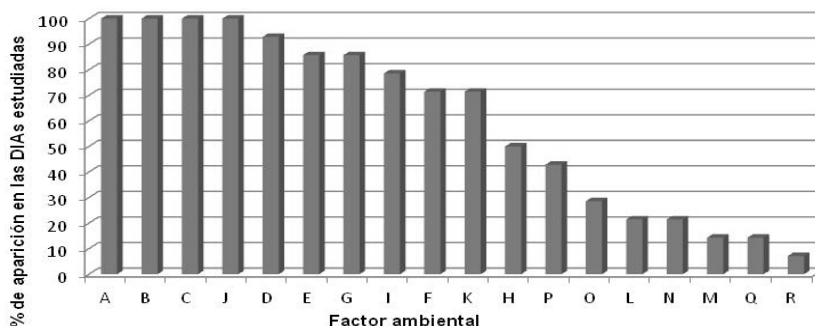


Figura 1: Importancia de los factores ambientales estudiados en función de su presencia en las DIA publicadas.

Tabla 4: datos de las comunidades autónomas españolas y superficie ocupada por los rellenos sanitarios.

Comunidad autónoma	Población Censo 2010	Superficie rellenos (ha)	hab/m ² de relleno
Madrid	6,458,684	278	2.323
Comunidad Valenciana	5,111,706	283	1.808
Galicia	1,146,458	69	1.653
Cataluña	7,512,381	468	1.606
Canarias	2,118,519	141	1.499
Aragón	1,347,095	118	1.137
Murcia	1,461,979	143	1.022
Andalucía	8,370,975	884	0.947
Castilla la Mancha	2,098,373	242	0.866
Asturias	1,084,341	127	0.851
Castilla y León	2,559,515	309	0.828
Cantabria	592,250	72	0.828
Navarra	636,924	84	0.758
Baleares	1,106,049	157	0.704
País Vasco	2,178,339	383	0.569
Extremadura	1,107,220	217	0.510
La Rioja	322,415	89	0.361

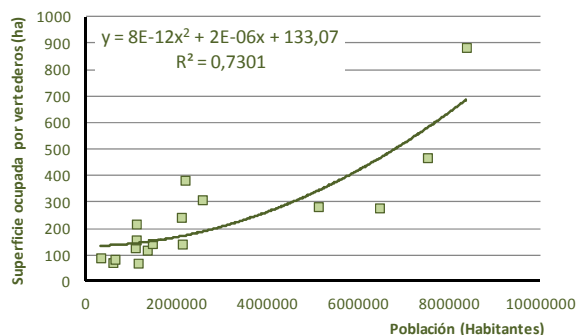


Figura 2: correlación entre la población censada (datos 2010) y la superficie ocupada por rellenos sanitarios en cada comunidad autónoma española

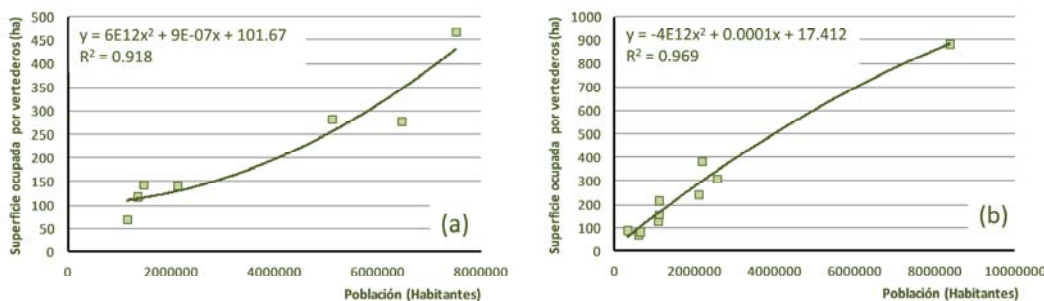


Figura 3: correlación entre la población censada (datos 2010) y la superficie ocupada por rellenos sanitarios diferenciándose las comunidades autónomas en dos bloques.

La elevada correlación existente permite predecir la superficie que podría ocupar un relleno conociendo los habitantes a los que se les proporciona servicio, con lo que las

administraciones públicas podrían hacer una previsión del espacio necesario para eliminar residuos mediante su depósito en un relleno sanitario.

Por otro lado, el Real Decreto 1481/2001 sobre vertederos establece que en la ubicación de un relleno sanitario deberán tomarse en consideración “Las distancias entre el límite del relleno y las zonas residenciales y recreativas, vías fluviales, masas de agua y otras zonas agrícolas o urbanas”, así como “La existencia de aguas subterráneas, aguas costeras o reservas naturales en la zona”. Pero en ningún caso se establecen distancias mínimas a respetar, por lo que en cierto modo dichas consideraciones debe decidirlas el facultativo correspondiente. A continuación se presentan los resultados del estudio del grado de cumplimiento de los factores ambientales más importantes.

Hidrología superficial. Como se observa en la Figura 4, un 94% de los 175 rellenos considerados en el estudio se encuentran a una distancia superior a 300 metros respecto a cualquier masa de agua superficial y tan sólo un 3% de los se encuentran a menos de 150 metros. Por lo tanto, se puede considerar que realmente sí que se tiene en cuenta este criterio a la hora de elegir la ubicación.

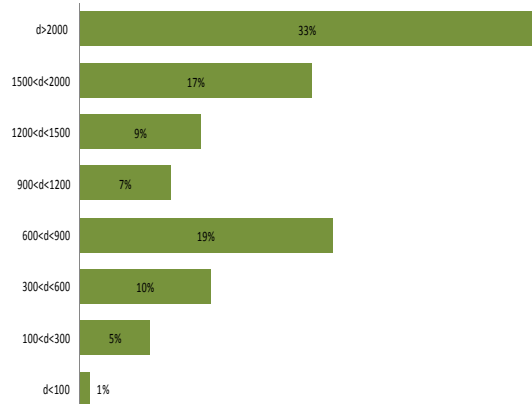


Figura 4: Distancia entre los rellenos de residuos sólidos estudiados y las masas de agua superficiales más cercanas (distancia [d] en metros).

Aunque la normativa española (Real Decreto 1481/2001) no recoge ninguna distancia mínima, simplemente sugiere que se tenga en consideración, la normativa americana de la EPA (Environmental Protection Agency), la cual especifica que la ubicación del relleno no puede realizarse sobre zonas húmedas (EPA 1993). En México la legislación (NOM-083-SEMARNAT-2003) exige que haya una distancia mínima entre el relleno y la masa de agua superficial, y esta debe ser al menos de 500 metros. En este caso, también cumpliría un

elevado porcentaje de rellenos españoles (> 84%). Incluso tomando como referencia la normativa mexicana, se observa que el grado de cumplimiento de este factor ambiental es muy alto. Sólo un máximo de 16% de los 175 rellenos analizados no cumplirían con la normativa.

Aguas subterráneas. En cuanto a la situación de los rellenos sobre napas de agua subterránea, los resultados obtenidos en el estudio se muestran en la Figura 5.

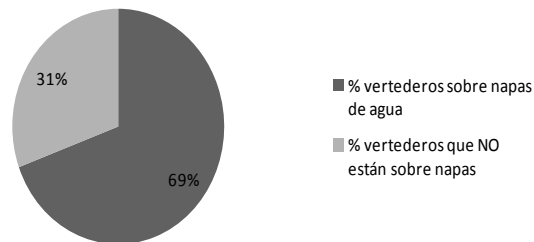


Figura 5: Ubicación de los rellenos de residuos sólidos estudiados sobre napas de agua o acuíferos

La mayor parte de la superficie de la Península Ibérica se encuentra sobre masas de agua subterráneas o acuíferos, por lo que en muchos casos no es posible situar el relleno en una zona donde no existan acuíferos, como se observa en la Figura 6, donde el área coloreada, representa las masas de agua subterráneas.

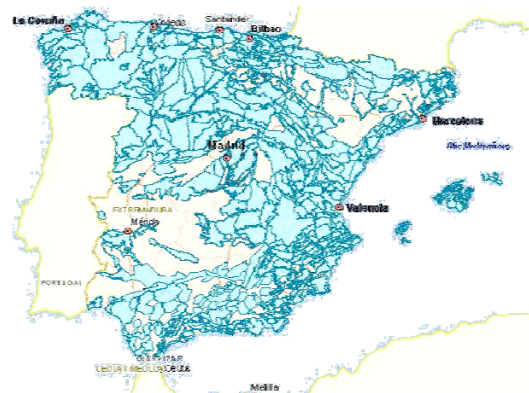


Figura 6: Aguas subterráneas en España (fuente: MAGRAMA)

Es por esto que, aunque el 69% de los rellenos españoles se encuentran sobre masas de agua subterráneas, se ha comprobado que en los casos en los que existía posibilidad de ubicar el relleno en una zona sin acuíferos siempre se ha hecho, como por ejemplo, en algunos rellenos sanitarios de Extremadura, Castilla la Mancha, Aragón y Cataluña.

Ruidos y vibraciones. En general, es un factor ambiental que sí que se tiene en cuenta, ya que la mayor parte de los rellenos estudiados se encuentran a varios kilómetros de los principales núcleos de población, como se puede observar en la Figura 7. Además, ubicar los rellenos a una distancia considerable de los núcleos urbanos mitiga el impacto social generado por los olores.

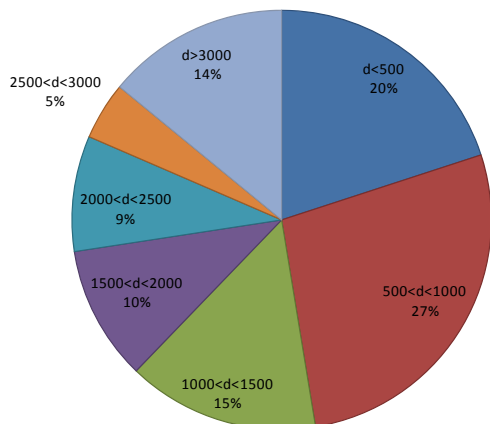


Figura 7: Distancia entre los rellenos de residuos sólidos estudiados y las zonas residenciales más cercanas (distancia [d] en metros).

A pesar de que un 20% de los rellenos se encuentren a menos de 500 m de una zona residencial, en la mayor parte de los casos se trata de pequeñas urbanizaciones o grupos de casas, por lo que la población afectada es poca.

Flora. Como se observa en la Figura 8, un 19% de los rellenos estudiados (34 en todo el territorio español) se encuentran dentro de lugares de interés comunitario (LIC) o de zonas de especial protección para las aves (ZEPA). Esto no está prohibido por la normativa vigente, sin embargo, la elección de estos emplazamientos deberá intensificar las medidas correctoras y protectoras de la instalación.

Distancia a aeropuertos. A pesar de que en las DIA estudiadas no aparecía ninguna mención a la distancia a aeropuertos, también es otro factor a tener en cuenta a la hora de elegir la ubicación, ya que las aves presentes en todo relleno sanitario suponen un problema de seguridad para el tráfico aéreo. En la Figura 9 se muestra la distancia a la que se encuentran los 175 rellenos analizados respecto a los aeropuertos más cercanos.

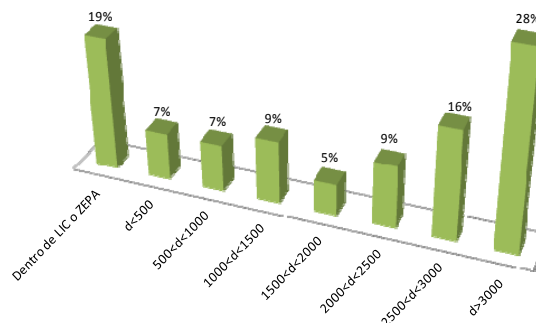


Figura 8: Distancia entre los rellenos de residuos sólidos estudiados y los LIC o ZEPA más cercanos (distancia [d] en metros).

En la legislación española no se establecen distancias mínimas, pero según el Departamento Estadounidense de Transportes, la distancia de rellenos sanitarios de nueva construcción a aeropuertos será como mínimo de 6 millas (9.66 km) del final de la pista de aterrizaje (U.S. Department of Transportation 2006). Sin embargo, según la U.S. Environmental Protection Agency (EPA 1993) esta distancia sólo debe superar los 3000 m. En México, si la distancia entre un relleno sanitario y un aeropuerto va a ser menor a 13 km, se solicita (NOM-083-SEMARNAT-2003) señalar la distancia elegida apoyada de un estudio de riesgo aviario.

Por lo tanto, también se puede decir que el grado de cumplimiento de este factor es alto, ya que sólo un 6.9% de los rellenos se encuentran a menos de 10,000 metros de un aeropuerto nacional o internacional. Las instalaciones situadas a menos de 3000 m son aeródromos o pequeños aeroclubs para vuelo sin motor o de recreo.

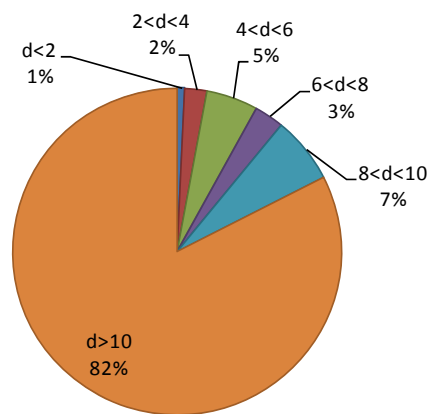


Figura 9: Distancia entre los rellenos de residuos sólidos estudiados y los aeropuertos más cercanos (distancia [d] en kilómetros).

Calidad del aire. Para evaluar la calidad del aire se decidió evaluar las emisiones de metano en los rellenos españoles. Utilizando los datos de emisiones facilitados por la web del MAGRAMA se hizo un inventario de las emisiones de metano por comunidad autónoma durante los años 2009 y 2010 (Figura 10).

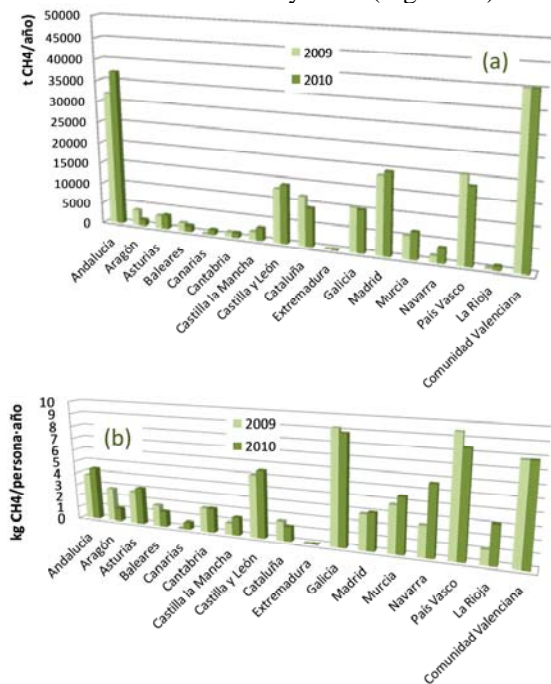


Figura 10: (a) Emisiones de metano (t CH₄/año); (b) tasa de generación de metano (kg CH₄/persona·año) en rellenos sanitarios por Comunidad Autónoma.

Para minimizar el efecto invernadero provocado por el biogás (sobre todo por el metano), la legislación española obliga a producir energía a partir del mismo o, en su defecto, a quemarlo (Real Decreto 1481/2001).

Para tener una idea más clara del beneficio medioambiental conseguido mediante la implantación de chimeneas para quemar el biogás o de los sistemas de generación de electricidad a partir del biogás, se han calculado las equivalencias de emisiones de CO₂, estudiándose un caso ideal basado en que todo el biogás generado en los rellenos sanitarios de España se quemara (Tabla 4). Los factores de conversión y los resultados se han obtenido a partir del “Greenhouse Gas Equivalences Calculator”, elaborado por la EPA (2011). Debido a que el metano provoca 21-23 veces más efecto invernadero que el CO₂, al quemarlo se obtiene un beneficio medioambiental, que se cuantifica en la Tabla 5.

Si el biogás se pudiera aprovechar en su totalidad para generar energía eléctrica, además de las emisiones directas evitadas se anularían también las emisiones indirectas, es decir, las derivadas de conseguir la electricidad que se genera de forma limpia gracias al aprovechamiento del biogás. Sin embargo, la valorización de todo el biogás no es viable debido al poco rendimiento que se obtendría en algunos rellenos.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado permite detectar bastante homogeneidad en las DIA publicadas relativas a rellenos sanitarios con respecto a los aspectos ambientales a considerar. Los factores ambientales que más se repiten en las 14 DIA estudiadas son la geomorfología y suelo, la hidrología superficial y la calidad del aire.

Tabla 5: Resultados de un caso ideal basado en que todo el biogás generado en los rellenos sanitarios de España se quemara.

Promedio anual de emisiones de CO ₂ eq evitadas (t) equivale a...	Emisiones anuales de efecto invernadero producidas por...	Emisiones de CO ₂ producidas en el consumo de...	Emisiones de CO ₂ producidas por el uso anual de electricidad de...	Carbono secuestrado anualmente por...	
2009	3.317.000	634.226	7.713.953	402.549	2.859,5
2010	3.426.420	655.147	7.968.419	415.828	2.953,8
	...vehículos de pasajeros	...barriles de petróleo	...hogares	...millones de m ² de bosque de pinos o abetos	

Así pues, después de analizar 175 rellenos españoles se deduce que hay un cumplimiento generalizado en cuanto a la localización de los mismos, con respecto a la consideración de distancia a LIC y ZEPA y en zonas sobre acuíferos. También se cumplen los requisitos de distancia a masas de agua superficiales en donde sólo un 3% no cumpliría la normativa de distancia mínima, asemejando la normativa a la de Estados Unidos. En la legislación española no se establecen distancias mínimas a respetar, por lo que tienen un carácter subjetivo y debe decidirlas el facultativo correspondiente. La legislación norteamericana y mexicana es mucho más concreta que la española.

En cuanto al impacto a la atmósfera por las emisiones de biogás, la normativa de rellenos obliga a instalar antorchas para su quema. Esto permite disminuir considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero. El resto de los factores ambientales sólo se tienen en cuenta en alguna o algunas de las DIA consultadas, lo cual no quita importancia al

factor ambiental, sino que según la observación geográfica realizada, deja constancia de que dicho factor no está presente en el entorno circundante ni en su zona de afección.

Por otro lado se ha encontrado una elevada correlación entre las variables “superficie ocupada por rellenos sanitarios” y “población” de la comunidad autónoma. Esta correlación se hace mayor si las comunidades autónomas se dividen en dos bloques en función del ratio “habitantes/m² de relleno”, lo cual permitiría establecer una superficie aproximada de relleno en función de los habitantes a los que diera servicio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Hacienda y Competitividad por la financiación concedida mediante el proyecto ACI2009-0993 en la modalidad Convocatoria de Ayudas del Programa Nacional de Internacionalización de la I+D. Subprograma de Fomento de la Cooperación Científica Internacional (ACI-PROMOCIONA).

REFERENCIAS

- Allen, A. (2001). Containment landfills: the myth of sustainability. “Engineering Geology”, 60, 3-19.
- Chan, Y.S.G., Wong, M.H., Whitton, B.A. (1999). Effects of landfill leachate on growth and nitrogen fixation of two leguminous trees (*Acacia confusa*, *Leucaena leucocephala*). “Water, Air and Soil Pollution”, 111, 29-40.
- EPA, Environmental Protection Agency. (1993). Solid waste disposal facility criteria. Technical Manual. Basado en MSWLF Criteria 40 CFR Part 258, actualizado en 1997.
- EPA, Environmental Protection Agency. 2011. Greenhouse Gas Equivalencies Calculator. <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html> consultado en febrero de 2012.
- Gandolla, M., Acaia, C., Fisher, C. (1998). Landfill gas migration in the subsoil. Experiences of control and remediation. “International Directory of Solid Waste Management”. The ISWA yearbook. James&James Science Publishers, Ltd. London, UK. pp. 237-245.
- Mwiganga, M., Kansime, F. (2005). The impact of Mpererwe landfill in Kampala-Uganda, on the surrounding environment. “Physics and Chemistry of the Earth”, 30, 744-750.
- Olaeta, J.A., Espinace, R., Szanto, M., Palma, J. (2004). Experiencias de reinserción de vertederos mediante la implantación de una cubierta vegetal. Grupo de Geotecnia. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile). Escuela de Ingeniería en Construcción.
- O’Leary, P., Walsh, P. (2002). Land disposal of MSW: Protecting health & environment. “Landfill Continuing Education Course”. Waste Age, 2, 38-43.
- NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Real Decreto 1481/2001 de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

Robinson, H.D., Gronow, J. (1992). Composition of Hong Kong landfill leachate. "Journal of the Institution of Water and Environmental Management", 6, 229-

Sarkar, U., Hobbs, S.E., Philip, J.L. (2003a). Dispersion of odour: a case study with a municipal solid waste landfill site in North London, United Kingdom. "Journal of Environmental Management", 68, 153-160.

Sarkar, U., Philip, J.L., Hobbs, S.E. (2003b). Community modelling: a tool for correlating estimates of exposure with perception of odour from municipal solid waste (MSW) landfills. "Journal of Environmental Management", 68, 133-140.

U.S. Department of Transportation. (2006). Construction of New Landfills Near Airports. RFAA Advisory Circular No. AC 150-5200-34. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration.

Este documento debe citarse como: Colomer Mendoza F.J., Altabella J.E., García Darás F., Herrera Prats L., Robles Martínez F. (2013). ***Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental. Caso de España.*** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 17-2, pp 141-151, ISSN 1665-529-X.