

VIABILIDAD DE LA RECOGIDA Y EL TRATAMIENTO DE PAÑALES DE UN SOLO USO EN CATALUÑA

Febrero de 2009



environment and management

Servicios de Suport a la Gestió, S.L. - C/Pàdua 31, bxos. dreta. 08800 Vilanova y la Geltrú

Este estudio es un encargo efectuado por la **Mancomunitat La Plana** a:



coordinacio@ent.cat

www.ent.cat

Autores:

Ignasi Puig Ventosa (coord.)

Aina González Puig

El Grupo de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos de la Universidad Autónoma de Barcelona ha elaborado el capítulo 5 y los anejos 1, 2 y 3 de este documento

El proyecto ha contado con la financiación de la Agencia de Residuos de Cataluña

Ent, environment and Management

Es una marca registrada de:

Servicios de Suport a la Gestió, S.L.

CIF: B62795372 C/Pàdua 31, bajos, derecha

08800 Vilanova i la Geltrú

VIABILIDAD DE LA RECOGIDA Y EL TRATAMIENTO DE PAÑALES DE UN SOLO USO EN CATALUÑA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL RELACIONADA CON LOS PAÑALES DE UN SOLO USO.....	7
3. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PAÑALES EN CATALUÑA	10
3.1. Estimación de la generación actual de pañales en Cataluña y de su componente orgánica	10
4. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE TRATAMIENTOS NO FINALISTAS DE PAÑALES DE UN SOLO USO	21
4.1. Tratamientos mecánico-biológicos (MBT).....	21
4.2. Tratamiento mecánico y reciclaje de las diferentes fracciones	22
4.3. Metanización.....	24
4.4. Compostaje.....	27
4.4.1. Estudios científicos y pruebas piloto sobre el compostaje de pañales .	27
4.4.2. Experiencias de compostaje de pañales a escala regional	29
4.5. Otras experiencias no finalistas de tratamientos de pañales	30
5. ESTUDIO TÉCNICO SOBRE EL COMPOSTAJE DE PAÑALES DE UN SOLO USO	31
5.1. Objetivo del estudio	31
5.2. Metodología experimental.....	31
5.3. Resultados y conclusiones más significativas	35

5.3.1. Escala laboratorio.....	35
5.3.2. Escala piloto	35
5.3.3. Escala real	38
6. PROPUESTA DE GESTIÓN DE LOS PAÑALES DE UN SOLO USO	47
6.1. Propuestas para la gestión de los pañales en los municipios con recogida selectiva puerta a puerta.....	48
6.2. Propuestas para la gestión de los pañales en el resto de municipios.....	50
6.3. Resumen de las propuestas de recogida y tratamiento de los pañales de un solo uso	50
6.4. Estimación de costes	52
6.4.2. En el marco del desarrollo del PROGEMIC 2007-2012.....	54
6.5. Introducción de un sistema integrado de gestión para los pañales de un solo uso	56
7. EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL MODELO DE GESTIÓN PROPUESTO	58
7.1. Estimación del potencial de estabilización y de la incidencia en las plantas de tratamiento.....	58
7.2. Estimación de las mejoras ambientales alcanzables	60
8. CONCLUSIONES.....	62
REFERENCIAS.....	64
Anejo 1. Informe técnico sobre el compostaje de pañales procedentes de recogida puerta a puerta a la Mancomunitat la Plana (Parte 1: escala laboratorio).....	66

Anejo 2. Informe técnico sobre el compostaje de pañales procedentes de recogida puerta a puerta a la Mancomunitat la Plana (Parte 2: escala piloto)	77
Anejo 3. Informe técnico sobre el compostaje de pañales procedentes de recogida puerta a puerta a la Mancomunitat La Plana (Parte 3: escala real).....	92
Conclusiones finales	102
Anejo 4. IMÁGENES DE LA PRUEBA REALIZADA	104

VIABILIDAD DE LA RECOGIDA Y EL TRATAMIENTO DE PAÑALES DE UN SOLO USO EN CATALUÑA

1. INTRODUCCIÓN

El aumento continuado de la generación de residuos en España, como en el resto de Europa, se ha convertido en los últimos años en uno de los principales problemas ambientales que ha de afrontar la sociedad. La creciente conciencia ambiental de la población, junto a la cada vez mayor dificultad de localizar en el territorio nuevas plantas de incineración o vertederos, ha llevado a las diferentes administraciones a buscar vías alternativas para el tratamiento de residuos como el compostaje o reciclaje.

La Unión Europea aprobó el 26 de abril de 1999 la Directiva 1999/31/CE, relativa al vertido de residuos en la que se fijan importantes restricciones para las aportaciones de materiales biodegradables a los vertederos. Según la Directiva, estas aportaciones se tendrían que reducir progresivamente hasta el 35% en peso respecto a las realizadas en 1999. Los materiales biodegradables o materia orgánica son la fracción más abundante entre los residuos urbanos generados en Cataluña y España, suponiendo un 78% en peso del total del año 1995.

Frente a esta situación, algunos municipios y organismos locales han implementado sistemas para la recogida selectiva de la materia orgánica y posterior compostaje. La Mancomunitat La Plana realiza, además, la recogida de residuos puerta a puerta, lo que posibilita la obtención de un compost de calidad elevada a causa de la baja presencia de impropios. La recogida puerta a puerta comporta también una alta participación en el reciclaje del resto de fracciones, consiguiendo minimizar la fracción destinada a tratamientos finalistas (vertedero o incineración). No obstante, los pañales de un solo uso con un elevado contenido en materia orgánica se destinan a esta última fracción, siendo uno de sus elementos mayoritarios y uno de los principales frenos al aumento de los niveles de reciclaje.

La Mancomunitat La Plana ha impulsado el presente proyecto con el objetivo de estudiar vías alternativas para el tratamiento de los pañales de un solo uso. Como se verá en los apartados siguientes, en el presente proyecto se ensaya la compostabilidad de estos residuos en diferentes concentraciones y con diferentes cosustratos (fracción orgánica de los residuos municipales o FORM y lodos de depuradora). Una posibilidad sería recoger estos residuos por separado o junto con la materia orgánica recogida selectivamente para seguir a posteriori un

tratamiento de compostaje, eliminándolos por tanto de la fracción resto. Otra posibilidad sería garantizar su estabilización antes de su disposición final.

2. PROBLEMÀTICA AMBIENTAL RELACIONADA CON LOS PAÑALES DE UN SOLO USO

La utilización de pañales de un solo uso se generalizó en Europa, Estados Unidos y Japón en los años 70, consiguiendo una rápida expansión hasta llegar al 95% de la población en estos países en los años 90. En otros países de America Latina y Asia (especialmente en China) las ventas de pañales de un solo uso están experimentando un espectacular crecimiento en los últimos años¹. El desplazamiento de los pañales de tela tradicionales ha sido motivado sobretodo por la mayor comodidad que representa no tener que lavarlos, por las mejoras en cuanto a la absorbencia y la comodidad conseguidas por los fabricantes de pañales de un solo uso y por las efectivas campañas de publicidad que han promovido.

Sin embargo, desde los años 80, se evidenciaron las problemáticas ambientales relacionadas con los pañales de un solo uso, principalmente en relación a la generación de residuos. A partir de los años 90 aparecieron en algunos países del centro y norte de Europa movimientos sociales que promovían, mediante el análisis del ciclo de vida y otros estudios relacionados con los beneficios ambientales y para la salud, el retorno a los pañales de tela. El estudio más completo actualmente es el encargado en el año 2005 por Environment Agency del Reino Unido, que compara el análisis del ciclo de vida de los pañales de un solo uso con los pañales reutilizables².

Según los estudios mencionados, los impactos ambientales más importantes generados por los pañales de un solo uso serían principalmente los derivados de su proceso de fabricación y los causados por su deposición, ya sea en vertedero o por incineración. Los impactos causados por su comercialización, transporte y uso, se consideran poco importantes. A continuación se describen brevemente estos impactos.

A) En el proceso de fabricación:

- El componente mayoritario de los pañales es la celulosa en copos *fluff* (35%

¹ The Diaper Industry Source. <http://disposablediaper.net/content.asp?2> [6 de febrero de 2009].

² Aumônier, Collins, 2005.

en pañales para niños y 62% en pañales para incontinencia)³, que proviene de la pulpa de coníferas. Los impactos ambientales asociados son la deforestación (si la celulosa proviene de bosques naturales) y el empobrecimiento del suelo (si proviene de plantaciones, debido a las especies de crecimiento rápido que se utilizan). Las plantas de obtención de celulosa son también muy contaminantes y consumen grandes cantidades de agua.

- El SAP (Super Absorbent Polymer) supone el 12% de los pañales para incontinencia y el 33% de los pañales para niños⁴. Este componente está formado por cristales de poliacrilato sódico, cuyo proceso de fabricación es el más contaminante de todos los procesos de fabricación de los materiales que componen los pañales. Su producción requiere grandes cantidades de agua, petróleo y gas natural; por otro lado, es la principal responsable de las emisiones de CO₂, CH₄, SO₂ y NO₂ en la producción de pañales de un solo uso.
- Los otros componentes de los pañales de un solo uso (polipropileno, poliestireno, gomas, adhesivos, plástico del empaquetado) son derivados del petróleo. Los principales impactos asociados son las emisiones de CO₂, CH₄, SO₂ y NO₂, y también el consumo de un recurso no renovable como el petróleo.
- Globalmente, en la fabricación de pañales de un solo uso para niños se consumen 1.167,82 kg de materiales manufacturados, 440 litros de agua y 723,9 kWh por cada tonelada de pañales, generando también unos 100 kg de residuos⁵.

B) Durante el período de comercialización y de uso:

- Los impactos sobre el medio debido al transporte, comercialización y uso de los pañales se reducen a los gastos energéticos y a las emisiones de gases causadas por los desplazamientos y al mantenimiento de las infraestructuras.

C) En su disposición y tratamiento:

- Se calcula que cada niño genera unos 1.129 kg de residuos de pañales durante sus 2,5 primeros años de vida. Las personas con incontinencia pueden generar entre 550 y 1.207 kg de residuos de pañales al año, según

³ EDANA, 2008.

⁴ EDANA, 2008.

⁵ Aumônier, Collins, 2005.

el tipo y grado de incontinencia⁶.

- En Cataluña, el 72,8% de los residuos municipales tuvieron como destino final el vertedero en el año 2006. Los principales impactos asociados son en este caso la ocupación de suelo⁷, la emisión de metano y la posible lixiviación de los componentes orgánicos a las aguas subterráneas. La disposición de los restos orgánicos sin tratamiento previo también puede comportar un riesgo para la salud humana.
- Los residuos incinerados, que en el año 2006 supusieron en Cataluña un 22,4%, tienen como impacto más importante sobre el medio la emisión de gases y partículas a la atmósfera. Los principales gases emitidos por la incineración de los pañales serían los de efecto invernadero, pero teniendo en cuenta que se trata de productos mixtos formados por diversos polímeros y que contienen diferentes componentes orgánicos, su incineración también es susceptible de ocasionar otro tipo de sustancias más problemáticas.

Según el análisis de ciclo de vida encargado por la Environment Agency (Aumônier, Collins, 2005), los impactos causados por los pañales de un solo uso para niños se pueden esquematizar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Impacto ambiental de los pañales de un solo uso

Categoría	Unidades	Escenario mixto *	Escenario Geigy *
Agotamiento de recursos naturales	kg Sb eq	4,82	4,85
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	626,0	602,0
Impacto sobre la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0,000261	0,000202
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₂ eq	0,174	0,163
Acidificación	kg SO ₂ eq	3,78	3,79
Eutrofización	kg PO ₄ eq	0,338	0,337
<i>Toxicidad humana</i>	<i>kg 1,4-DB eq</i>	<i>49,4</i>	<i>48,9</i>
<i>Ecotoxicidad de las aguas naturales</i>	<i>kg 1,4-DB eq</i>	<i>7,01</i>	<i>5,98</i>
<i>Ecotoxicidad terrestre</i>	<i>kg 1,4-DB eq</i>	<i>1,92</i>	<i>1,9</i>

* El estudio analiza dos escenarios por lo que respecta a los excrementos de los niños 0 a 24

⁶ Suponiendo que las personas con incontinencia leve utilicen tres compresas, un pañal y un refuerzo al día y que las personas con incontinencia severa/doble utilicen cuatro pañales y un refuerzo al día.

⁷ Aunque se ha de tener en cuenta que Light *et al.*, 1995, sugieren que la presencia de pañales en los vertederos es menor al 10% en peso no añaden un volumen «real», sino que llenan espacios que de otra forma permanecerían vacíos. El estudio fue financiado en parte por *Procter and Gamble Company*, multinacional del sector de los pañales y otros productos de higiene personal.

mesas según diferentes autores.

Nota 1: Impacto causado por los pañales que lleva un niño durante 2,5 años, con una media de 4,16 cambios diarios.

Nota 2: Las letras en cursiva indican metodologías de estudio de impacto ambiental menos desarrolladas.

Fuente: Aumônier, Collins, 2005.

3. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PAÑALES EN CATALUÑA

3.1. Estimación de la generación actual de pañales en Cataluña y de su componente orgánica

La generación de pañales en Cataluña se ha estimado mediante datos bibliográficos, de población y datos empíricos proporcionados por el servicio de la Mancomunitat La Plana. Los parámetros utilizados han sido los siguientes:

- Población de entre 0 y 3 años en Cataluña: según datos del INE, en el año 2004 existía la siguiente estructura de población infantil:

Tabla 2. Población de entre 0 y 3 años en Cataluña (2004)

Meses	Población
De 0 a 12	69.080
De 12 a 24	68.826
De 24 a 36	67.997

Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

- Porcentaje de la población infantil con pañales: la edad a la que los niños dejan de llevar pañales puede variar mucho de un niño a otro, pero según los datos de la **Environment Agency del Reino Unido** a los 3 años menos de un 5% de los niños lleva pañales:

Tabla 3. Población infantil con pañales por edad en Cataluña (2004)

Edad	Porcentaje con pañales	Niños con pañales en Cataluña
Menos de 6 meses	100,0%	69.080
De 6 a 12 meses	95,7%	
De 12 a 18 meses	82,8%	44.186
De 18 a 24 meses	45,6%	
De 24 a 30 meses	17,6%	
De 30 a 36 meses	4,8%	2.770
De 36 a 42 meses	1,8%	
De 42 a 48 meses	0,1%	
De 48 a 54 meses	0,1%	
De 54 a 60 meses	0,1%	
De 60 a 66 meses	0,1%	
TOTAL		120.535

Fuente: elaboración propia a partir de *Environment Agency*, 2004.

- Se ha considerado que entre los niños usuarios, de los 0 a los 12 meses se realizan 7 cambios diarios de pañales de media, y de los 12 a los 36 meses se hacen 5.
- Un pañal de un solo uso para niño pesa de media 0,041 kg sin usar⁸ y 0,21 kg, una vez usado⁹.

Según estos datos, en Cataluña se usan cada año unos 271 millones de pañales, y por tanto se generan unos 57.400 toneladas de este residuo. Esto supone el 1,5% en peso de los residuos municipales generados en Cataluña.

Esta estimación, realizada en base a los datos de población infantil de Cataluña y a la densidad de los pañales, concuerda con los datos de caracterizaciones de residuos incluidos en el Anejo 4 del PROGEMIC 2007-2012, en donde los residuos textiles sanitarios representaban un 3,20% en 2004 y un 3,17% en 2005. Dentro de esta categoría se incluyen tanto los pañales para niños como los de incontinencia y también los productos de higiene femenina.

A efectos de su tratamiento como residuo es importante considerar la composición de los pañales y, en especial, la presencia de materia orgánica. Según cálculos realizados en base a datos de composición de los pañales el componente orgánico (celulosa y excrementos) supondría el 87,4% del peso del pañal:

⁸ EDANA, 2008.

⁹ Datos recogidos por el servicio de recogida de residuos de la *Mancomunitat la Plana* en el marco de este proyecto.

Tabla 4. Composición de un pañal infantil de un solo uso sin usar (2006)

Material	% en peso
Celulosa	35%
Polímeros superabsorbentes (SAP)	33%
Polipropileno	17%
Polietileno	6%
Adhesivos	4%
Otros	4%
Elásticos	1%

Fuente: EDANA, 2008.

Sin embargo, se ha de tener en cuenta que una parte muy importante de la materia orgánica del pañal es líquida (orina) y queda retenida temporalmente por los SAP, formando una masa gelatinosa. A efectos de su tratamiento como residuo, este líquido podría contabilizarse como impropio en vez de cómo materia orgánica compostable (por ejemplo, si se separase el SAP en una fase inicial del proceso se eliminaría también el líquido retenido). En este caso, la materia orgánica a considerar se limitaría a la celulosa y a los excrementos sólidos. Los datos referentes a la generación de excrementos de niños varían considerablemente según diferentes autores:

Tabla 5. Generación de excrementos sólidos y líquidos de niños según diferentes autores (kg/día)

Edad	Datos Campbell & McIntosh		Datos Goellner <i>et al.</i>		Datos Lenter	
	orina	heces	orina	heces	orina	heces
0-3 meses	0,42	0,028	0,47	-	0,19	0,084
3-6 meses	0,42	0,031	0,47	-	0,19	0,111
6-12 meses	0,47	0,031	0,67	-	0,26	0,111
12-24 meses	0,58	0,031	0,84	-	0,29	0,111
24-30 meses	0,57	0,031	0,81	-	0,43	0,111

Fuente: elaboración propia a partir de Campbell & McIntosh, 1998, Goellner *et al.*, 1981 y Lenter, 1981.

Según estos datos la parte orgánica de los pañales (teniendo en cuenta sólo la parte sólida de los excrementos y la celulosa) supondría del 11,4 al 30,3% de su peso.

Por otro lado, se tienen que considerar también las características especiales que presentan los pañales debido a la presencia del SAP:

- Aunque la orina es un material orgánico, a efectos visuales tendría que

considerarse como impropio, ya que en los pañales usados está asociada con el SAP formando un compuesto gelatinoso.

- El SAP hidratado presenta una elevada adherencia, los sistemas habituales de segregar impropios de las plantas de compostaje no resultarían efectivos en cuanto a la separación del SAP.
- Una de las formas orgánicas del SAP (poliacrilamida) se utiliza en algunos casos en agricultura y horticultura para retener agua en el suelo. La forma de SAP utilizada en los pañales de un solo uso (poliacrilato) no se usa normalmente en horticultura debido a que la molécula se rompe más rápidamente liberando el líquido en períodos demasiado cortos. Según otros estudios, el poliacrilato funcionaría bien como fertilizante una vez tratado con nitrógeno y fósforo, ya que liberaría estos nutrientes al suelo, a la vez que serviría como estructurante¹⁰.

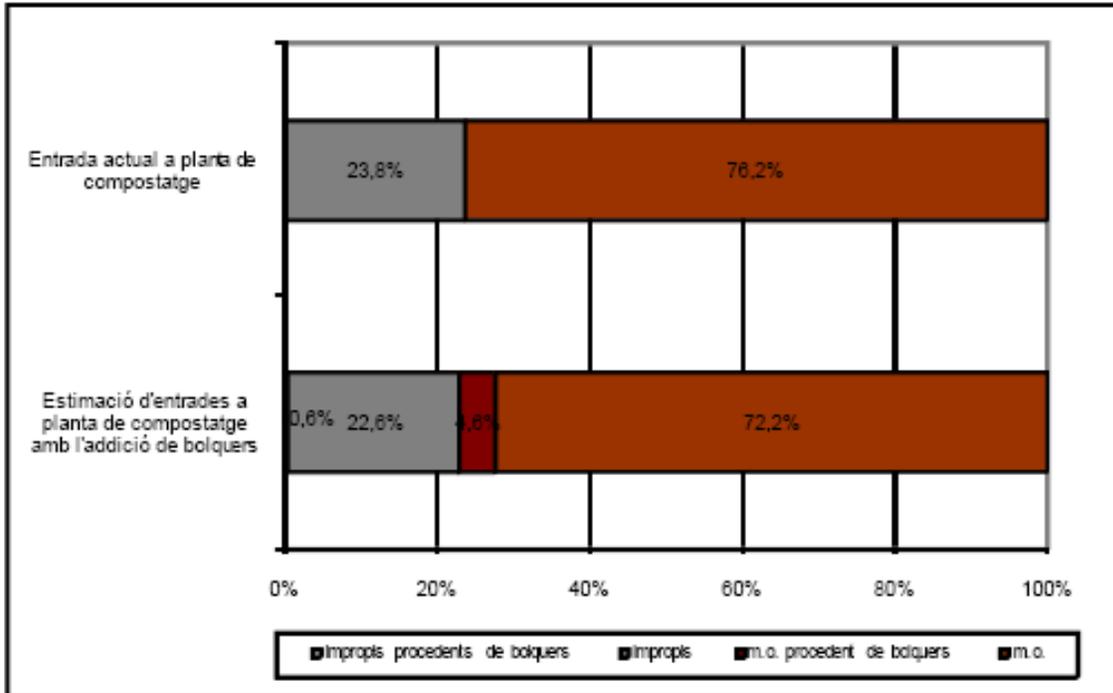
Según los últimos datos de composición de residuos, la fracción orgánica representa el 31% de los residuos municipales¹¹, y en la recogida selectiva esta materia orgánica contiene como media ponderada un 23,8% de impropios¹². Si se considera que los pañales de un solo uso contienen un 87,4% de materia orgánica, y se supone un nivel de recogida de pañales igual a los de recogida de FORM, la adición de pañales a la FORM no debería suponer en término medio un empeoramiento de la aportación de impropios:

Figura 1. Aportación media de impropios procedentes de los pañales en la recogida selectiva de FORM, considerando la orina como materia orgánica

¹⁰ Conway, Anderson, 2000.

¹¹ Anejo 4 del PROGREMIC 2007-2012

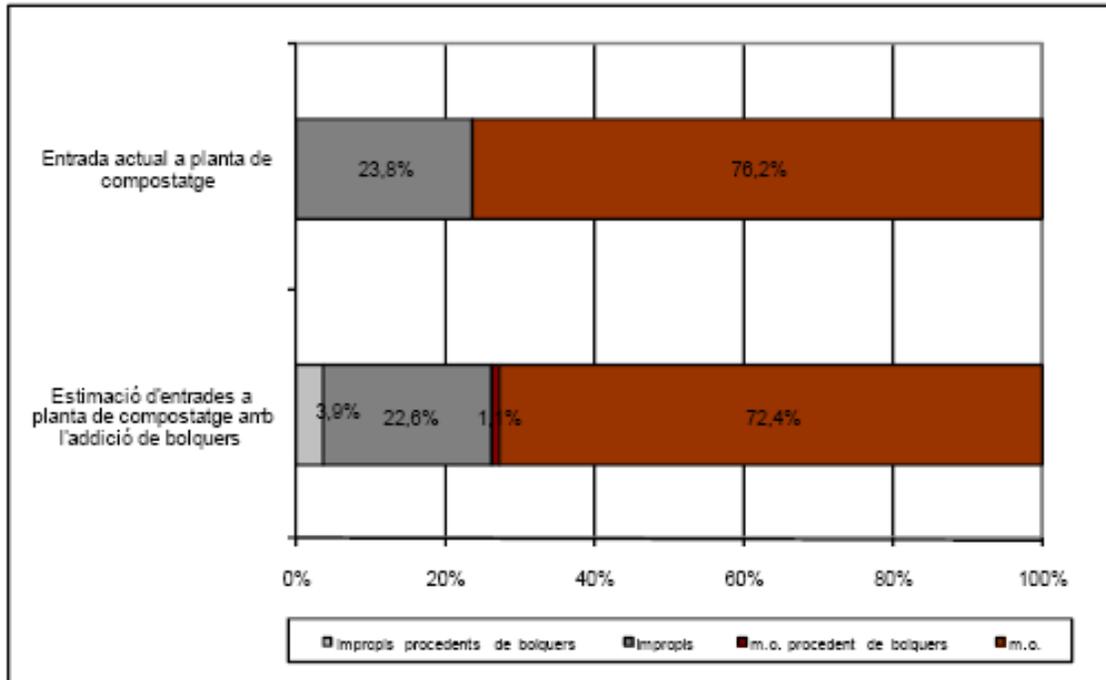
¹² Agencia de Residuos de Cataluña. www.arc-cat.net/ca/publicacions/pdf/estadistiques/val_rm_2005.pdf. [6 de febrero de 2009].



Fuente: elaboración propia.

Pero como se ha visto, el SAP retiene la mayor parte de la materia orgánica contenida en los pañales. Esto comporta que, antes del proceso de compostaje, la parte líquida de la materia orgánica podría considerarse como impropio, aumentando el porcentaje de impropios de los pañales hasta un 60%-90% del total (orina, SAP, plásticos, adhesivos y gomas). Este porcentaje sería muy superior al que normalmente contiene la materia orgánica procedente de recogida selectiva, por lo que la inclusión de los pañales en esta fracción supondría un empeoramiento de los materiales de entrada:

Figura 2. Aportación media de impropios procedentes de los pañales a la recogida selectiva de FORM, considerando la orina como impropio



Fuente: elaboración propia.

Se ha de considerar, no obstante, que según Cook *et al.* (1997), el proceso de compostaje degrada los enlaces responsables de la formación del gel, con lo que la orina queda liberada y se degrada normalmente con el resto de materia orgánica. Por el contrario, las moléculas de SAP sólo se degradan en un 8%. Por tanto, a efectos del proceso de compostaje únicamente se tendrían que considerar impropios estas moléculas no degradadas.

Por otro lado, también se ha de tener en cuenta la presencia de SAP no degradado y el posible aumento de la concentración de metales pesados como el zinc, posiblemente presente en los excrementos infantiles y/o derivado del uso de cremas para la piel de los bebés (ver apartado 5.3). Si bien son poco importantes a nivel cuantitativo, pueden suponer impedimentos importantes para el uso del compost resultante en determinados campos.

3.2. Estimación del coste actual de recogida y tratamiento de los pañales ¹³

3.2.1. Costes de recogida

En Cataluña existen actualmente diversos sistemas de recogida de residuos, como la recogida con contenedores en superficie, la recogida con

¹³ Todos los costes se presentan sin IVA y a precios del 2007.

contenedores soterrados, la recogida neumática o la recogida puerta a puerta. Los costes asociados a cada uno de esos sistemas varían considerablemente, tanto por lo que respecta a la implantación como a los costes de explotación.¹⁴ Entre diferentes municipios con un mismo tipo de recogida el coste también puede variar, dependiendo de factores como la densidad y morfología urbanas, tipo y densidad de contenedores, niveles de recogida selectiva, etc.

a) Contenedores y recogida neumática

En la mayoría de casos (contenedores en superficie, contenedores soterrados y recogida neumática) los costos de la recogida de los pañales no están desagregados ya que se recogen conjuntamente con la fracción resto. En este caso podemos considerar que los costes se sitúan dentro de un rango. En un extremo se puede considerar que los costes fijos son muy elevados, y que la disminución de un número de toneladas relativamente pequeño como es la fracción de los pañales no se percibiría como una disminución del coste.

En el otro extremo, pueden considerarse los costes de la recogida de pañales de un solo uso como la fracción de los costes correspondiente al porcentaje que estos representan en la fracción resto. El cálculo se ha hecho en base a los costes unitarios de recogida de residuos publicados en el Anejo 9 del PROGEMIC 2007-2012:

Tabla 6. Costes unitarios medios de recogida de la fracción resto para los sistemas de contenedores en superficie, contenedores soterrados y recogida neumática (€/t)

Tipo de recogida	Costes de explotación	Costes de amortización	Costes totales
Contenedores de superficie	64,62	4,95 ¹	69,57
Contenedores soterrados	73,59	25,31 ¹	98,90
Recogida neumática	62	94	156

¹ Media entre el coste máximo y el mínimo.

Fuente: elaboración propia a partir del Anejo 9 del PROGEMIC 2007-2012.

Tabla 7. Costes de la recogida de la fracción resta que corresponden a los pañales de un solo uso para la recogida con contenedores de superficie, contenedores soterrados y recogida neumática

¹⁴ Anejo 9 del PROGEMIC 2007-2012.

Núm. estimado de niños con pañales en los municipios con recogida con contenedores o neumática	114.519,69
toneladas de pañales recogidas/año	54.567
Costes medios de recogida (explotación y amortización) ¹	71 €/t
Costes totales anuales	3.874.224 €

¹ Se ha calculado ponderando los costes para cada tipo de recogida (contenedores de superficie, contenedores soterrados, recogida neumática y recogida puerta a puerta) con estimaciones de la población servida con cada una de estas recogidas.

Fuente: elaboración propia a partir de los costos unitarios publicados en el Anejo 9 del PROGEMIC 2007-2012.

Por tanto, la recogida de pañales de un solo uso en los municipios con recogida con contenedores o neumática se podría considerar entre un rango que iría de los 0 a los 3.874.224 euros anuales.

b) Recogida puerta a puerta

Para los municipios que realizan recogida puerta a puerta, la recogida de pañales sí que implica un aumento específico de los costos, ya que esta fracción se recoge segregada de las otras la mayoría de días¹⁵ y se ha de transportar a plantas de tratamiento diferentes tras su recogida.

Para el cálculo del incremento de costes que supone la recogida de pañales se ha partido de los costes unitarios por vehículo y por trabajador de la Mancomunitat La Plana para realizar la recogida de las fracciones de FORM y reciclables. El aumento del coste que implica la recogida de pañales de un solo uso se ha estimado como el 3% del coste de recogida de la fracción de FORM y reciclables:

Tabla 8. Variables para el cálculo de costes de la recogida de pañales en la Mancomunitat La Plana

Tiempo extra de recogida de pañales (segundos/familia con recogida de pañales) ¹	15
Número de familias con recogida de pañales ²	259
Coste recogida pañales (€/año)	6.582
Coste/habitante/año (€)	0,45

¹ Estimado por técnicos de la Mancomunitat La Plana.

¹⁵ En general, la recogida de pañales de un solo uso se realiza una vez por semana junto con la fracción resto, mientras que los otros días que hay servicio se recoge también pero en bolsas separadas.

² Estimado en base al porcentaje de población con pañales (ver apartado 3.1).
Fuente: elaboración propia.

Con estos datos se ha estimado el coste atribuible a la recogida de pañales de un solo uso tanto para la Mancomunitat La Plana como para todos los municipios de Cataluña con recogida puerta a puerta:

Tabla 9. Costes de recogida atribuibles a los pañales de un solo uso recogidos en las mismas rutas que la fracción FORM y los reciclables en la Mancomunitat La Plana y en todos los municipios PaP de Cataluña

Concepto	Mancomunitat La Plana	Municipios PaP de Cataluña
Habitantes	14.655	340.000
Pañales recogidos con fracción FORM y reciclables (toneladas/año)	90	2.093
Coste atribuible a la recogida de pañales (€/hab/año)	0,45	0,54 ¹
Costes totales (€/año)	6.582	184.998

¹ Se ha multiplicado el coste/hab/año de la Mancomunitat La Plana por un coeficiente de 1,21, resultante de dividir los costes de recogida en la Mancomunitat La Plana entre los costes de recogida en los municipios con recogida selectiva puerta a puerta de Cataluña (según el PROGEMIC 2007-2012). Fuente: elaboración propia.

A este coste se le podría añadir el porcentaje correspondiente a los pañales dentro de la fracción resto, ya que con ella se recogen también pañales. Suponiendo que los que se recogen en la fracción resto sean una cuarta parte del total de pañales recogidos, los costes correspondientes serían:

Tabla 10. Costes de recogida atribuibles a los pañales de un solo uso incluidos en la fracción resto en la Mancomunitat La Plana y en todos los municipios PaP de Cataluña

Concepto	Mancomunitat La Plana	Municipios PaP de Cataluña
Pañales recogidos con fracción resto (toneladas/año)	33	773
Coste unitario (€/tonelada)	63,03 ¹	116,35 ²
Costes totales (€/año)	2.103	89.990

¹ Costes unitarios de recogida para la Mancomunitat La Plana.

² Costes medios para Cataluña según el Anejo 9 del PROGEMIC 2007-2012.
Fuente: elaboración propia.

Los costes de recogida de los pañales en los municipios PaP estarían por tanto en

un rango que iría desde los 184.998 €/año, si se consideran nulos los costes de recogida de los pañales con la fracción resto, a los 274.987 €/año si se computa como coste de los pañales la parte proporcional del coste de recogida de la fracción resto que significan los pañales.

3.2.2. Costes de tratamiento

El tratamiento que se da a los pañales cuando se convierten en residuos es el mismo que el de la fracción resto: pueden ser llevados a vertederos controlados, a incineradoras o a plantas de tratamiento mecánico-biológico donde se estabiliza la materia orgánica, se recupera una parte de los materiales y posteriormente se transporta el rechazo a una instalación finalista. De acuerdo con el PROGEMIC 2007-2012 el coste medio por tonelada para cada uno de estos tratamientos es el siguiente:

Tabla 11. Costes medios del tratamiento de la fracción resto en 2007

Tratamiento	Coste (€/tonelada)
Disposición en vertederos	30
Incineración	40-50
Tratamiento mecánico-biológico ¹	45,84

¹ Incluye el coste de vertido o incineración del rechazo y el canon de residuos (balance neto entre pago estimado de 10 €/tonelada e ingreso en concepto de reducción del rechazo de 5 €/tonelada). Fuente: adaptación a partir del PROGEMIC 2007-2012.

Además los entes municipales que llevan los residuos a depósitos controlados han de abonar un canon de 10 €/tonelada de residuos, mientras que el canon por la incineración de residuos es de 5 €/tonelada.¹⁶

Con los datos anteriores se ha hecho una estimación del coste del tratamiento de los pañales de un solo uso en Cataluña, suponiendo que el porcentaje de pañales destinado a cada tipo de tratamiento es el mismo que en la fracción resto.

Tabla 12. Coste del tratamiento y del pago del canon de residuos correspondientes a los pañales de un solo uso en 2004

Tratamiento	Disposición en vertederos	Incineración	Tratamiento mecánico-biológico
-------------	---------------------------	--------------	--------------------------------

¹⁶ Estos cánones se incrementan hasta los 20 y 15 €/tonelada respectivamente en caso de que el municipio no haya iniciado el proceso de despliegue de la recogida selectiva de materia orgánica (Ley 8/2008, de 10 de julio, de financiación de las infraestructuras de gestión de los residuos y de los cánones sobre la disposición del rechazo de los residuos).

Toneladas de pañales	40.160	13.370	3.092
Coste tratamiento (€)	1.204.805	534.816-668.520	178.867
Canon de residuos (€)	401.602	66.852	Canon y retorno incluidos en el coste de tratamiento
Coste total (€)	1.606.406	601.668735.372	178.867

Fuente: elaboración propia.

El coste total del tratamiento de pañales y el pago del correspondiente canon de residuos para toda Cataluña sería de entre 2.386.942 y 2.520.646 euros anuales.

Para la Mancomunitat La Plana, los costes de disposición en vertedero y de pago del canon por las 124 toneladas de pañales generadas anualmente serían de 10.421 €.

3.2.3. Resumen

Según se ha visto en los apartados anteriores, la definición de los costes por la recogida de los pañales de un solo uso presenta un rango amplio según el tipo de recogida realizada y las consideraciones para su cálculo.

Los costes de tratamiento de los pañales dependen directamente de su destino, que puede ser la incineración, el depósito controlado o el tratamiento mecánico-biológico.

Los costes estimados para la recogida y tratamiento de pañales según las consideraciones anteriores se presentan en la tabla 13. Se expone también el coste de la recogida y tratamiento por pañal, resultado de dividir el coste total por el número de unidades generadas:

Tabla 13. Resumen de costes de la recogida y el tratamiento de pañales en Cataluña

		€/pañal	€/tonelada	Coste para Cataluña (€/año)
Recogida	Contenedores y neumática	0-0,015	0-71	0-3.874.224
	Recogida PaP	0,014-0,020	65-96	184.998-274.251
Tratamiento	Disposición en vertederos	0,008	40	1.606.406

Incineración	0,010-0,012	45-55	601.668-735.372
Tratamiento mecánico-biológico	0,010	45,84	178.867
Total	0,008-0,032*	40-154*	2.571.939-6.669.857

* Se ha calculado sumando por un lado los costes unitarios de recogida más bajos con los costes unitarios de tratamientos más bajos y por otro lado, los costes unitarios de recogida más altos con los costes unitarios de tratamientos más altos.

Fuente: elaboración propia.

4. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE TRATAMIENTOS NO FINALISTAS DE PAÑALES DE UN SOLO USO

Como se ha visto en el apartado anterior, en Cataluña, como en la práctica totalidad de países, los pañales de un solo uso siguen tratamientos finalistas (incineración o vertedero controlado). La diferente naturaleza de los materiales que se encuentran en los pañales usados (celulosa, materiales sintéticos, plásticos, materia orgánica) hace que sea técnicamente complejo su reciclaje, hasta el punto de que en el Estado español nunca se ha hecho ningún intento de abordarlo.

Aun así, los retos planteados por los impactos ambientales mencionados anteriormente, han provocado que tanto a nivel nacional como internacional se hayan ensayado algunas vías de gestión alternativas. El sistema de tratamiento más común, del que hay ejemplos en Cataluña, es el tratamiento mecánico-biológico (MBT) junto con la fracción resto. Otros sistemas de tratamiento menos extendidos como la metanización con la FORM o la separación de las diferentes fracciones y posterior reciclaje se han implantado sólo en algunos municipios de Europa y America. El compostaje de los pañales junto con la fracción orgánica sólo se ha probado a nivel experimental.

En los siguientes apartados se explican con más detalle las características de estas experiencias y los resultados obtenidos.

4.1. Tratamientos mecánico-biológicos (MBT)

Los tratamientos mecánico-biológicos se utilizan mayoritariamente en zonas donde la recogida selectiva de materia orgánica no se ha implantado. Su objetivo principal, especialmente desde la entrada en vigor de la *Directiva 99/31/CE, de 26*

de abril de 1999, relativa al vertido de residuos, es la reducción del volumen y del peso de los residuos destinados a vertedero, especialmente en lo referente a la fracción orgánica.

Los tratamientos mecánico-biológicos constan de dos fases diferenciadas: en primer lugar se somete a los residuos a una separación, mediante diferentes métodos, de los elementos más fácilmente valorizables o que podrían dificultar el proceso posterior (tratamiento mecánico: separación manual, cribado mecánico, imantación, corrientes de aire). En esta fase se suelen separar los metales, maderas y voluminosos y también los plásticos y envases en algún caso. Según su naturaleza y valor en el mercado, estos materiales son reciclados, valorizados energéticamente o depositados en vertedero. En la segunda fase, los materiales restantes –principalmente orgánicos– se someten a un tratamiento biológico, que puede constar de fases aerobias y anaerobias. Al acabar esta fase la materia orgánica queda estabilizada y con un volumen y nivel de humedad reducidos.

El compost resultante de los tratamientos mecánico-biológicos es normalmente de baja calidad y hay dificultades para comercializarlo. A pesar de ello, se consiguen reducir considerablemente el volumen y las problemáticas asociadas a la fracción resto (olores, lixiviación, reactividad) antes de ser llevada al vertedero.

Los MBT se están realizando desde hace años en diferentes sitios. En Europa, los países en los que este sistema ha estado más ampliamente implantado son España, Italia y Alemania. En Cataluña hay en funcionamiento tres ecoparcs situados en Barcelona, Montcada i Reixac y Sant Adrià de Besòs, con una capacidad de tratamiento de 800.000 toneladas/año de residuos.

El tratamiento de los pañales con MBT ofrece la considerable ventaja de que éstos no se han de recoger separadamente, sino que pueden depositarse junto a la fracción resto, como es habitual en nuestro país. Además, la elevada proporción de componentes orgánicos que contienen los pañales usados (celulosa, excrementos) hace que sean susceptibles de ser tratados biológicamente para reducir su volumen y reactividad. *EDANA, International Association serving the Nonwovens and Related Industries*, recomienda esta opción como la más adecuada para su tratamiento.¹⁷

4.2. Tratamiento mecánico y reciclaje de las diferentes fracciones

¹⁷ EDANA, 2005.

La separación de las diferentes fracciones reciclables de los pañales (materia orgánica, plástico, celulosa, SAP) se ha introducido en algunos municipios de América y Europa por la empresa Knowaste. El procedimiento consta de las siguientes fases¹⁸:

- En primer lugar, es preciso que los pañales se recojan separadamente y llevados a la planta de tratamiento.
- Las bolsas de pañales son trituradas y sometidas a un tratamiento físico-químico para higienizar los materiales y desactivar el SAP.
- Los componentes plásticos son separados, filtrados e higienizados nuevamente. Finalmente se compactan en balas y se comercializan para su reutilización.
- Los materiales restantes son filtrados para eliminar restos de plásticos de los materiales orgánicos.
- Los SAP desactivados se separan de las fibras de celulosa mediante otro proceso de limpieza. Este material puede utilizarse en el posterior proceso de compostaje una vez tratado.
- Las fibras de celulosa se someten a consecutivos procesos mecánicos, de filtración y limpieza para ser finalmente compactadas y comercializadas.
- La materia orgánica recogida en cada fase del proceso es deshidratada y compostada, o recirculada al sistema de depuración municipal.

Según la compañía explotadora, este proceso puede evitar que el 98% en peso de los pañales sean destinados a tratamientos finalistas, recuperando los materiales y convirtiéndolos en materias primas. Además, las estaciones de tratamiento pueden ser de tamaño muy variable, de manera que se pueden ajustar a diferentes escalas: desde regiones o áreas metropolitanas hasta pequeñas poblaciones.

El principal inconveniente de este sistema de tratamiento es su elevado coste. Hasta ahora, dos de las comunidades que implantaron este sistema de reciclaje de pañales (concretamente el municipio de Santa Clarita en California y 11 municipios de Bélgica) lo han abandonado por considerar que la relación coste-beneficio era insostenible. Por el contrario en el municipio de Arnhem (Holanda)

¹⁸ www.knowaste.com [11 de febrero de 2009].

está operando una planta de reciclaje de pañales desde 1999, dando servicio a más de 100 municipios y con capacidad para tratar 100.000 toneladas anuales de pañales. Los pañales se recogen en centros sanitarios, residencias geriátricas y centros de día y son llevados a la planta de tratamiento. La compañía está estudiando en la actualidad la forma de introducir también la recogida de pañales infantiles.

En Canadá, Knowaste ofrecía también un servicio de recogida de pañales a domicilio y posterior reciclaje mediante su filial Smallplanet. Este servicio se puso en funcionamiento en el año 2003 en la ciudad de Toronto. Los usuarios pagaban entre 13 y 25 \$ al mes, a cambio de la recogida a domicilio de los pañales, su reciclaje en la planta de Knowaste, y la entrega de pañales limpios. Smallplanet acabó su actividad a principios de marzo del 2008 debido a la iniciativa del gobierno local de recoger los pañales de un solo uso juntamente con los restos orgánicos para su posterior mecanización, tal como se explica en el apartado siguiente.

4.3. Metanización

La metanización de pañales junto al resto de residuos orgánicos municipales se está llevando a cabo en la ciudad de Toronto (Canadá). La recogida selectiva de materia orgánica (o *Green Bin Program*) se inició en el año 2002 en el barrio de Etobicoke y posteriormente se ha extendido a otros barrios de viviendas unifamiliares como Scarborough, Toronto, East York, York y North York. Actualmente se realiza la recogida selectiva de restos orgánicos a más de medio millón de viviendas cada semana, lo que representa el 90% de las viviendas unifamiliares de la ciudad. En las zonas donde predomina una arquitectura más compacta no se hace esta recogida selectiva.

En el *Green Bin* se pueden depositar todo tipo de restos de comida, envoltorios de comida y vajilla de papel, plantas pequeñas, pañales, productos de higiene femenina y excrementos de animales.

En el proceso de metanización se pueden diferenciar cuatro fases:

- 1 En primer lugar, los residuos son inspeccionados visualmente y se eliminan los objetos voluminosos que pueda haber.
- 2 A continuación se hace un pretratamiento de la materia orgánica para eliminar las bolsas de plástico y otros impropios. Los residuos son mezclados con agua y centrifugados, hasta convertirlos en un líquido

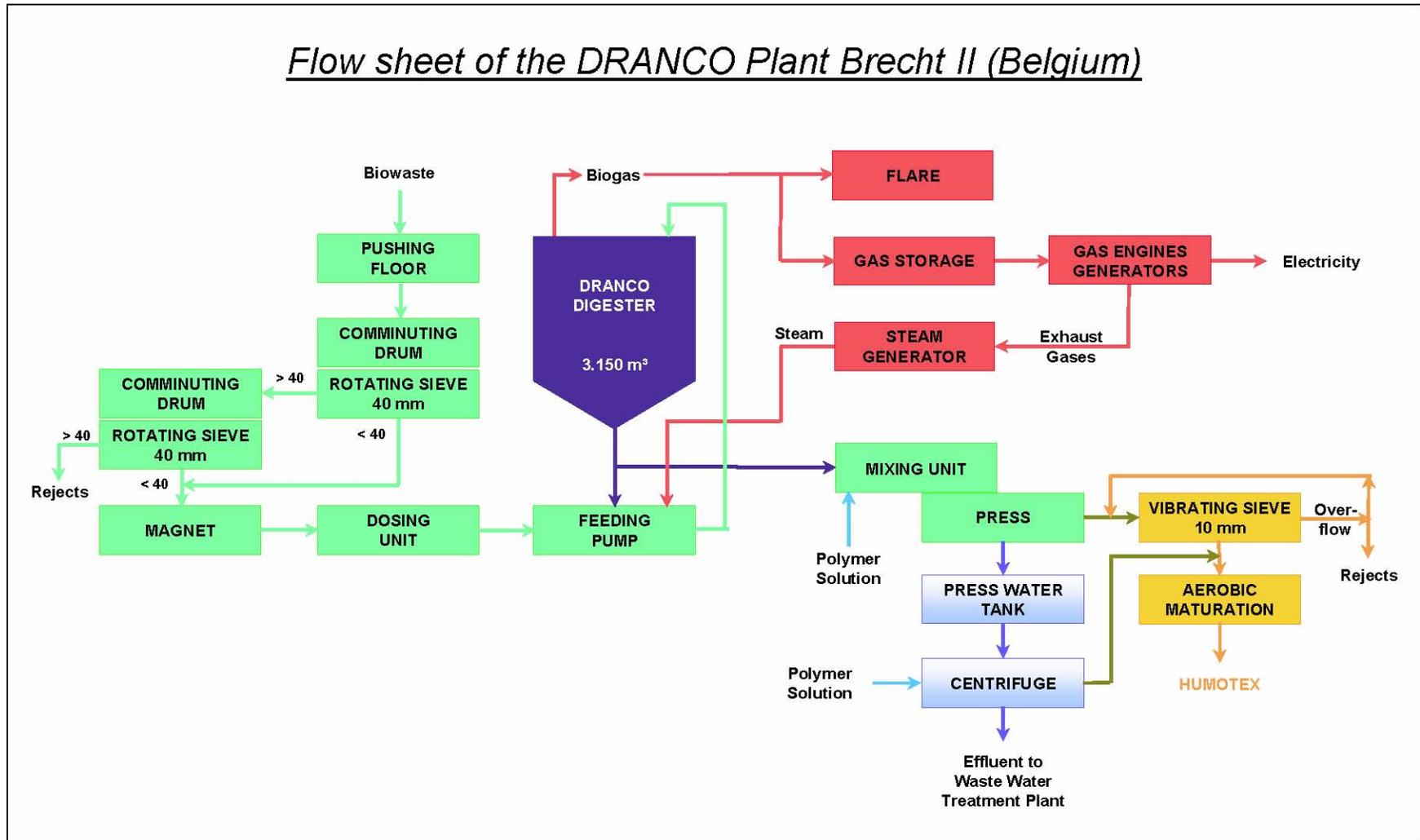
orgánico. Un rastrillo elimina los plásticos y otros impropios de este líquido, que son enviados al vertedero.

- 3 La materia orgánica es trasladada a un digestor anaerobio. Actualmente se está planificando la construcción de un cogenerador anejo para transformar el biogás generado en el proceso de fermentación anaerobia en electricidad. Antes de su traslado al digestor aerobio se elimina el exceso de agua de la materia orgánica mediante un prensado.
- 4 Finalmente, la materia orgánica se transporta al digestor aerobio, donde después de unos seis meses finaliza la transformación en compost.

Otro ejemplo de metanización de pañales junto con los residuos orgánicos municipales es el de Brecht (Bélgica).^{19,19} En este municipio se recoge el papel no reciclable (servilletas de papel, pañuelos de un solo uso, etc.) y los pañales juntamente con los restos de poda y los restos de comida, conformando la fracción llamada «biowaste+», que contiene hasta un 10% de impropios. El proceso de tratamiento biológico se realiza en la planta Brecht II, con la tecnología de tratamiento DRANCO, desarrollada por *Organic Waste Systems* y puesta en funcionamiento en enero del 2000.

¹⁹ Gellens *et al.*, 1995

Figura 3. Proceso de tratamiento de residuos en la planta Brecht II (Bélgica)



Fuente: www.ows.be.

Con una entrada de materiales aproximada de 55.000 toneladas/año, se generan unas 2.500 toneladas/año de rechazo, 22.000 toneladas/año de compost y 1,3 MW de electricidad, de la que un 70% es exportada a la red general. El compost producido cumple los requisitos de la normativa belga como corrector del suelo.²⁰

4.4. Compostaje

4.4.1. Estudios científicos y pruebas piloto sobre el compostaje de pañales

Desde los años 90 se han realizado a nivel de laboratorios diversos estudios sobre el compostaje de los pañales de un solo uso y algunos de sus componentes. Aunque la escala de las pruebas realizadas es pequeña y la mayoría de los estudios están enfocados a aspectos muy concretos del proceso, en general las conclusiones son positivas. En el cuadro siguiente se resumen las principales conclusiones de estos estudios:

²⁰ De Baere, 2008.

Tabla 14. Resumen de trabajos científicos referentes a la biodegradación de pañales

Autors	Any	Objectiu	Conclusions
Stegmann <i>et al.</i>	1993	Estudiar el comportamiento del SAP hidratado en vertederos y proceso de compostaje.	El SAP no representa un impedimento para el proceso de degradación de los pañales. La mayor parte queda retenido con la materia orgánica, mientras que un apequeña parte (menos del 6,4%) se biodegrada y un 2% aparece en el lixiviado.
Gerba <i>et al.</i>	1995	Estudiar la presencia de agentes patógenos en residuos urbanos.	No se detectan virus o acido nucleico intacto después de un proceso de compostaje de 175 días.
Cook <i>et al.</i>	1997	Estudiar el proceso de compostaje del SAP juntamente con RM.	Durante el proceso de compostaje sólo se degradan las partículas de bajo peso molecular (un 8% del total), que son las que presentan mayor movilidad. El resto conserva su estructura molecular al final del proceso.
MacLeod <i>et al.</i>	1998	Comprobar los efectos de compost realizado con y sin pañales en cultivos de avena y patata, forrajes.	El aumento de la productividad de los cultivos es similar con los dos tipos de compost utilizados. Faltan estudios sobre la absorción de metales pesados en la patata.
Espinosa <i>et al.</i>	2003	Estudiar la biodegradabilidad de los pañales.	El proceso de biodegradación de los pañales se da en condiciones aerobias a temperaturas de más de 60 °C y pH inferiores a 5,8. En estas condiciones la materia orgánica disminuye un 56% y la concentración de nitrógeno aumenta un 48%.

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Experiencias de compostaje de pañales a escala regional

El SIVOM es la mancomunidad encargada de la gestión de residuos en 80 municipios rurales de la zona de Bapaume (Francia). Tiene una población de unos 30.000 habitantes, repartidos en viviendas unifamiliares y en pequeñas poblaciones. En el año 1998 se inició una prueba piloto de recogida de residuos orgánicos, en la que se incluían los pañales de un solo uso. Debido a los resultados satisfactorios, la recogida de materia orgánica se extendió al resto de la población y actualmente se da servicio al 92% de la población de la región.²¹ Las principales características de la implantación son:

- El programa de recogida selectiva de materia orgánica abarca unas 20.000 viviendas.
- - La recogida orgánica se realiza puerta a puerta una vez por semana para las viviendas unifamiliares (un 70% del total) en un contenedor verde de 120 litros repartido gratuitamente por la mancomunidad. Los residuos vegetales se han de llevar al centro de recogida de residuos (punto limpio).
- - El resto de materiales reciclables se recogen en contenedores azules situados en puntos estratégicos. El rechazo también se recoge puerta a puerta, una vez cada dos semanas. Los residuos especiales se han de llevar al centro de recogida de residuos (punto limpio).
- Los residuos aceptados en la recogida de materia orgánica son: restos de comida, envases de cartón (excepto las cajas de embalaje), papel y pañales.
- El compost resultante se vende a una cooperativa agrícola de la zona, que a su vez lo comercializa entre sus afiliados y los asesora respecto a su utilización.
- La calidad del compost es alta gracias a una buena separación en origen. La mancomunidad realiza campañas periódicas y difunde los resultados obtenidos para aumentar la concienciación de los ciudadanos.

Una vez recogidos, los residuos se transporten a la planta de compostaje de

²¹ Dirección General de Medio Ambiente, 2000.

Bapaume, con una capacidad de 7.000 toneladas anuales. En primer lugar, se trituran todos los residuos y posteriormente se someten a descomposición aeróbica en pilas de 37 m de longitud y 4 m de anchura equipadas con aireación, durante cuatro semanas. Después de este período, el compost se criba para separar los impropios y el material grueso. Finalmente, pasará por la fase de maduración que durará entre dos y tres meses hasta que la actividad biológica se estabiliza. En el año 2006 se recogieron selectivamente 8.182 toneladas de residuos biodegradables, de los que 1.605 toneladas se separaron e incineraron y el resto siguió el proceso de compostaje.²²

4.5. Otras experiencias no finalistas de tratamientos de pañales

La elevada proporción de celulosa y materia orgánica en los pañales de un solo uso ha motivado que desde la Universidad Autónoma Metropolitana (Méjico) se hayan realizado diversas experiencias para utilizar este residuo como sustrato para el cultivo de hongos.²³ Este tratamiento de biotransformación permitiría, por un lado, minimizar tanto el peso como el volumen de los residuos a tratar y por otro lado, produciría recursos alimentarios aptos para el consumo humano y animal. Si bien los resultados obtenidos fueron positivos en un primer momento, obteniéndose reducciones del 75% en peso y del 90% en volumen y hongos sin patógenos humanos, los cambios en la composición de los pañales han supuesto un impedimento importante para desarrollar este tipo de tratamiento.

Mientras que en los años 90 la celulosa suponía entre el 85 y el 90% en peso de los pañales, actualmente sólo es el 35% del total, quedando por tanto el sustrato potencial considerablemente reducido. Además, el aumento progresivo de la cantidad de polímeros superabsorbentes (SAP) ha comportado que los micelios de los hongos encuentren dificultades para colonizar el sustrato, de manera que no se produce la degradación.²⁴

²² Syndicat Mixte de la Région de Bapaume, 2006.

²³ Nava, Espinosa, 1993.

²⁴ Delfín, Durán, 2003.

5. ESTUDIO TÉCNICO SOBRE EL COMPOSTAJE DE PAÑALES DE UN SOLO USO²⁵

5.1. Objetivo del estudio

Con la idea de conocer la viabilidad técnica del compostaje de FORM en presencia de pañales de un solo uso, se planificaron una serie de experimentos para estudiar las posibilidades de este proceso, con una especial atención a las propiedades del material final que se obtuviera. En todos los casos se consideró que los pañales se tenían que triturar previamente.

5.2. Metodología experimental

La propuesta experimental constaba de tres fases claramente diferenciadas, las dos primeras llevadas a cabo en los laboratorios del Grupo de Compostaje de la Universidad Autónoma de Barcelona y la segunda en las instalaciones de la Mancomunitat la Plana:

- *Escala laboratorio*: en esta primera fase se pretendía ver si la presencia de pañales suponía algún problema grave para la compostabilidad de dos residuos orgánicos de elevada generación: FORM y lodos de depuradora. Con este objetivo, se diseñaron una serie de pruebas con reactores de 4,5 litros de volumen (figura 4) que contenían diferentes proporciones de pañales y los correspondientes controles (figura 5), y esencialmente, se hizo el seguimiento de la temperatura del proceso.

²⁵ Este capítulo ha sido redactado por el *Grup de compostatge de residus sòlids orgànics de la Universitat Autònoma de Barcelona*. Se trata de un resumen del estudio técnico realizado por ese grupo, la información detallada se puede consultar en los anejos 1, 2 y 3.

Figura 4. Montaje experimental



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 5. Mezclas iniciales de FORM con proporciones crecientes de pañales



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

- *Escala piloto*: en esta segunda etapa se procedió a estudiar el compostaje de FORM y lodos de depuradora con proporciones elevadas de pañales a escala piloto (100 litros de volumen) y seguimiento completo de todas las variables de proceso. El objetivo de esta fase era determinar las condiciones adecuadas para llevar a cabo la prueba final a escala real.
- - *Escala real*: por último, en esta fase se realizó un proceso en paralelo de compostaje de FORM con y sin pañales. Los pañales estaban en una proporción del 3%, similar a la generación de este residuo en Cataluña (figura 6). La prueba se llevó a cabo en la planta de compostaje de la Mancomunitat la Plana, utilizando el sistema de compostaje compuesto por una primera descomposición en módulo aireado (figura 7) y una segunda fase de maduración en pilas volteadas (figura 8). Los objetivos fundamentales de esta fase fueron dos: por un lado, comprobar que el proceso industrial no presentaba ningún problema por la presencia de pañales y, por otro, caracterizar los dos materiales finales en aspectos clave como estabilidad, higienización y contenido en metales pesados, de forma que fuera posible compararlos a nivel cuantitativo.

Figura 6. Pañales triturados



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 7. Módulo de descomposición (FORM con pañales triturados)



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 8. Imagen de las dos pilas de maduración en la parte final del proceso (delante: sin pañales; detrás: con pañales)



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

5.3. Resultados y conclusiones más significativas

5.3.1. Escala laboratorio

A nivel de laboratorio, la incorporación de pañales tanto en la FORM como en los lodos de depuradora no supuso ningún impedimento para el desarrollo habitual del proceso de compostaje, y se alcanzaron temperaturas termófilas prácticamente en todas las proporciones ensayadas. Al mismo tiempo, los niveles de estabilización de los materiales, aun siendo a escala laboratorio, fueron los adecuados. El aspecto negativo de la prueba fue que visualmente se observaron partes de pañales no degradadas, y por eso la recomendación final fue que se continuara con las pruebas a escala piloto.

5.3.2. Escala piloto

Dadas las limitaciones del sistema utilizado a escala laboratorio, se llevaron a cabo experimentos a escala piloto (100 litros de volumen) con FORM y lodos, y usando proporciones de pañales relativamente altas (6% en el caso de la FORM y 10% en el de los lodos).

En el caso de los lodos de depuradora, las evoluciones de temperatura, oxígeno, dióxido de carbono y caudal de aireación suministrado en el proceso de compostaje siguieron perfiles típicos a esta escala. El material alcanzó el rango termófilo de temperaturas propio del proceso de compostaje, a pesar de que su duración fue muy corta, lo que supuso un nivel bajo de estabilización. Respecto al impacto visual, como puede observarse en la figura 9, la utilización de porcentajes elevados de pañales provocaba un impacto importante en la apariencia del compost, con evidencia de fibras de plástico no descompuestas.

Figura 9. Imágenes del material final (lodos de depuradora con pañales)



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

En lo referente a la FORM, el proceso de compostaje tuvo un comportamiento o diferente del caso de los lodos de depuradora. En este caso, la mayor actividad y biodegradabilidad de la FORM provocó que el proceso de compostaje fuera más largo y que las temperaturas se mantuvieran en el rango termófilo durante un período más prolongado. Desde este punto de vista, se podía asegurar la higienización del material con las temperaturas alcanzadas, un aspecto importante si se mezclan los pañales con FORM.

Al mismo tiempo, las necesidades de aireación para asegurar un nivel de oxígeno adecuado, también fueron muy superiores. Este hecho se tradujo en una mayor degradación de la materia orgánica, que se observaba especialmente en la disminución del índice respirométrico. En general, puede considerarse que la FORM tenía un proceso de compostaje típico en condiciones de escala piloto y que los pañales no tenían ningún efecto negativo sobre él.

Como puede observarse en la figura 10, la degradación a nivel visual de los pañales con la FORM era significativa, aunque algunos de los componentes de los pañales (superabsorbentes y ciertas fibras plásticas) se identificaban con claridad en el compost (figura 11).

Figura 10. Imagen del material final (FORM con pañales)



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 11. Imagen del material final (FORM con pañales, detalle del material)



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Como conclusión de esta fase se puede apuntar que la aportación de pañales de un solo uso al compostaje de lodos o FORM no afecta negativamente a ninguna de las variables medidas. Respecto a los dos residuos considerados, parece más

adecuado utilizar los pañales como cosustrato para materiales más activos como la FORM, para que los pañales tengan una degradación e integración más visibles y se puedan asegurar las condiciones de higienización del material.

Finalmente, se recomendaba la realización de una prueba de compostaje de FORM y pañales a escala real (con un control de FORM), en la que, además de los parámetros analizados anteriormente se proponía hacer un análisis de microorganismos patógenos en el material final y la caracterización completa del producto final para ver si los procesos de cribado final a escala industrial son capaces de eliminar del compost los materiales no degradados procedentes de los pañales.

5.3.3. Escala real

Como prueba final, se realizó un proceso de compostaje completo de FORM con pañales al 3% en peso y un control de FORM sin pañales siguiendo la metodología que se lleva a cabo en la Mancomunitat la Plana.

Desde el punto de vista del **proceso**, las variables analizadas presentaron valores muy similares y la presencia de pañales no tuvo ningún efecto significativo en el compostaje. Así pues, en relación a la temperatura, en la fase de descomposición las diferencias eran mínimas y en todos los casos se alcanzaron valores elevados de temperatura que se explican por la elevada biodegradabilidad de la FORM y que aseguraban una correcta higienización del material. Por otro lado, la evolución de otros parámetros en las fases de descomposición y maduración también fue la típica, excepto en el caso de la humedad, que llegó a ser limitante durante la etapa de maduración, y provocó que no se lograran los niveles esperados de estabilización. De hecho, en relación al índice respirométrico, la parte más importante de reducción de la actividad tuvo lugar durante la fase de descomposición en módulo, en la que partiendo de valores entre 5 y 6 $\text{mg O}_2 \text{g}^{-1} \text{MO h}^{-1}$ (que por otro lado se pueden considerar representativos de una FORM de elevada pureza y eminentemente vegetal), se acaban obteniendo valores alrededor de 2 $\text{mg O}_2 \text{g}^{-1} \text{MO h}^{-1}$, lo que implica una reducción bastante importante para un período de compostaje relativamente corto (5-6 semanas) en un módulo aireado pero estático. Al mismo tiempo, puede observarse que en la primera etapa de la maduración (entre los días 35 y 80 aproximadamente) se produce un nuevo descenso de la actividad respirométrica hasta valores cercanos a 1 $\text{mg O}_2 \text{g}^{-1} \text{MO h}^{-1}$, que ya podrían considerarse satisfactorios. A pesar de esto, se ha de destacar también que el último período de maduración (entre los días 80 y 170) no aporta ninguna mejora en estabilidad, hecho que probablemente se

deba a una limitación de la actividad biológica motivada por un déficit de humedad.

Respecto a la **calidad del compost final**, en la tabla 15 se muestran con detalle las propiedades medidas de los dos materiales finales obtenidos después de cribar las pilas de maduración. Ninguno de los dos materiales cribados presentaba evidencias de contener impropios, aunque el material recirculado de la prueba con pañales (la parte que no pasaba por la criba) sí que tenía algunas partes de pañales no degradadas (aunque en una proporción visualmente pequeña en relación al resto de impropios).

Tabla 15. Caracterización de los materiales finales en la prueba de compostaje a escala real

Parámetro	Compost sin pañales	Compost con pañales
Humedad (%)	25,7	24,0
Materia orgánica (% base seca)	63,1	56,0
pH (extracto 1:5)	9,05	8,05
Conductividad elec. (extracto 1:5, mS/cm)	2,01	1,98
N- Kjeldahl (% base seca)	2,33	1,94
Índice respirométrico (mg O ₂ g ⁻¹ MO h ⁻¹)	1,40	1,57
Test <i>Rottegrade</i> de maduración (grado)	III	III
Densidad aparente (kg/L)	0,36	0,40
Porosidad (espacio libre de aire, %)	61	57
<i>E. coli</i> (UFC/g)	<10 (Ausencia)	20 (Ausencia)
<i>Salmonella</i> (presencia/ausencia en 25 g)	Ausencia	Ausencia
Cromo (ppm, base seca)	9	14
Níquel (ppm, base seca)	9	14
Plomo (ppm, base seca)	28	26
Cobre (ppm, base seca)	44	41
Zinc (ppm, base seca)	156	200
Mercurio (ppm, base seca)	0,06	0,09
Cadmio (ppm, base seca)	0,3	0,3
Cromo hexavalente (ppm)	<0,50	<0,50

Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

En la tabla 16 se presentan algunos de los valores de referencia del Real Decreto 824/2005, que regula el uso de fertilizantes en España, aunque la información que se solicita en este Decreto es, a nuestro entender, muy limitada:

Tabla 16. Valores de referencia para el uso de fertilizantes definidos por el Real Decreto 824/2005

Parámetro	Valor límite		
Humedad (%)	30-40		
Materia orgánica (% , base seca)	>35		
Relación C/N	<20		
<i>E. coli</i> (UFC/g)	<1000		
<i>Salmonella</i> (presencia/ausencia en 25 g)	Ausencia		
Cromo (ppm, base seca) Clases A/B/C	70	250	300
Níquel (ppm, base seca) Clases A/B/C	25	90	100
Plomo (ppm, base seca) Clases A/B/C	45	150	200
Cobre (ppm, base seca) Clases A/B/C	70	300	400
Zinc (ppm, base seca) Clases A/B/C	200	500	1000
Mercurio (ppm, base seca) Clases A/B/C	0,4	1,5	2,5
Cadmio (ppm, base seca) Clases A/B/C	0,7	2	3
Cromo hexavalente (ppm) Clases A/B/C	0	0	0

Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Las conclusiones generales que se pueden extraer de los valores de las tablas anteriores demuestran que ambos productos están higienizados, estabilizados y son de gran calidad. Además, las diferencias entre los dos materiales son muy bajas.

Más concretamente:

- Las **propiedades generales** son adecuadas para un compost, con un elevado contenido en materia orgánica y una cierta presencia de nitrógeno total. Las relaciones C/N estimadas de acuerdo con el contenido de materia orgánica (suponiendo un 55% de C en la materia orgánica) estarían alrededor de 15-16, que también son correctas para un compost final. Como se ha comentado previamente, el punto más alejado de los valores normales del compost es la humedad, que es muy baja aunque está en consonancia con la evolución del proceso, ya que los riegos han sido insuficientes en la etapa de maduración. También destaca un valor del pH que parece excesivamente alcalino para el compost sin pañales, para el que no se tiene una explicación razonable, y podría ser debido a un posible error experimental.

- En cuanto a la **estabilidad**, está de acuerdo con el perfil obtenido del índice respirométrico durante el proceso. Los valores finales obtenidos corresponden a un compost casi estable, a pesar de que la última parte de la maduración, llevada a cabo en condiciones de limitación por humedad, no ha permitido que este valor fuera aún mejor. Por otro lado, respecto a las muestras finales de proceso, se observa un ligero aumento en el índice respirométrico en las muestras de compost, una situación que es típica de este índice y que se debe al efecto de concentración de la materia orgánica más activa biológicamente (el compost) respecto a la menos activa (el agente estructurante), que se da cuando se efectúa el cribado. El grado de madurez, con un valor de III, corrobora los resultados del índice respirométrico, en el sentido de que falta una cierta maduración del material.
- La **higienización**, en ambos casos, ha sido muy efectiva, ya que no se ha detectado ninguno de los microorganismos patógenos regulados en la legislación. Obviamente, los niveles de temperatura alcanzados y los volteos efectuados son adecuados para asegurar que se trata de un compost totalmente higienizado.
- Por último, y en relación a la presencia de **metales pesados**, los niveles detectados en los dos materiales son muy bajos. En concreto, los dos entrarían en la clase A definida al Real Decreto 824/2005, que es la base de la legislación española de fertilizantes. La única excepción sería el caso del zinc para el compost con pañales, que da un valor coincidente con el límite de la clase A de compost. Aunque a nivel estadístico no se pueden sacar conclusiones validadas al no disponer más que de dos muestras, podría ser que esta concentración superior en zinc fuera debida a su presencia en los excrementos infantiles y/o al uso de cremas antisépticas para la piel de los niños, que suelen contener este metal. Para los otros metales, las diferencias entre los dos materiales son poco significativas, ya que todos los valores están muy alejados de los límites.
- Un aspecto que no se ha analizado en este estudio es la posible presencia en el compost de los **polímeros superabsorbentes** que actualmente se utilizan en la fabricación de pañales de un solo uso. Se entiende que estos polímeros son de baja biodegradabilidad y que por tanto permanecerán mayoritariamente en el compost. De todas formas, en la prueba realizada a escala real, no se observaron restos de estos materiales. También creemos que sería prácticamente imposible detectarlos a nivel analítico, ya que no

se tienen datos concretos de su composición y la única forma de saber si provocan alguna alteración en la calidad del compost sería haciendo pruebas agronómicas a escala real.

Por último, en las figuras 18 y 19 se presentan los detalles de los materiales finales:

Figura 12. Material reciclado procedente del cribado de la pila con pañales



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 13. Material reciclado procedente del cribado de la pila sin pañales



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 14. Detalle del rechazo del material recirculado procedente del cribado de la pila sin pañales



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 15. Detalle del rechazo del material recirculado procedente del cribado de la pila con pañales



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 16. Detalle del rechazo del material reciclado procedente del cribado de la pila con pañales



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 17. Comparativa de rechazos



Nota: izquierda sin pañales, derecha con pañales.
Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 18. Compost final procedente del cribado de la pila con pañales



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

Figura 19. Compost final procedente del cribado de la pila sin pañales



Fuente: Departamento de Ingeniería Química de la UAB.

5.4. Conclusiones finales

De los resultados obtenidos en este estudio técnico se puede concluir que:

- La aportación de pañales en un 3% en peso sobre la FORM no tiene ningún efecto relevante sobre el proceso de compostaje, que se desarrolla con total normalidad y siguiendo las evoluciones típicas de todos los parámetros analizados.
- Los pañales tampoco tienen ningún efecto significativo sobre la calidad del compost final en los parámetros que se han analizado, ya que en ambos casos se puede considerar que se obtiene un compost de calidad, suficientemente estabilizado e higienizado.
- Visualmente, no se han observado restos de polímeros superabsorbentes en el producto final, aunque se entiende que son de baja biodegradabilidad y que mayoritariamente se incorporarán al compost final.
- A pesar de que algunas partes de los pañales no resultan degradadas, éstas se separan de manera efectiva en el cribado. Evidentemente, a lo largo de sucesivos períodos de compostaje, estas partes se acabarían acumulando en el material recirculado, pero, dada la proporción de este material, parece que su efecto también sería mínimo. Para poder llegar a

conclusiones definitivas, esta incorporación de pañales a la FORM tendría que hacerse durante períodos más largos, con diferentes recirculaciones.

- En FORM con un contenido de impropios más elevado, y en plantas donde los sistemas de afino son más completos, parece que el efecto de los pañales aún sería menor.
- No queda claro si el aumento de zinc en el compost con pañales se deriva de su presencia en los excrementos infantiles o es una consecuencia de la utilización de ciertos productos que acaban en los pañales. En todo caso, se tendría que tener en cuenta este aspecto en futuras decisiones.

6. PROPUESTA DE GESTIÓN DE LOS PAÑALES DE UN SOLO USO

En los capítulos anteriores se ha visto cómo los pañales de un solo uso para niños representan en Cataluña el 1,5% del total de residuos generados, es decir, unas 57.400 toneladas anuales, considerando datos del año 2004. Estos residuos son mayoritariamente orgánicos, con un porcentaje de materiales impropios (plásticos, gomas, SAP, adhesivos) inferior a la media de impropios presentes en la recogida selectiva de materia orgánica. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que en algunas plantas de compostaje donde se trata FORM con un bajo porcentaje de impropios, como es el caso de la Mancomunitat La Plana, la recogida conjunta de pañales de un solo uso con la FORM sí que supondría un aumento relativo de los impropios.

En las pruebas a escala de laboratorio, escala piloto y en planta que se han hecho en el marco de este proyecto por el Grupo de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos de la UAB, se ha visto que la adición de pañales de un solo uso a la FORM no supone ningún impedimento en el proceso de compostaje ni en la estabilidad e higienización del compost (ver capítulo 5).

De todas formas, la adición de pañales a la FORM en el proceso de compostaje implica la incorporación al compost final de los SAP, ya que según la bibliografía analizada, la mayoría de estos polímeros no se degradan durante el proceso de compostaje. Aunque en principio estos compuestos no son tóxicos se desconoce su comportamiento a largo plazo en el medio ambiente y sus posibles efectos en caso que este compost se utilice en aplicaciones agrícolas. También se ha de tener en cuenta que en el estudio técnico realizado se detectó un aumento de la concentración de zinc en el compost resultante (ver tabla 15), posiblemente debido a su presencia en los excrementos infantiles y/o en las cremas de piel para los bebés. Si bien no se pueden extraer conclusiones significativas, la

concentración de zinc registrada en el compost final se encuentra dentro de los límites de referencia del Real Decreto 824/2005 (ver tabla 16). Estos dos elementos (SAP y zinc) podrían perjudicar la calidad del compost final y limitar su aplicación en la agricultura y, en consecuencia, dificultar también su venta en el sector agrícola.

Debido a las incertezas respecto a las repercusiones en la agricultura de las moléculas de SAP y del posible aumento de concentración de zinc, no se considera prudente la recogida conjunta de los pañales con la FORM ni su tratamiento en plantas de compostaje. A pesar de ello, se recomienda continuar investigando los siguientes aspectos:

- Determinar si puede ser atribuible a los pañales el aumento de la concentración de zinc y de otros metales pesados en el compost proveniente de FORM con pañales. Por ejemplo, determinando la concentración de los metales en el pañal usado.
- Realizar estudios agronómicos para determinar el comportamiento de las moléculas de SAP en el suelo a largo plazo y su influencia en diferentes cultivos.
- Estudiar el posible tratamiento de pañales de un solo uso en plantas de metanización.
- Estudiar la influencia de los pañales de un solo uso para adultos en los tratamientos mencionados en los puntos anteriores, ya que su composición y características varían respecto a las de los pañales para niños.

Teniendo en cuenta estos resultados y los tipos de recogida selectiva y tratamiento de la FORM en Cataluña, se han hecho propuestas para la gestión de los residuos de pañales de un solo uso. Se presentan en primer lugar propuestas para los municipios con recogida selectiva puerta a puerta y en segundo lugar propuestas para el resto de municipios. La distinción se justifica porque en los primeros se recoge selectivamente una cantidad importante de pañales.

6.1. Propuestas para la gestión de los pañales en los municipios con recogida selectiva puerta a puerta

Para los municipios con recogida selectiva puerta a puerta se plantea recoger por separado los pañales de un solo uso y llevarlos a plantas de tratamiento

mecánico-biológico, cuando haya una instalación de este tipo a una distancia razonable. El tratamiento mecánico-biológico permitiría la degradación y estabilización de la materia orgánica presente en los pañales y su transformación en un compost de menor calidad, pero probablemente apto para determinadas aplicaciones. El compost resultante del tratamiento en estas plantas no tiene como destino final la agricultura, por tanto la presencia de SAP y el posible aumento de la concentración de zinc no supondrían un impedimento. Además, las plantas de tratamiento mecánico-biológico están preparadas para recibir un porcentaje de impuros muy superior al que representan los plásticos y otros materiales no orgánicos en los pañales, y por tanto, la aportación de éstos no comportaría un empeoramiento global de los materiales de entrada, sino que a menudo sería al contrario.

Actualmente en la mayoría de municipios con recogida selectiva puerta a puerta ya se recogen por separado los pañales algunos días por semana (los días en que se hace la recogida de la FORM o los reciclables), pero también se recogen junto con la fracción resto los días de recogida de esta fracción. Se plantearía, por tanto, que los pañales incluidos en la fracción resto se recogieran también en bolsas separadas. Para los municipios que actualmente ya realizasen un tratamiento mecánico-biológico de la fracción resto se podría continuar con el mismo sistema de recogida actual²⁶, ya que obviamente no tendría sentido recogerlos por separado. Según las previsiones del PROGEMIC 2007-2012 y del Plan territorial sectorial de infraestructuras de gestión de residuos municipales 2005-2012, éste será el caso de la totalidad de municipios de Cataluña a medio plazo

La separación de los pañales de la fracción resto no supondría un gran aumento de los costes de gestión ni cambios importantes para la población implicada, dado que en su caso ya está incorporado el hábito de separar los pañales de los otros residuos. Por otra parte, en el caso de que algunos municipios lo considerasen más adecuado, podrían continuar recogiendo algunos pañales con la fracción resta y llevar a plantas de tratamiento mecánico-biológico sólo los pañales recogidos por separado.

Para disminuir los costes de transporte y el impacto ambiental asociado (y según la distancia a la planta de tratamiento más cercano y la generación de pañales de cada municipio) se tendría que estudiar cuál sería la frecuencia más apropiada de transporte de los pañales a la planta de tratamiento. En el apartado 6.4.1 se muestran los costes medios estimados para Cataluña, suponiendo una frecuencia semanal de transporte, de manera que sería necesario almacenar los pañales

²⁶ Actualmente sólo se encuentra en esta situación el municipio de Tiana.

temporalmente antes de llevarlos a la planta de tratamiento

6.2. Propuestas para la gestión de los pañales en el resto de municipios

En el caso de los municipios con recogida mediante contenedores en superficie, contenedores soterrados y recogida neumática, se propone continuar con el actual sistema de recogida de los pañales con la fracción resto, ya que, debido al transporte, el coste asociado a la recogida segregada de los pañales se considera demasiado elevado en relación con los beneficios ambientales potenciales. De todas formas, el objetivo a medio plazo, de acuerdo con el PROGREMIC 2007-2012 y el Plan territorial sectorial de infraestructuras de gestión de residuos municipales 2005-2012, sería que la totalidad de los residuos recogidos con la fracción resto se llevaran a plantas de tratamiento para su estabilización y recuperación de los materiales reciclables. En el mencionado plan, se prevé la construcción de 25 nuevas plantas de tratamiento de la fracción resto/FIRM.

6.3. Resumen de las propuestas de recogida y tratamiento de los pañales de un solo uso

En el cuadro siguiente se esquematizan las propuestas explicadas en los apartados 6.1 y 6.2:

Tabla 17. Resumen de propuestas para el tratamiento de pañales de un solo uso

	Marco actual		PROGREMIC	
	Recogida	Tratamiento	Recogida	Tratamiento
Recogida PaP	Continuar recogiendo por separado los pañales que ya se recogen selectivamente	Tratamiento mecánico-biológico	Continuar con el sistema de recogida actual	Tratamiento mecánico-biológico
	En caso que haya una planta de TMB cercana: recogida selectiva de todos los pañales (incluidos los de la fracción resto)			
	En caso que no haya una planta de TMB cercana: continuar con el sistema actual	Vertedero/incineradora		
Resto de residuos	Continuar con el sistema de recogida actual	Vertedero/incineradora	Continuar con el sistema de recogida actual	Tratamiento mecánico-biológico

Fuente: elaboración propia

6.4. Estimación de costes

En este apartado se estiman los costes que supondría el desarrollo de las propuestas descritas en el apartado anterior. En primer lugar se describen los costes en el marco actual (con las infraestructuras disponibles ahora) y en segundo lugar los costos en el momento en que se haya llevado a cabo el despliegue del PROGEMIC 2007-2012.

6.4.1. En el marco actual

El coste de implementación del sistema de gestión propuesto vendría dado por el aumento del coste de recogida y tratamiento de los pañales en los municipios con recogida selectiva puerta a puerta, ya que para el resto de municipios el sistema propuesto no difiere del actual.

En los municipios con recogida selectiva puerta a puerta, se produciría en primer lugar un aumento del coste debido al incremento del tiempo que supondría la recogida de los pañales separadamente de la fracción resto:

Tabla 18. Costes de la recogida de pañales en bolsas separadas de la fracción resto en Cataluña y en la Mancomunitat La Plana

	Mancomunitat La Plana	Cataluña
Habitantes	14.665	340.000
Pañales recogidos con la fracción resto (toneladas/año)	33	763
Coste atribuible a la recogida de pañales (€/hab./año) ¹	0,23	0,28 ²
Costes totales (€/año)	3.408	95.779

¹ Se ha calculado suponiendo una media de la recogida de fracción resto de 1,55 veces por semana y un incremento del tiempo de recogida de 15 segundos por familia con recogida de pañales.

² Se ha calculado multiplicando el coste por habitante y año en la Mancomunitat La Plana por un coeficiente de ponderación de 1,21, correspondiente a la división de los costes de recogida de la fracción resto en los municipios con recogida puerta a puerta de Cataluña por los costes de recogida en la Mancomunitat La Plana.

Fuente: elaboración propia.

A este coste de recogida se le tendría que restar el coste evitado de recogida de

pañales con la fracción resto, que sería entre 0 y 2.103 €/año para la Mancomunitat La Plana y entre 0 y 89.990 €/año para toda Cataluña (ver tabla 10).

Por otro lado, también se han de tener en cuenta los costes del transporte de los pañales hasta la planta de tratamiento mecánico-biológico. Los municipios catalanes con recogida puerta a puerta están actualmente a una distancia media de estas plantas de unos 95 km. Considerando un coste de transporte de 47 €/hora, una velocidad media del vehículo de recogida de 50 km/h²⁷ y una frecuencia de transporte semanal, los costes para todos los municipios con recogida selectiva puerta a puerta de Cataluña serían de 575.806 €/año. En el caso de la Mancomunitat La Plana, donde el coste de transporte es de 39 €/hora y la distancia a la planta de Moncada i Reixac (la más cercana de las que actualmente están en funcionamiento) sería de unos 50 km, el coste por año sería de 4.056 €/año.

Finalmente, se ha de añadir la diferencia del coste entre el tratamiento actual de los pañales y el tratamiento mecánico-biológico. Para los municipios con recogida selectiva puerta a puerta de Cataluña, el coste actual de tratamiento de los pañales sería alrededor de 120.000 €/año y el coste de tratamiento mecánico-biológico sería de unos 130.000 €/año (ver tabla 19). Para la Mancomunitat La Plana, el coste de deposición en vertedero de los pañales de un solo uso se estima en 4.945 €/año, incluyendo el canon de deposición, mientras que el coste del tratamiento mecánico-biológico sería de 5.667 €/año.

Tabla 19. Diferencia entre los costes estimados de tratamiento actuales y el sistema de tratamiento propuesto para los municipios con recogida selectiva puerta a puerta de Cataluña

	Sistemas de tratamiento actuales			Total
	Vertedero	Incineración	Tratamiento mecánico-biológico	
Toneladas de pañales tratadas	2.350	487	29	2.866
Coste de tratamiento	70.504	19.489-24.361	1.314	91.307-96.179

²⁷ Para la estimación de esta velocidad media se han tenido en cuenta, además del tiempo de transporte desde el punto de origen a la planta de tratamiento, el tiempo de carga y descarga y el tiempo de entrada y salida de los vehículos del garaje.

Canon de residuos	23.501	2.436	Canon y retorno incluidos en el coste de tratamiento	25.937
Total				117.244-122.116
Sistema de tratamiento propuesto				
	Vertedero	Incineración	Tratamiento mecánico-biológico	Total
Toneladas de pañales tratadas	0	0	2.866	2.866
Coste de tratamiento	0	0	131.378	131.378
Canon de residuos	0	0	Canon y retorno incluidos en el coste de tratamiento	0
Total	0	0		131.378
Diferencia				14.134-9262

Nota: coste de tratamiento calculado en base a los costes unitarios publicados en el PROGEMIC 2007-2012. (Ver tabla 11).

Fuente: elaboración propia.

Con los datos anteriores se puede calcular la diferencia de coste entre la recogida y el tratamiento actual de los pañales de un solo uso y la gestión propuesta (resultante del mayor coste de la recogida separada de los pañales en los municipios puerta a puerta, su transporte a plantas de tratamiento y la diferencia entre el tratamiento actual y el tratamiento mecánico-biológico). Para la Mancomunitat La Plana la separación de pañales de un solo uso y su transporte y tratamiento en plantas de tratamiento mecánico-biológico supondría un incremento del coste de entre 6.083 y 8.186 €/año, mientras que para el conjunto de Cataluña el aumento sería de entre 590.858 €/año y 685.719 €/año.

6.4.2. En el marco del desarrollo del PROGEMIC 2007-2012

El PROGEMIC 2007-2012 prevé que en el año 2012 se haya acabado la construcción de veinticinco nuevas plantas de tratamiento mecánico-biológico que junto a las cuatro actuales tengan capacidad para tratar los residuos de la fracción resto de todos los municipios de Cataluña. En este escenario, los pañales de un

solo uso serían tratados junto con la fracción resto, tanto en los municipios con recogida puerta a puerta (se hayan recogido o no selectivamente) como en el resto de municipios.

La diferencia del coste entre la gestión actual de los pañales de un solo uso y su gestión en el escenario propuesto por el PROGEMIC se debería al mayor coste que supone su tratamiento en las plantas de TMB respecto a los actuales tratamientos finalistas. Se estima que la recogida de los pañales tendría aproximadamente el mismo coste, ya que el número y la distribución de las instalaciones de tratamiento mecánico-biológico previstas y el número y la distribución de los vertederos coinciden en un 75%. En la tabla 20 y en la tabla 21 se muestran los costes estimados para Cataluña y para la Mancomunitat La Plana.

Tabla 20. Diferencia entre los costes actuales y a medio plazo del tratamiento de pañales en Cataluña

	Actual	PROGEMIC	Diferencia
Toneladas de pañales (t/año)	57.433	57.433	
Coste de tratamiento (€/año)	1.918.488- 2.052.192	2.933.655	
Canon de residuos (€/año)	468.454	Canon y retorno incluidos en el coste de tratamiento	
Coste total (€/año)	2.386.942- 2.520.646	2.933.655	546.713-413.009

Nota: se han utilizado los costes unitarios de tratamiento para el 2012 previstos en el Anejo 9 del PROGEMIC 2007-2012.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. Diferencia entre los costes actuales y a medio plazo del tratamiento de pañales en la Mancomunitat La Plana

	Actual	PROGEMIC	Diferencia
Toneladas de pañales (t/año)	124	124	
Coste de tratamiento (€/año)	3.709	6.314	
Canon de residuos (€/año)	1.236	Canon y retorno incluidos en el coste de tratamiento	
Coste total (€/año)	4.945	6.314	1.370

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, una vez implantado el PROGEMIC, la recogida y el tratamiento de pañales de un solo uso tendría un coste estimado entre 3.118.652 y 7.082.866 €/año [suma de los costes de tratamiento (tabla 20) y de los costes de recogida y transporte (tabla 7, tabla 9 y tabla 10) para toda Cataluña, es decir, entre un 6,19 y un 21,26% más que el coste actual.

6.5. Introducción de un sistema integrado de gestión para los pañales de un solo uso

La gestión de los residuos mediante sistemas integrados de gestión (SIG) se introdujo en España con la Ley 11/1997, de 24 de abril, de envases y residuos de envases, que supuso la trasposición de la Directiva 94/62/CE, relativa a los envases y residuos de envases. Posteriormente se han aprobado otras normas de rango estatal o europeo que obligan a los productores de ciertos productos (como por ejemplo RAEE, fármacos, neumáticos, pilas o vehículos) a adherirse a un SIG o a autogestionar los residuos generados. Esta posibilidad se recoge en la Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos, que en el artículo 1.2 prevé que «El Gobierno podrá establecer normas para los diferentes tipos de residuos, en las que se fijarán disposiciones particulares relativas a su producción y gestión». Y posteriormente, en los artículos 7.1 y 8 establece:

- Art. 7.1: «Sin perjuicio de las normas adicionales de protección que, en su caso, dicten las Comunidades Autónomas, el productor, importador, o adquirente intracomunitario, agente o intermediario, o cualquier otra persona responsable de la puesta en el mercado de productos que con su uso se conviertan en residuo, podrá ser obligado de acuerdo con las disposiciones que reglamentariamente apruebe el Gobierno a: [...] b) Hacerse cargo directamente de la gestión de los residuos derivados de los productos, o participar en un sistema organizado de gestión de dichos residuos, o contribuir económicamente a los sistemas públicos de gestión de residuos, en medida tal que se cubran los costos atribuibles a la gestión de los mismos».

- Art. 8: «Para el cumplimiento de todas o alguna de las obligaciones previstas en el apartado 1 del artículo anterior, los responsables de la puesta en el mercado de productos que con su uso se conviertan en residuos podrán organizar sistemas propios de gestión mediante la celebración de acuerdos voluntarios aprobados o autorizados por las administraciones competentes, o mediante convenios de colaboración

con éstas».

En cuanto a la normativa autonómica catalana, la Ley 6/1993, de 15 de julio, reguladora de los residuos, establece en su artículo 5.1 que «Mediante disposición reglamentaria se ha de regular la gestión de categorías determinadas de residuos, cuya naturaleza, características o su especial problemática y la necesaria adaptación al progreso científico y técnico lo exijan».

En el caso de los pañales de un solo uso, la definición de «producto que con su uso se convierte en residuo» (art. 7.1 de la Ley 10/1998) se ajustaría perfectamente a las características de objeto que permite al Gobierno estatal habilitar las consecuentes medidas. Por tanto, según la normativa, los productores y comercializadores de pañales de un solo uso podrían ser obligados a participar en un sistema integral de gestión. En este ámbito, a diferencia de los envases u otros productos, ésta sería la mejor solución, dado que las otras dos opciones que da la Ley (gestión de los residuos por parte de los fabricantes o participación en sistemas de depósito, devolución y retorno) son inviables en la práctica para los pañales de un solo uso.

El SIG se tendría que hacer cargo de los costes de recogida y tratamiento de los residuos en plantas de tratamiento mecánico-biológico. Los fabricantes o responsables de la primera puesta en el mercado de los pañales tendrían que adherirse al SIG, tanto si son fabricantes españoles como empresas extranjeras.

En el apartado 6.4.2 se ha visto que el coste de la recogida y tratamiento de los pañales en plantas de tratamiento mecánico-biológico en el marco del PROGEMIC 2007-2012 estaría entre 3.118.652 y 7.082.866 €, que sería aproximadamente entre 546.713 y 413.009 € más que el coste actual de recogida y tratamiento finalista (vertedero o incineradora). En la tabla siguiente se pueden observar los costes unitarios y totales de gestión que tendrían que asumir los SIG:

Tabla 22. Costes totales, unitarios y por tonelada de la recogida y tratamiento de pañales actualmente, con la implantación del PROGEMIC y diferencia entre los dos escenarios

Unidades	Coste actual	Coste en el marco del PROGEMIC
Coste total	2.571.939-6.669.857	3.811.652-7.082.866
Coste unitario	0,0095-0,0246	0,0115-0,0261
Coste/tonelada	45-116	54-123

Fuente: elaboración propia.

La aportación por unidad que tendrían que hacer los fabricantes para cubrir los costes de recogida y tratamiento de los pañales cuando se desarrolle el PROGREMIC estaría entre los 0,0115 y 0,0261 € por pañal puesto en el mercado.

La obligación de participar en un SIG implicaría la internalización de los costes de la gestión de los residuos por parte de los fabricantes y muy probablemente el aumento de precio de los pañales de un solo uso. Actualmente estos costes se trasladan al conjunto de la sociedad, ya que la gestión de los residuos generados por el uso de los pañales es asumida por la Administración pública.

Un aumento del precio de los pañales de un solo uso motivado por la internalización de los costes ambientales podría beneficiar el uso de pañales reutilizables. También podría favorecer la investigación y la producción de pañales más fácilmente reciclables, particularmente si se estableciera la aportación al SIG de diferentes cantidades en función de las características ambientales de las unidades puestas en el mercado.

Finalmente, la introducción de un SIG para los pañales de un solo uso tendría también un valor como medio de concienciación de toda la cadena productiva y de comercialización del producto, dando relevancia a los residuos generados al final de su vida útil e introduciendo esta variable en el proceso.

7. EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL MODELO DE GESTIÓN PROPUESTO

En este apartado se evalúan los posibles efectos del modelo de gestión de pañales de un solo uso descritos en el capítulo anterior, tanto sobre las instalaciones de tratamiento previstas como sobre el medio ambiente.

7.1. Estimación del potencial de estabilización y de la incidencia en las plantas de tratamiento

El modelo de gestión propuesto no persigue la recuperación de los pañales, sino un tratamiento mecánico-biológico que garantice su estabilización. Según los escenarios descritos en el capítulo anterior (sistema de recogida y tratamiento actual o sistema previsto en el PROGREMIC), se puede estimar el potencial de pañales de un solo uso que podrían ser estabilizados.

En primer lugar, para el sistema de recogida y tratamiento propuesto considerando las instalaciones existentes respecto a la situación actual, se estabilizarían los pañales generados y recogidos selectivamente en municipios con recogida puerta a puerta. En la tabla 23 se presentan las estimaciones para Cataluña y para la Mancomunitat La Plana:

Tabla 23. Resumen de generación de pañales en la Mancomunitat La Plana y en los municipios con recogida puerta a puerta de Cataluña

	Mancomunitat La Plana	Cataluña
Población en municipios PaP	14.665	340.000
Niños con pañales en municipios PaP	259	6.015
Generación de pañales por niño (kg/año)		476,5
Generación total de pañales (t/año)	124	2.866

Fuente: elaboración propia.

Como se ha visto en el apartado 6.4.1, los costes de transporte de los pañales en plantas de tratamiento mecánico-biológico serían elevados en caso de que los municipios de origen estuvieran alejados del Área Metropolitana de Barcelona, donde actualmente están las plantas de tratamiento. Además, el impacto ambiental asociado a este transporte sería también considerable. Los municipios con recogida puerta a puerta que están a menos de 50 km de estas plantas tienen una población total de 160.000 personas, lo que significa una generación anual de pañales estimada de 1.349 toneladas.

Por otro lado, se ha calculado la cantidad total de pañales que se podrían estabilizar en el momento en que se haya desplegado el PROGEMIC 2007-2012, en el que tanto los pañales recogidos con el sistema puerta a puerta como con el resto de sistemas de recogida se llevarán a tratamiento mecánico-biológico. Los pañales tratados representarían unas 57.400 toneladas anuales, es decir, el 1,5% del total de residuos generados en Cataluña (ver apartado 3.1).

Sin embargo, se ha de tener en cuenta que, según los datos de composición de los pañales expuestos en el apartado 3.1, el 12,6% de los pañales tratados no se podrían estabilizar, ya que se trata de materiales no orgánicos que tendrían como destino final el vertedero o la incineradora.

Por lo que respecta a la incidencia sobre las plantas de tratamiento, se considera que la introducción de pañales de un solo uso juntamente con la fracción resto no tendría efectos sobre las plantas actuales de tratamiento, en primer lugar, por el bajo volumen que representan estos residuos en comparación con el volumen total

tratado y, en segundo lugar, porque la cantidad de impropios que presentan es muy inferior a la de la fracción resto que entra en los ecoparcs, donde la materia orgánica es un 30%-40% del total²⁸. Los mecanismos de separación de impropios de los ecoparcs están preparados para funcionar con materiales de estas características, por lo que la adición de pañales en concentraciones más elevadas de las habituales²⁹ no tendría que suponer ningún impedimento.

7.2. Estimación de las mejoras ambientales alcanzables

En el capítulo 2 se ha visto cómo las principales problemáticas ambientales derivadas de la utilización de pañales de un solo uso son las asociadas a su fabricación y a su tratamiento.

El desarrollo de las propuestas descritas en el capítulo 6 incidiría principalmente en los impactos generados en el tratamiento de los pañales. Se escapa del alcance de este trabajo el análisis en detalle del impacto ambiental que se evitaría mediante las mejoras que se han propuesto, ya que requeriría el uso de técnicas complejas como el análisis del ciclo de vida. No obstante, una primera aproximación a las mejoras que podrían lograrse sería:

- En primer lugar, se evitaría la incineración de unas 13.370 toneladas de pañales al año cuando todos los pañales generados se llevaran a plantas de tratamiento mecánico-biológico. Esto evitaría la emisión de gases de efecto invernadero y de otras posibles sustancias más problemáticas derivadas de la combustión de componentes orgánicos y polímeros presentes en los pañales.
- Se evitaría también el vertido de 40.160 toneladas al año de pañales no estabilizados para toda Cataluña. Esto comportaría evitar problemas como la emisión de gases de efecto invernadero, malos olores, lixiviados, etc.
- En caso de que las plantas de tratamiento mecánico-biológico estuvieran más alejadas de los puntos de generación que las actuales instalaciones de disposición finalista, la reducción de emisiones sería menor.
- Se generarían unas 7.232 toneladas al año de rechazo que

²⁸ www.con.cat/web/emma/residus/instalacions_equipaments/Ecoparcs/Ecoparc_Mediterrani [11 de febrero de 2009].

²⁹ Se ha de tener en cuenta que actualmente ya se tratan en los ecoparcs los pañales recogidos junto con la fracción resto.

corresponderían a las partes no orgánicas de los pañales y se tendrían que llevar a vertedero o a incineradora.

8. CONCLUSIONES

Los pañales de un solo uso representan alrededor del 1,5% en peso del total de residuos generados en Cataluña y se calcula que su recogida y tratamiento tiene actualmente un coste anual entre 2.571.939 y 6.669.857 euros. Su heterogénea composición hace que hoy por hoy su destino final sea el vertedero o la incineradora, a pesar de que la materia orgánica en los pañales usados representa aproximadamente el 87% del peso total. En municipios con niveles altos de recogida selectiva, como es el caso de los municipios de la Mancomunitat La Plana o del resto de municipios con recogida selectiva puerta a puerta, los pañales de un solo uso representan uno de los materiales mayoritarios de la fracción resto.

En el marco de este proyecto se ha estudiado la posibilidad de tratar los pañales con lodos de depuradora o con la FORM recogida selectivamente como posible alternativa a los tratamientos finalistas. En pruebas a escala laboratorio, piloto y planta de compostaje, realizadas por el Grupo de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos de la Universidad Autónoma de Barcelona, se ha comprobado que la adición de pañales de un solo uso en porcentajes que se aproximen a su proporción real en la fracción resto no comporta ningún impedimento para el proceso de compostaje ni para la higienización del compost final. A pesar de que hay partes que no se degradan (elásticos, parte impermeable), parece que éstas podrían separarse de forma efectiva en el cribado. Sin embargo, se ha detectado un ligero aumento de la concentración de zinc en el compost final que podría deberse a su presencia en los excrementos infantiles y/o a la utilización de este elemento en las cremas para la piel de los bebés. También se ha de destacar que se desconoce el grado de degradación del SAP (polímeros superabsorbentes de elevado peso molecular y baja degradabilidad que se encuentran prácticamente en todos los pañales) y su comportamiento a largo plazo en el suelo. En este sentido, para poder aclarar estas incertidumbres se deberían desarrollar estudios de mayor alcance, como por ejemplo, estudios agronómicos e introducción de pañales en plantas de compostaje en períodos más largos.

Teniendo en cuenta estos resultados no se recomienda en este momento la recogida de los pañales de un solo uso con la FORM para su compostaje conjunto. Como alternativa, y con el objetivo de estabilizar la materia orgánica presente en los pañales, se propone la recogida segregada de los pañales en los municipios con recogida puerta a puerta (en los que de hecho ya se recogen por separado los días de recogida de materiales reciclables) y su transporte a plantas de tratamiento mecánico-biológico. Se calcula que esto implicaría un aumento de costes entre 590.858 y 685.719 euros anuales para toda Cataluña. En los casos

en que no haya una planta de tratamiento cercana o que el tratamiento diferenciado de la fracción pañales y la fracción resto implique una notable complicación en la logística, y también en los municipios con recogida en contenedores o neumática, se cree que los beneficios ambientales que podrían alcanzarse con esta medida no justificarían los costes de su implantación. A medio plazo, con el desarrollo del PROGEMIC 2007-2012 y del Plan territorial sectorial de infraestructuras de gestión de residuos municipales 2005-2012, toda la fracción resto será tratada en plantas de tratamiento mecánico-biológico, por lo que su recogida segregada no será necesaria. El tratamiento de la totalidad de pañales en plantas de tratamiento mecánico-biológico supondrá un aumento de costes entre 413.009 y 546.713 euros anuales respecto al coste actual de recogida y tratamiento finalista (vertedero o incineradora). Este incremento no sería sólo para la fracción pañales, sino que se produciría para cualquier cantidad de fracción resto que pasara de tener un tratamiento finalista a ser destinada a plantas de tratamiento mecánico-biológico.

Otras posibilidades que se podrían estudiar serían el compostaje de pañales con lodos de depuradora a escala real o la metanización de los pañales.

Por otro lado, se propone analizar el establecimiento de un sistema integrado de gestión en el que se integren los productores y comercializadores de pañales. La participación en un SIG implicaría la internalización de los costes de la gestión de los residuos por parte de los fabricantes, y con toda probabilidad, el aumento de precio de los pañales de un solo uso. Actualmente estos costes se trasladan al conjunto de la sociedad, y a que la gestión de los residuos generados por el uso de los pañales es asumida por la Administración pública. Se ha calculado que el importe que tendrían que abonar los productores y comercializadores de pañales para cubrir los gastos de su recogida y tratamiento estaría entre los 0,0115 y 0,0261 euros por unidad puesta en el mercado.

Las propuestas mencionadas contribuirían a reducir el impacto ambiental de los pañales de un solo uso al final de su ciclo de vida. Sin embargo, no se ha de olvidar que existen alternativas como los pañales reutilizables, que minimizan la generación de residuos y el consumo de recursos para su fabricación, o los pañales compostables, que pueden ser compostados con la FORM. Estas opciones precisan un análisis detallado y, dado su carácter aún muy incipiente en Cataluña, requieren el apoyo de la Administración en la fase inicial de su desarrollo.

REFERENCIAS

Agència de Residus de Catalunya. *Programa de gestió de residus municipals de Catalunya (PROGREMIC) 2007-2012*. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya. Consell de Direcció de l'ARC de 29 d'octubre de 2007.

Aumônier, S., Collins, M. *Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK*. Environment Agency, 2005.

Campbell, A., MacIntosh, N. *Forfar and Arneil's Textbook of Pediatrics*, 5a ed. Churchill Livingstone, 1998.

Conway, M., Anderson, W. A. «Sodium polyacrylates in Horticulture- Agrilizer Time Release Fertilizers». *Canadian Chemical News*, 52 (5). Mayo de 2000.

Cook, B. D., Bloom, P. R., Halbach, T. R. «Fate of a Polyacrylate Polymer during Composting of Simulated Municipal Solid Waste». *Journal of Environmental Quality* (1997), núm. 26, pp 618-625.

De Baere, L. *The DRANCO Process: a Dry Continuous System for Solid Organic Waste and Energy Crops*. Presentado en el Symposium on Anaerobic Dry Fermentation, IBBK/IBBCC Conference. Berlin, 21-22 de febrero de 2008.

Delfín, I., Durán, C. «Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por pleurotus». *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* (2003), núm. 1, p. 37-45.

Dirección General de Medio Ambiente. *Ejemplos de buenas prácticas de compostaje y recogida selectiva de residuos*. Comisión Europea, 2000.
<http://ec.europa.eu/environment/waste/publications/pdf/compost_es.pdf>
[Consulta :6 de febrero de 2009].

EDANA. *Sustainability Report: Baby diapers and incontinence products*. EDANA, 2005.

EDANA. *Sustainability Report 2007-2008. Absorbent Hygiene Products*. EDANA, 2008.
<http://www.edana.org/documents_sections/edana_sustainability/SusReport_LV_final.pdf> [Consulta: 6 de febrero de 2009].

Environment Agency. *Time to change? An Environment Agency study of parental*

habits in the use of disposable and reusable nappies. Environment Agency, 2004.

Espinosa, R. M., Delfín-Alcalá, I., Turpin, S., Contreras, J. L. «Kinetic Study of Batch Biodegradation of Diapers». *International Journal of Chemical Reactor Engineering* (2003), núm. 1, note S6.

Gellens, V., Boelens, J., Verstraete, W. «Source separation, selective collection and in reactor digestions biowaste». *Antonie van Leeuwenhoek*, 67(1) 79-89. 1995. *Antonie van Leeuwenhoek*. Vol. 67 (1995), núm. 1, pp. 79-89.

Gerba, C., Huber, M. S., Naranjo, J., Rose, J. B., Bradford, S. *Waste Management & Research* (1995), núm. 13, pp. 315-324.

Goellner, M.H. *et al.* «Urination during the first three years of life». *Nephron* (1981), núm. 28, pp. 174-178.

Lenter, C. «Geigy Scientific Tables, Volume 1: Units of Measurement, Body Fluids, Composition of Body, Nutrition». *International Medical and Pharmaceutical Information*. Ciba-Geigy Limited, 1981.

Light, K. L., Chirmuley, D. G., Ham, R. K. «A laboratory study of the compaction characteristics of disposable diapers in a landfill». *Resources, Conservation and Recycling* (1995), núm. 13, pp. 89-96.

MacLeod, J. A., Sanderson, J. B., Douglas, B., Henry, R. «Use of municipal compost in potato rotation». *National Agricultural Compost Trials-Results of Year III*. Composting Council of Canada, 1998.

Nava, L.E., Espinosa, V.R.M. *Tratamiento de pañales desechables empleando un cultivo de hongos comestibles*. Memorias del VIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Capítulo V. Desechos sólidos, s/pp. Cocoyoc Morelos, Méjico, 1993.

Stegmann, R., Lotter, S., King, L., Hopping, W.D. «Fate of an absorbent gelling material for hygiene paper products in landfill and composting». *Waste Management & Research* (1993), núm. 11, pp. 155-170.

Syndicat Mixte de la Région de Bapaume (SMRB). *Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public d'élimination des déchets*. SMRB, 2006.

ANEJOS

Anejo 1. Informe técnico sobre el compostaje de pañales procedentes de recogida puerta a puerta a la Mancomunitat la Plana (Parte 1: escala laboratorio)

Grupo de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos.
Departamento de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Barcelona.

Propuesta de trabajo

El estudio se compone de una parte experimental, que consta de experimentos de compostaje a pequeña escala con pañales y otros residuos, pruebas a escala piloto con el mejor o mejores residuos complementarios para los pañales y una prueba final a escala real en las mejores condiciones obtenidas en las pruebas anteriores.

El objeto de este informe preliminar son las pruebas iniciales a pequeña escala, en las que los pañales de un solo uso de bebés se compostaron, previa trituración, junto con dos residuos complementarios: FORM de la Mancomunitat La Plana y lodos de depuradora.

Montaje y seguimiento experimental

Como sistema de compostaje, se utilizaron vasos Dewar de 4.5 litros de capacidad, equipados con aireación temporizada y monitoraje continuo de temperatura y puntual de la concentración de oxígeno (para comprobar que no hubieran limitaciones de oxígeno en la mezcla). Las mezclas utilizadas en ambos experimentos fueron: FORM como residuo base y un porcentaje en peso de pañales del 0% (experimento blanco o control), 3%, 6% y 9%, y lodos de depuradora como residuo base y un porcentaje en peso de pañales del 0% (experimento blanco o control), 5%, 10% y 15%. Las mezclas resultantes se complementaron en todos los casos con una proporción en volumen 1:1 de material estructurante (poda triturada de la Mancomunitat La Plana), de acuerdo con la experiencia del Grupo de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos de la UAB. Los experimentos se hicieron entre el 1 de julio y el 10 de agosto del 2007.

Las muestras iniciales y finales de cada experimento se analizaron para determinar los siguientes parámetros: índice respirométrico estático (IRE), porcentaje de humedad y porcentaje de materia orgánica. También se fotografiaron estas muestras para observar la presencia de los pañales en el material de base.

En la imagen 1 se puede observar el aspecto del montaje experimental y en la imagen 2, el aspecto de los pañales triturados:



Imagen 1. Montaje experimental



Imagen 2. Pañales triturados

Resultados

Cocompostaje con FORM

En la imagen 3 se puede observar el aspecto de las diferentes muestras de FORM con un porcentaje creciente de pañales, que tienen un impacto visual importante.

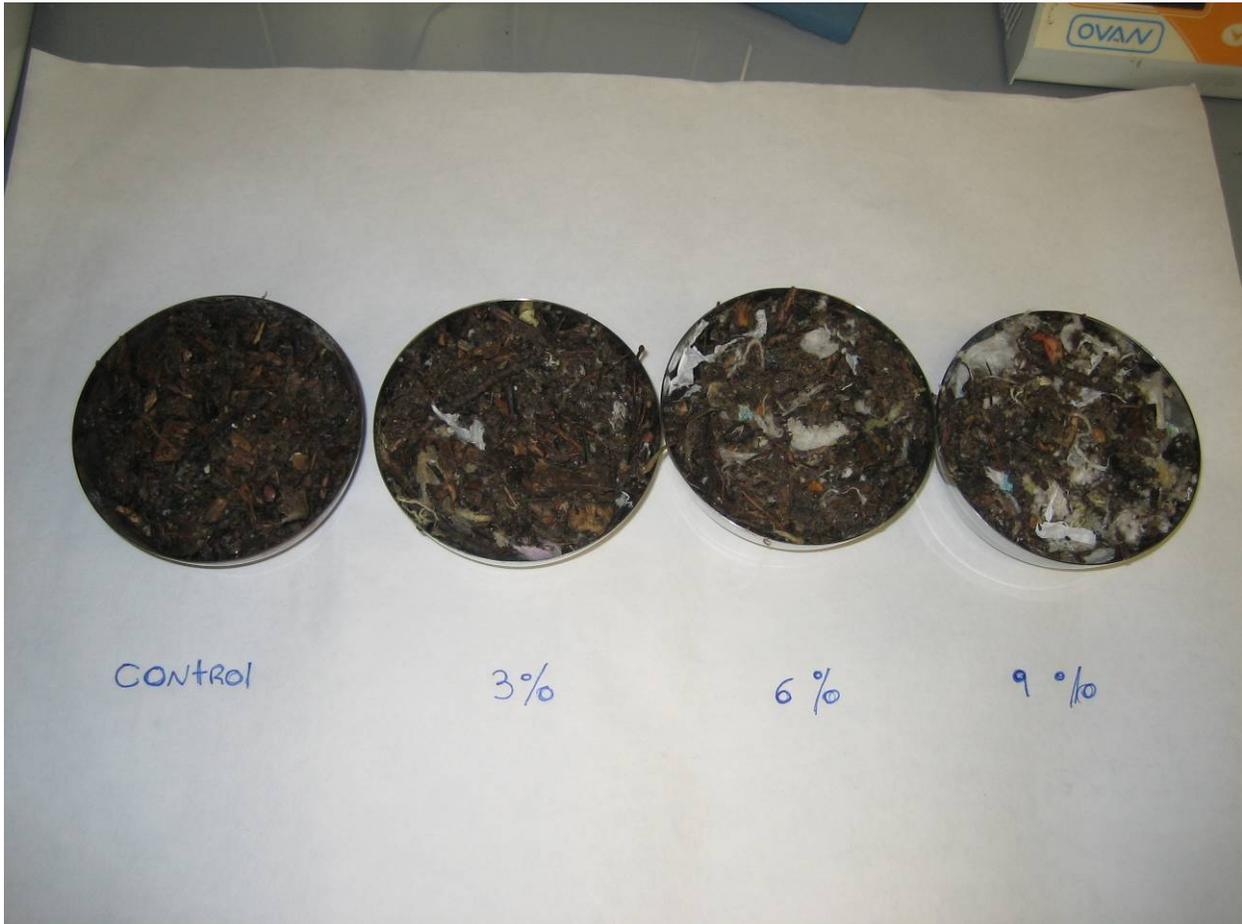


Imagen 3. Mezclas iniciales

Por otro lado, en la figura 1 se muestran las evoluciones de temperatura de las diferentes mezclas en el proceso de compostaje. Como puede observarse, la mayoría de mezclas alcanzaron el rango termófilo de temperaturas propio del proceso de compostaje, con la excepción del caso del 9%, posiblemente porque en el caso de esta mezcla la porosidad no era demasiado elevada. También se ha de señalar que en esta prueba el experimento control (con un 0% de pañales) se tuvo que hacer en un vaso de Dewar de capacidad superior (10 litros), lo que explica la larga duración de la etapa termófila. En cualquier caso, se puede concluir que mezclas de pañales con FORM en proporciones medias-bajas no tienen un efecto significativo en el alcance de las condiciones termófilas necesarias para la higienización del material (por encima de 55 °C).

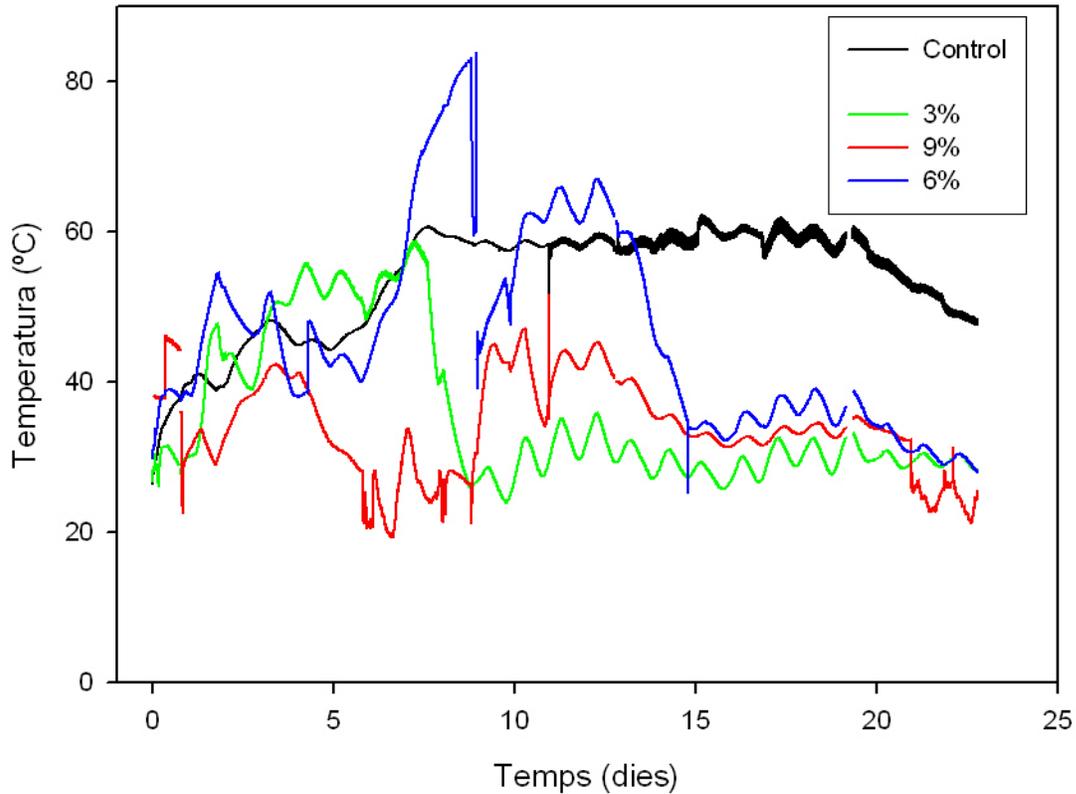


Figura 1. Curvas de temperatura en el proceso de cocompostaje de FORM y pañales en diferentes proporciones.

En la tabla 1 se recogen los resultados analíticos de estos experimentos.

Tabla 1. Resumen analítico del cocompostaje de FORM con pañales (comparativa entre muestras iniciales y finales)

Material	Humedad (%)	Materia orgánica (%)	IRE (g O ₂ /kg MO h)
FORM inicial	57,8	81,9	4,5 ± 0,3
FORM + 0% pañales (control)	68,6	79,9	2,0 ± 0,1
FORM + 3% pañales	65,3	80,3	0,8 ± 0,1
FORM + 6% pañales	65,0	78,2	1,1 ± 0,1
FORM + 9% pañales	62,8	77,1	1,6 ± 0,1

En cualquier caso, dado que se trata de experimentos a muy pequeña escala, se puede constatar un nivel de estabilización adecuado y bastante significativo del

material, que de nuevo es más elevados para los experimentos con porcentajes medios-bajos de pañales, tal como puede verse en el índice respirométrico (IRE). El valor relativamente alto del IRE en la muestra control puede atribuirse de nuevo a una mayor cantidad de material y al hecho de que la etapa termófila aún no había finalizado completamente en el momento de decidir la finalización de los experimentos.

Por otro lado, el incremento de humedad es típico del compostaje de FORM en vasos Dewar herméticamente cerrados.

Por último, y dado que uno de los objetivos del trabajo es comprobar el impacto visual de los pañales en el compost final, se muestran diversas imágenes de los materiales finales obtenidos (tabla 2).

Tabla 2. Imágenes de los materiales finales

Material	Detalle general	Ampliación
FORM+0%		
FORM+3%		



Como se puede observar en las imágenes anteriores, la utilización de porcentajes elevados de pañales provoca un impacto visual importante en la apariencia del compost, siendo evidente la presencia de fibras que no se han descompuesto. No obstante, se ha de tener en cuenta que se trata de un proceso de compostaje en una situación estática y con poco material, hecho que se pretende estudiar en las pruebas a escala piloto y real.

Cocompostaje con lodos de depuradora

En las imágenes 4 y 5 se puede observar el aspecto de las diferentes muestras de lodos de depuradora con un porcentaje creciente de pañales. Se ha de señalar que en este caso se decidió trabajar con porcentajes de pañales superiores, ya que no se tenía ningún valor de referencia (a diferencia del valor del 3% que se asumió para la FORM según la Mancomunitat La Plana). A pesar de ello, como se puede ver en las imágenes siguientes, el nivel de integración entre pañales, lodos y agente estructurante fue muy bueno, de manera que el impacto visual fue inferior que en el caso de la FORM.



Imagen 4: Mezclas iniciales



Imagen 5: Detalle de la mezcla inicial de lodos con un 15% de pañales

Por otro lado, la figura 2 muestra las evoluciones de temperatura en el proceso de compostaje de las diferentes mezclas. Como puede observarse, la totalidad de las mezclas alcanzaron el rango termófilo de temperaturas propio del proceso de compostaje, con evoluciones prácticamente paralelas. El perfil de temperatura es, además, típico del compostaje de lodos a escala de laboratorio, con un pico pronunciado de alta temperatura y de poca duración.

En cualquier caso, se puede concluir que las mezclas de pañales con lodos de depuradora se pueden compostar correctamente en todas las proporciones probadas.

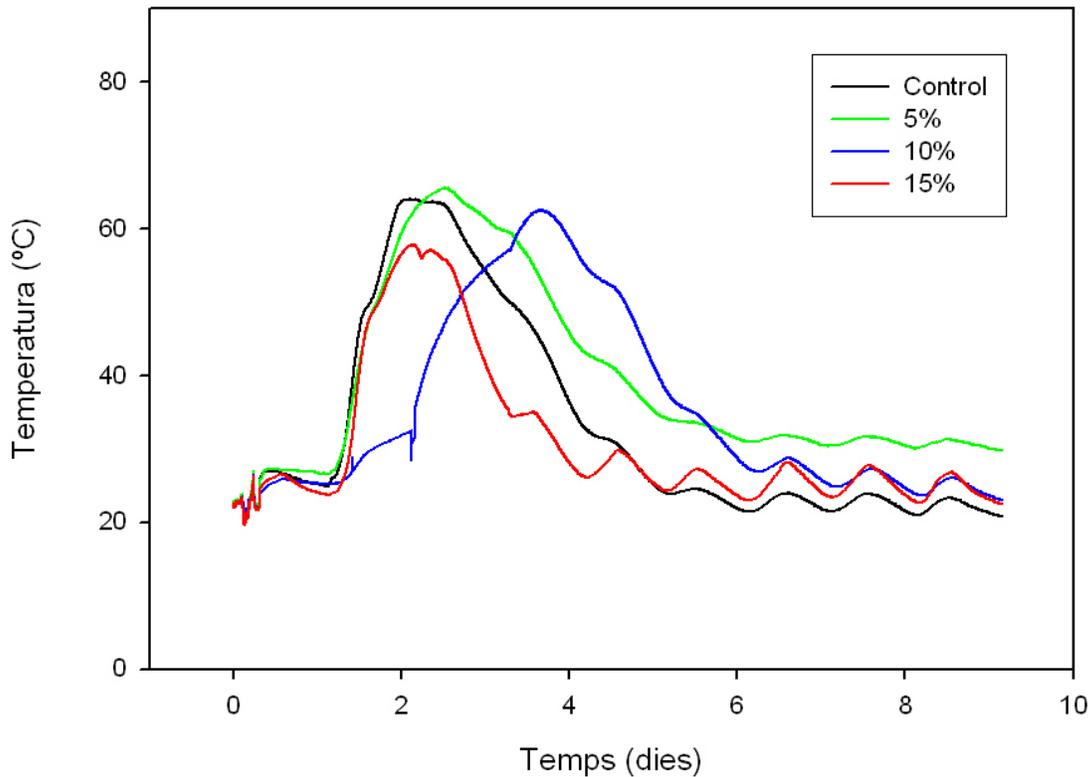


Figura 2: Curvas de temperatura en el proceso de cocompostaje de lodos de depuradora y pañales en diferentes proporciones

En la tabla 3 se recogen los resultados analíticos de estos experimentos.

Tabla 3. Resumen analítico del cocompostaje de lodos de depuradora con pañales (comparativa entre muestras iniciales y finales)

Material	Humedad (%)	Materia orgánica (%)	IRE (g O ₂ /Kg MO h)
Lodos inicial	63,8	75,6	1,6 ± 0,1
Lodos + 0% pañales (control)	61,2	72,4	0,85 ± 0,01
Lodos + 5% pañales	62,2	74,4	0,80 ± 0,07

Lodos + 10% pañales	63,1	65,5	0,74 ± 0,05
Lodos + 15% pañales	65,5	74,4	1,0 ± 0,1

De nuevo puede constatarse un nivel de estabilización adecuado del material, que es parecido para todas las proporciones de pañales. El valor relativamente bajo del índice respirométrico en la muestra inicial de lodos (menor que en el de la FORM) es también típico de los lodos de depuradora.

Por último, se muestran diversas imágenes de los materiales finales obtenidos (tabla 4).

Tabla 4. Imágenes de los materiales finales

Material	Detalle general	Ampliación
Lodos + 0%		
Lodos + 5%		



Como puede observarse en las imágenes anteriores, incluso los porcentajes superiores de pañales tienen un impacto visual menos importante en la apariencia del compost que en el caso de la FORM, aunque aún hay evidencias de fibras que no se han descompuesto.

Conclusiones preliminares

De los resultados obtenidos, puede concluirse que:

- El compostaje de FORM con pañales en cantidades medias-bajas y el compostaje de lodos de depuradora con pañales en proporciones relativamente altas se desarrolla correctamente y los pañales tienen un efecto significativo en el proceso de compostaje.
- El nivel de estabilización de los materiales finales en presencia de pañales es adecuado. La apariencia visual de los pañales en el material final es mayor en el caso de la FORM que en el de los lodos.
- Dadas las limitaciones del sistema utilizado, se recomienda llevar a cabo experimentos a escala piloto (100 litros de volumen) con FORM y

con lodos y usando proporciones de pañales relativamente altas (6% en el caso de la FORM y 10% en el de lodos). Estos experimentos serán objeto de las partes siguientes del estudio.

En Bellaterra, a 28 de agosto de 2007

María Luz Ruggieri
Antoni Sánchez Ferrer

Anejo 2. Informe técnico sobre el compostaje de pañales procedentes de recogida puerta a puerta a la Mancomunitat la Plana (Parte 2: escala piloto)

Grupo de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos.
Departamento de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Barcelona.

Propuesta de trabajo

El estudio se compone de una parte experimental, que consta de experimentos de compostaje a pequeña escala con pañales y otros residuos, pruebas a escala piloto con el mejor o mejores residuos complementarios para los pañales y una prueba final a escala real en las mejores condiciones obtenidas en las pruebas anteriores.

En un informe preliminar presentado el 28 de agosto de 2007 se presentaron los resultados a pequeña escala del proceso de compostaje de pañales con FORM y con lodos de depuradora; y una de las conclusiones fue que era necesario hacer pruebas a una escala más representativa (escala piloto, que ya simula unas condiciones cercanas a las reales, sobretodo en relación a la temperatura alcanzada) del cocompostaje de pañales con estos dos residuos y en unas proporciones relativamente altas (6% en el caso de la FORM y 10% en el caso de los lodos). El objeto de este segundo informe técnico preliminar es la presentación de los resultados obtenidos a escala piloto.

Montaje y seguimiento experimental

Como sistema de compostaje se utilizó un compostador de 60 litros de capacidad con monitoraje continuo de la temperatura, los gases de salida y la porosidad del material. Las mezclas utilizadas en ambos experimentos fueron: FORM como residuo base y un porcentaje en peso de pañales del 6%, y lodos de depuradora como residuo base y un porcentaje en peso de pañales del 10%. Las mezclas resultantes se complementaron en todos los casos con una proporción en volumen 1:2 (mezcla:estructurante) de material estructurante (poda triturada de la Mancomunitat La Plana), de acuerdo con la experiencia del Grupo de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos de la UAB. Los experimentos se realizaron durante el período de septiembre-noviembre de 2007.

Las muestras iniciales y finales de cada experimento se analizaron para determinar los siguientes parámetros: índice respirométrico estático (IRE), porcentaje de humedad y porcentaje de materia orgánica. También se fotografiaron estas muestras para observar la presencia de los pañales en el material de base.

En la imagen 1 se puede observar el aspecto del montaje experimental y en la imagen 2, el aspecto de los pañales triturados:

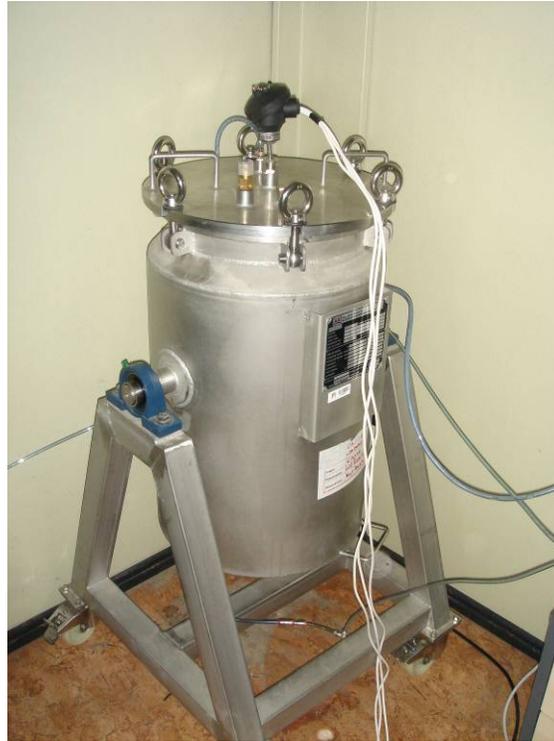


Imagen 1. Montaje experimental



Imagen 2. Pañales triturados

Resultados

Cocompostaje con lodos de depuradora

En la imagen 3 se puede observar el aspecto de la muestra de lodos con un porcentaje del 10% en peso de pañales, que tienen un importante impacto visual importante:



Imagen 3. Mezcla inicial de lodos con pañales

Por otro lado, en la figura 1 se muestran las evoluciones de temperatura, oxígeno, dióxido de carbono y caudal de aireación suministrado (que es una medida de las necesidades de oxígeno que tiene un material en condiciones aerobias) en el proceso de compostaje. Como puede observarse, el material alcanzó el rango termófilo de temperaturas propio del proceso de compostaje (que se considera por encima de los 50 °C), a pesar de que su duración fue muy corta. La experiencia del Grupo de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos de la UAB ha puesto de manifiesto que el comportamiento de los lodos de depuradora a escala piloto suele ser similar, con un período termófilo muy marcado y de corta duración al inicio del proceso y un período final de maduración de una extensión mucho más larga. Por tanto, en comparación con procesos de lodos solos, no se observan cambios significativos por la inclusión de los pañales. No obstante, se ha de tener en cuenta que la experiencia del Grupo en el compostaje de lodos de depuradora a

escala real demuestra que el período termófilo es mucho más largo, lo que podría favorecer la degradación de los pañales. Por lo que respecta a los datos sobre los gases emitidos, las concentraciones de oxígeno se situaron siempre por encima del 5%, lo que demuestra el predominio de las condiciones aerobias.

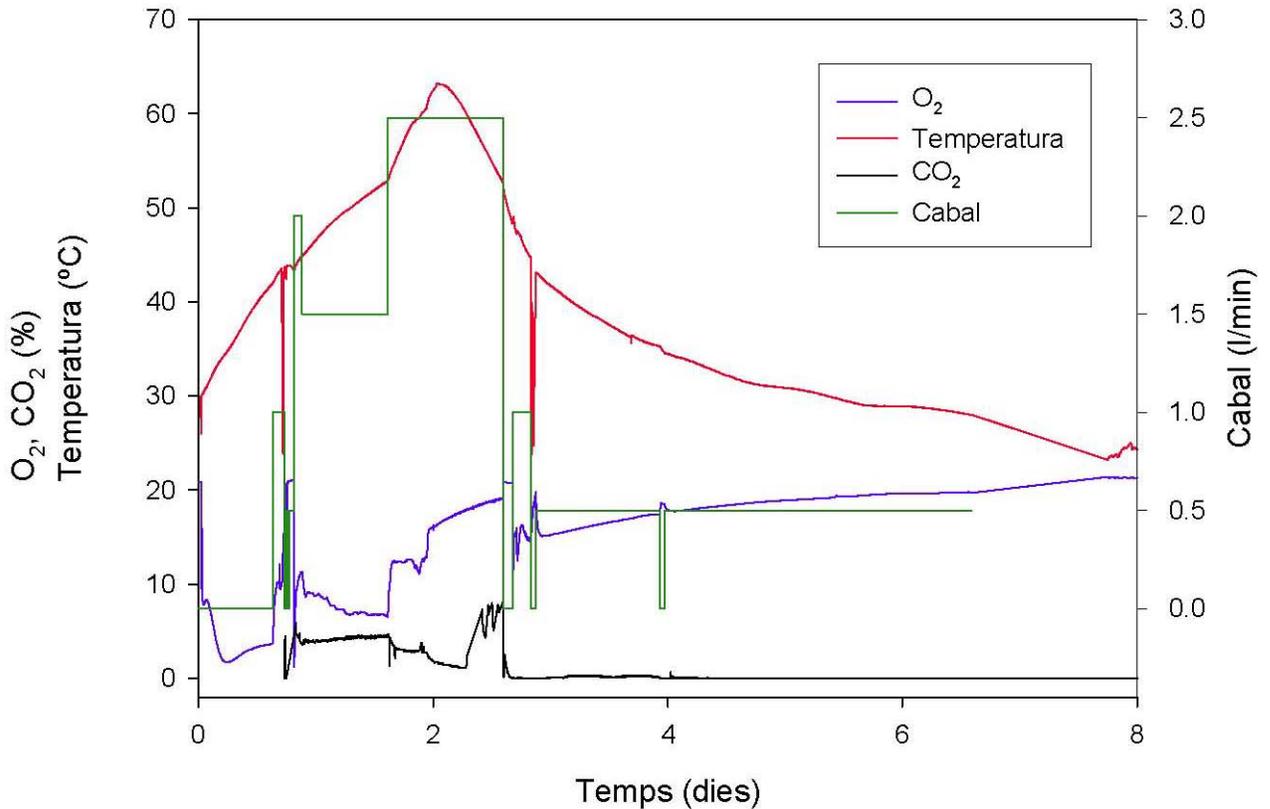


Figura 1. Evolución del proceso de cocompostaje de lodos y pañales

En la tabla 1 se recogen los resultados analíticos de este experimento:

Tabla 1. Resumen analítico del cocompostaje de lodos con pañales (comparativa entre muestra inicial y muestra final)

Material	Humedad (%)	Materia orgánica (%)	IRE (g O2/kg MO h)
Muestra inicial	69,0	60,1	1,1
Muestra final	70,1	54,1	0,9

En este caso, la estabilización del material (medida como IRE y como disminución del contenido en materia orgánica) ha sido muy baja, lo que puede ser debido a la corta duración del período termófilo.

Una variable que se estudió en el compostaje a escala piloto fue la evolución de la porosidad (medida como FAS: *Free Air Space*), ya que una de las limitaciones que

presenta el compostaje de lodos es, precisamente, una carencia en este parámetro, que es crítico para tener un proceso aerobio. En la tabla 2 se recoge la evolución de este parámetro.

Tabla 2. Evolución de la porosidad en el compostaje de lodos y pañales

Día de proceso	Porosidad (%)
0	0.49
1	0.38
3	0.38
4	0.35
7	0.24

Como puede observarse, existe una tendencia a perder porosidad a lo largo del proceso, típica del proceso de compostaje, que implica siempre una compactación del material. No obstante, los valores encontrados son significativamente más altos que en el compostaje de lodos solos, de manera que se puede considerar que los pañales han mejorado la porosidad del material.

Por otro lado, el ligero incremento de humedad es típico del proceso de compostaje en reactores herméticamente cerrados.

Por último, y dado que uno de los objetivos del trabajo es comprobar el impacto visual que suponen los pañales en el compost final, en la imagen 4 se muestran diversas imágenes del material final obtenido.



Imagen 4. Imágenes del material final

Como puede observarse en las imágenes anteriores, la utilización de elevados porcentajes de pañales provoca un impacto visual importante en la apariencia del compost, con evidencia de fibras de plástico que no se han descompuesto. No obstante, teniendo en cuenta que en el proceso a escala real se hace un cribado de este material, es probable que parte de estas fibras acaben eliminándose del compost. El problema asociado a este tipo de fibras plásticas se tendría que considerar en cada caso particular en función de si el material cribado se quisiera reciclar como agente estructurante de lodos frescos o se considerara rechazo de planta.

Cocompostaje con FORM

En la imagen 5 se puede observar el aspecto de la muestra de FORM con pañales. Como puede verse, el nivel de integración entre pañales, FORM y agente estructurante fue bastante bueno.



Imagen 5. Mezcla inicial de FORM y pañales.

A la vez, se incluyó en este experimento una muestra triturada de pañales

biodegradables (imagen 6) suministrados por la Agencia de Residuos de Cataluña, con el objetivo de observar a nivel cualitativo si experimentaban una degradación significativa. Estos pañales se trituraron igual que los pañales de un solo uso, confinados en una bolsa de plástico no biodegradable, y se insertaron en el centro del reactor.

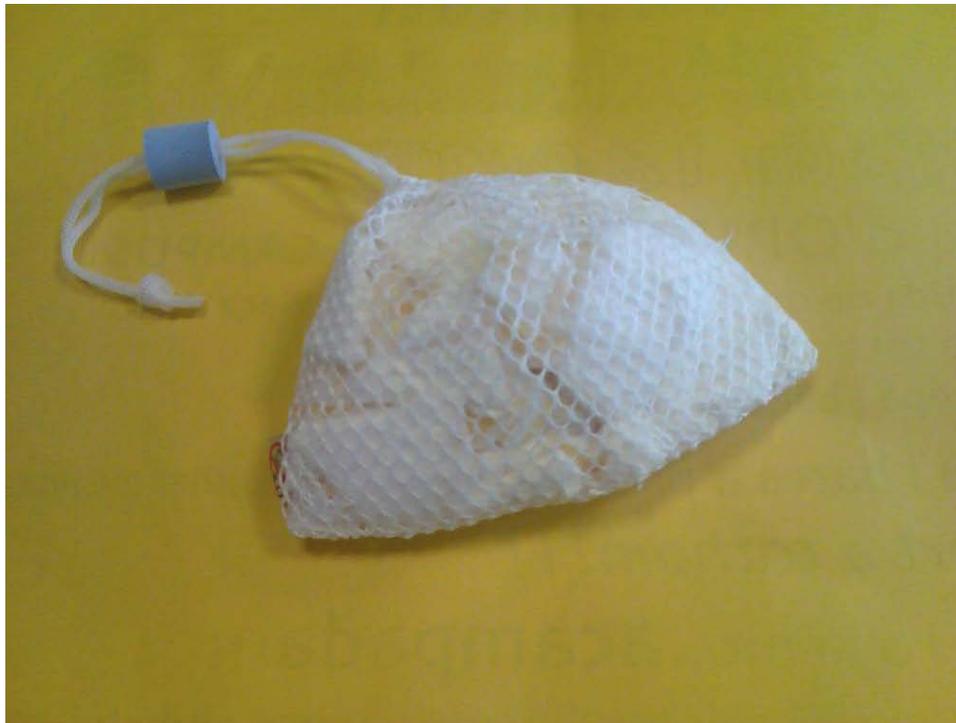


Imagen 6. Muestra de pañales biodegradables

En la figura 2 se muestran las evoluciones de temperatura y del resto de parámetros en el proceso de compostaje de la mezcla. En este experimento no se dispuso de la medida de CO₂.

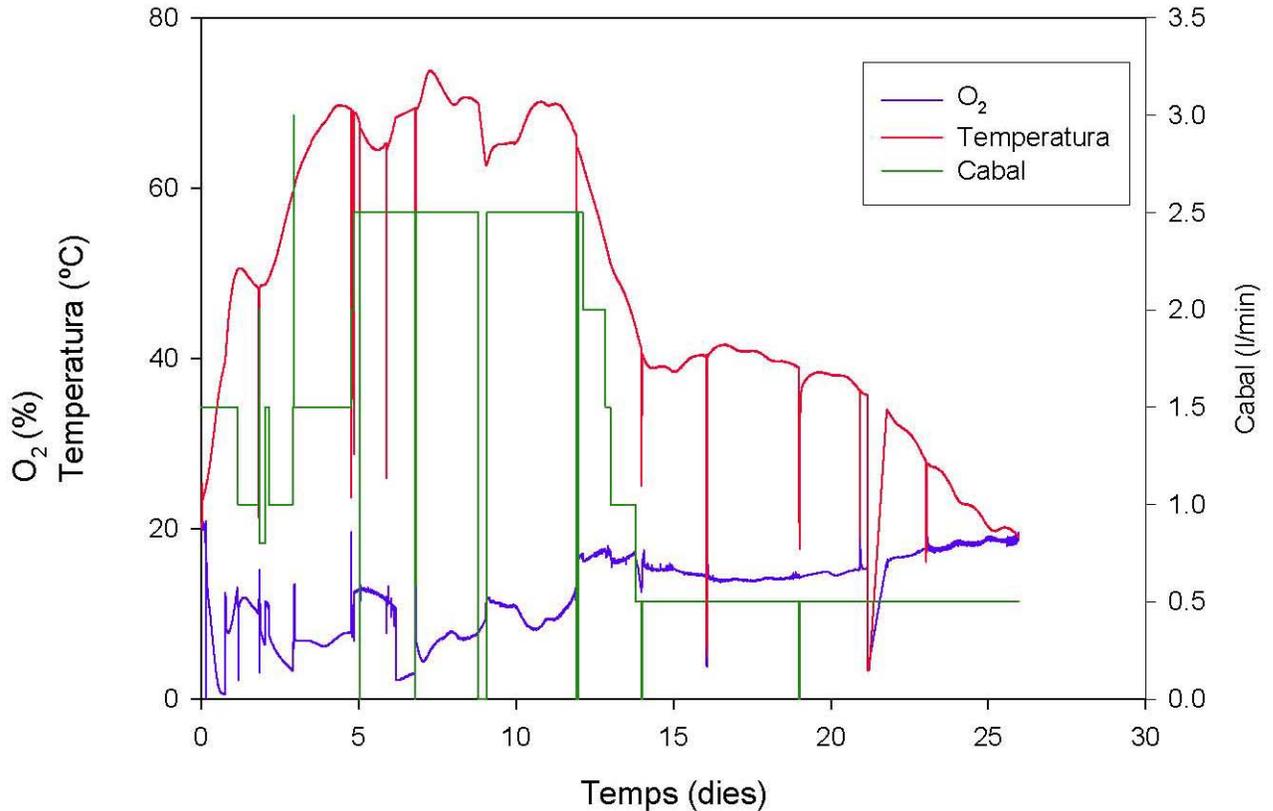


Figura 2: Evolución del proceso de cocompostaje de FORM y pañales.

En la tabla 3 se recogen los resultados analíticos de este experimento:

Tabla 3. Resumen analítico del cocompostaje de lodos con pañales (comparativa entre muestra inicial y muestra final)

Material	Humedad (%)	Materia orgánica (%)	IRE (g O ₂ /kg MO h)
Muestra inicial	62.8	91.7	3.9
Muestra final	72.8	79.3	1.6

En este caso, la porosidad se mantuvo siempre por encima del 30%.

Como puede observarse, el proceso de cocompostaje de FORM y pañales de un solo uso tuvo un comportamiento diferente del caso de los lodos de depuradora. En este caso, la mayor actividad y biodegradabilidad de la FORM provocó que el proceso de compostaje fuera más largo y que las temperaturas se mantuvieran

más tiempo en el rango termófilo. Desde este punto de vista, con las temperaturas alcanzadas puede asegurarse la higienización del material, un aspecto importante si se incluyen los pañales con la FORM.

Al mismo tiempo, también fueron muy superiores las necesidades de aireación para asegurar un nivel de oxígeno adecuado. Esto se tradujo en una mayor degradación de la materia orgánica, que se observa especialmente en la disminución del índice respirométrico. En general, puede considerarse que la FORM tiene un proceso de compostaje típico en condiciones de escala piloto y que los pañales no tienen ningún efecto negativo visible sobre él.

Por último, se muestran diversas imágenes del material final obtenido (imagen 7).



Vista general



Detalle del material



Detalle del material superabsorbente y fibras

Imagen 7. Imágenes del material final

Como puede verse en las imágenes, la degradación a nivel visual de los pañales con la FORM es significativa, aunque algunos componentes de los pañales (superabsorbente y ciertas fibras plásticas) se identifican claramente en el compost.

Respecto a los pañales biodegradables, éstos no sufrieron una degradación significativa, si bien se ha de tener en cuenta que no estuvieron en contacto directo con el resto del material (imagen 8). Al mismo tiempo, estos pañales presentaban unas partículas de material superabsorbentes de aspecto muy semejante a las encontradas en los pañales de un solo uso y que no mostraban una degradación visible.





Imagen 8. Imágenes del pañal biodegradable al final del proceso

Conclusiones preliminares

De los resultados obtenidos se puede concluir que:

- La aportación de pañales de un solo uso al compostaje de lodos o FORM no afecta negativamente ninguna de las variables medidas.
- En condiciones de trabajo a escala piloto, los pañales han contribuido a conservar la porosidad de los lodos, por tanto, en lodos sin aplicación agrícola (compostaje gris), podrían ser un buen cosustrato para regular este parámetro y el propio exceso de humedad de los lodos.
- Respecto a los dos residuos considerados, parece más adecuado utilizar los pañales como cosustrato para materiales más activos como la FORM, para que los pañales tengan una degradación e integración más visibles y puedan asegurarse las condiciones de higienización del material.
- En cualquier caso, hay partes de los pañales que no son biodegradables, pero que se integran correctamente con el material. Dado que no se conoce la composición exacta de los pañales, no queda claro si estas partes no degradadas tendrían una influencia destacable sobre el compost si éste estuviera destinado a una aplicación agrícola. No obstante, los datos que se tienen parecen indicar que no supondrían ningún problema más allá del

efecto visual. Sin embargo, sería necesario realizar pruebas de campo y una caracterización química completa para poder asegurar estos dos puntos.

- Se recomienda la realización de una prueba de compostaje de FORM y pañales a escala real (con un control de FORM), en la que además de los parámetros analizados hasta ahora, se propone hacer un análisis de microorganismos patógenos en el material final y la caracterización manual de éste para ver si los procesos de cribado a escala industrial son capaces de eliminar del compost final los materiales no degradados procedentes de los pañales.

En Bellaterra, a 25 de noviembre de 2007

María Luz Ruggieri
Antoni Sánchez Ferrer

Anejo 3. Informe técnico sobre el compostaje de pañales procedentes de recogida puerta a puerta a la Mancomunitat La Plana (Parte 3: escala real)

Grupo de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos.
Departamento de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Barcelona.

Propuesta de trabajo

El estudio se compone de una parte experimental, que consta de experimentos de compostaje a pequeña escala con pañales y otros residuos, pruebas a escala piloto con el mejor o mejores residuos complementarios para los pañales y una prueba final a escala real en las mejores condiciones obtenidas en las pruebas anteriores.

En dos informes preliminares se presentaron los resultados a pequeña escala del proceso de compostaje de pañales con FORM y con lodos de depuradora en diferentes proporciones y a una escala más representativa (escala piloto, que ya simula unas condiciones cercanas a las reales, sobretodo en relación a la temperatura alcanzada) del cocompostaje de pañales con estos dos residuos y en unas proporciones relativamente altas (6% en el caso de la FORM y 10% en el caso de los lodos).

El objeto de este tercer y último informe técnico preliminar es la presentación de los resultados obtenidos a escala real en la planta de compostaje de la Mancomunitat La Plana.

Sistema de compostaje

El sistema de compostaje utilizado fue el que la Mancomunitat La Plana efectúa habitualmente. Éste se basa en una primera fase de descomposición en un módulo estático aireado Agrotech y una segunda fase de descomposición en pilas volteadas (sin aireación forzada).

Dado que el objetivo de esta prueba era comparar el proceso de compostaje de FORM con y sin pañales, el procedimiento seguido fue el siguiente:

- Se parte de FORM libre de pañales (proveniente de recogida puerta a puerta).
- Se parte de pañales de un solo uso utilizados (en la Mancomunitat se recogen por separado).
- Se llena medio módulo de compostaje con FORM sin pañales (16.150 kg de material) mezclada en una proporción volumétrica de 1:1 con poda triturada

- (7.590 kg), que actúa como agente estructurante.
- Se trituran los pañales y se mezclan con FORM en una proporción másica del 3% en relación a FORM + agente estructurante (555 kg de pañales en 12.720 kg de FORM), que se considera representativa de la generación en Cataluña. Este material ya mezclado se mezcla en una proporción volumétrica de 1:1 con poda triturada (5.450 kg), que actúa como agente estructurante, y se llena la otra mitad del módulo.
 - Una vez completada la fase de descomposición en el módulo (unas 6 semanas), las dos partes (con y sin pañales) se descargan por separado en dos pilas diferenciadas en las que tiene lugar el proceso de maduración con volteos periódicos (aproximadamente un volteo semanal, durante un período aproximado de 4 meses).
 - Finalmente, se criban las dos pilas (a un tamaño de 10 mm) y se obtienen las muestras de compost procedentes del proceso con y sin pañales.

El calendario concreto de la prueba fue el siguiente:

- 1) Inicio del proceso de compostaje: 9/4/2008.
- 2) Finalización de la fase de descomposición en módulo: 21/5/2008.
- 3) Finalización de la fase de maduración en pilas y cribado del compost: 2/10/2008.

Seguimiento experimental

Una vez montados los sistemas de compostaje, para llevar a cabo el seguimiento de los dos materiales se determinaron los siguientes parámetros:

- **Temperatura:** medida de forma continua en los módulos (4 puntos) y puntualmente en las pilas de maduración.
- **Oxígeno intersticial:** medido puntualmente en las pilas de maduración.
- **Índice respirométrico:** medido en diferentes momentos del proceso.
- **Parámetros analíticos:** contenido en materia orgánica total y humedad

El seguimiento puntual de la temperatura y del oxígeno intersticial se hizo *in situ* en diferentes puntos de las pilas volteadas. Se efectuaron medidas de temperatura y oxígeno a dos profundidades: 0,5 m y 1 m. Los resultados se presentan como un valor medio.

El resto de parámetros se analizaron en el laboratorio de la UAB a partir de una muestra representativa, obtenida de diferentes puntos del material (un mínimo de 4).

Además de los parámetros mencionados, en los materiales finales se analizaron también el contenido en nitrógeno, el pH y la conductividad eléctrica, la densidad aparente y la porosidad y el test de madurez *Rottegrade*. Al mismo tiempo se enviaron muestras a un laboratorio externo (LAF, APPLUS) para hacer una caracterización completa del contenido en metales pesados y microorganismos

patógenos.

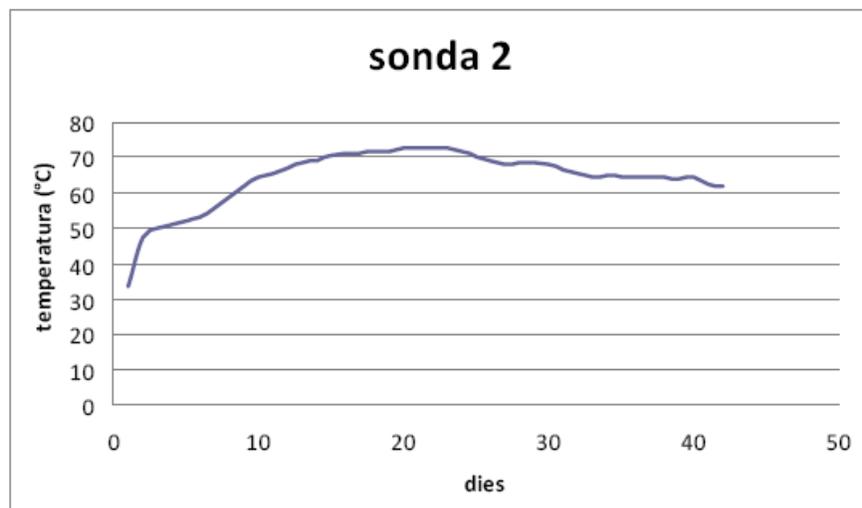
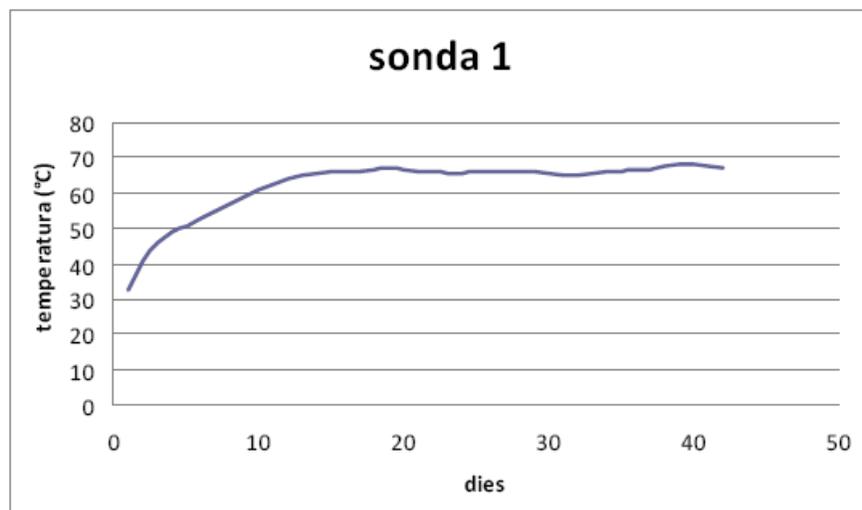
En el anejo I de este informe se recogen algunas imágenes de la prueba realizada.

Resultado

A) El proceso de compostaje

A.1) Temperatura y oxígeno

En la figura 1 se muestran los valores de temperatura alcanzados en la fase de descomposición en el módulo Agrotech. Las sondas 1 y 2 corresponden a la parte sin pañales y las sondas 3 y 4 a la parte con pañales. Como puede observarse, las diferencias entre las sondas son mínimas y en todos los casos se alcanzan valores elevados de temperatura que se explican por la elevada biodegradabilidad de la FORM y que aseguran una correcta higienización del material.



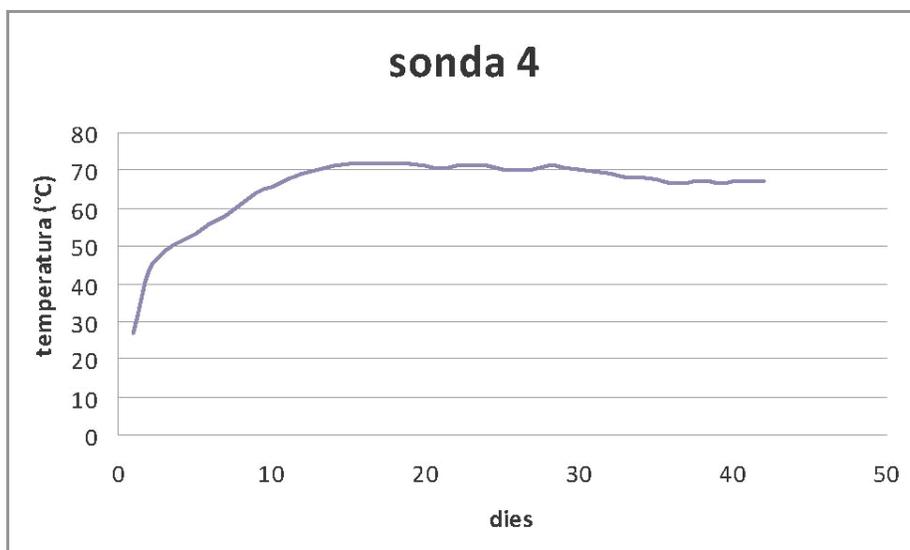
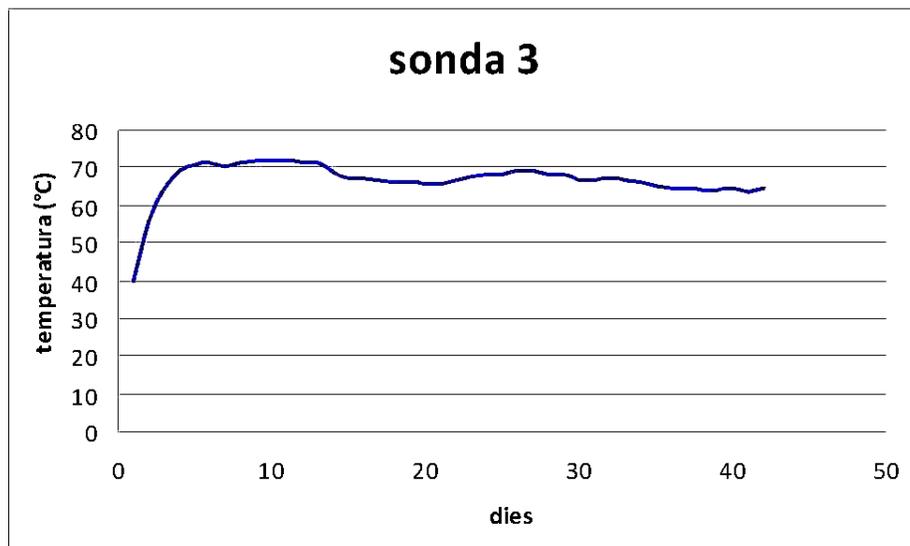


Figura 1: Evolución de la temperatura en el módulo de compostaje (fase de descomposición)

En la figura 2 se muestra la evolución de la temperatura y del oxígeno intersticial durante el proceso de maduración en pilas.

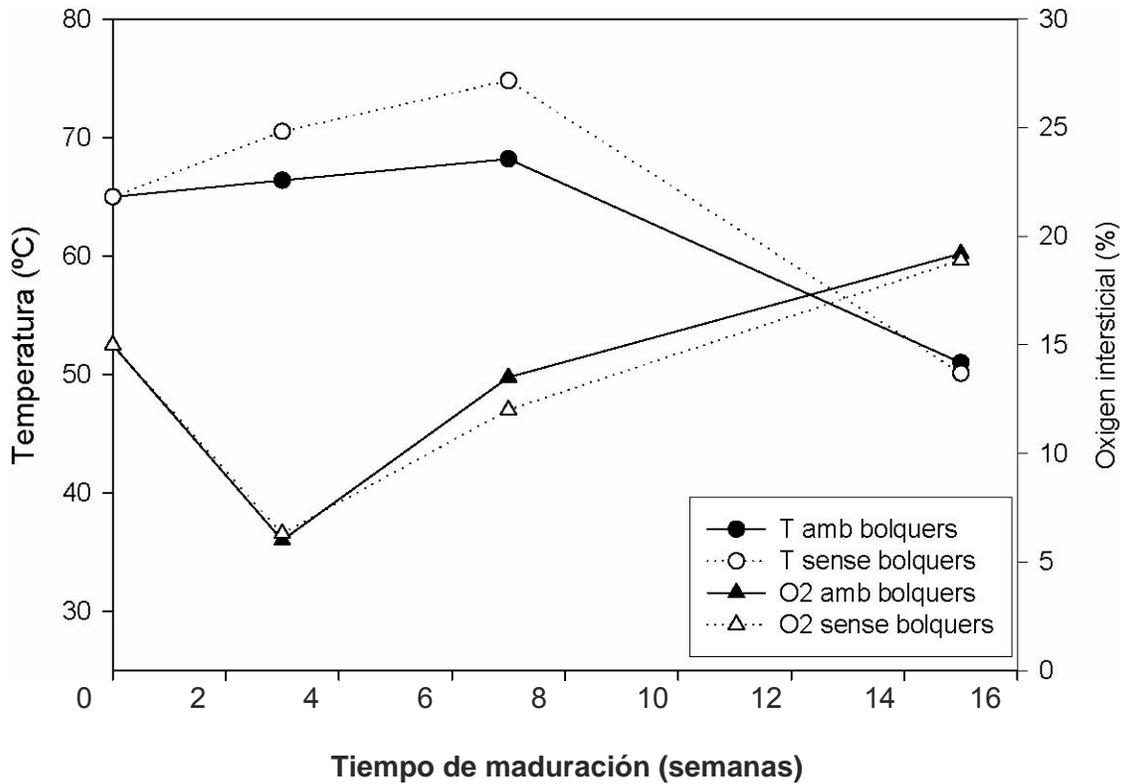


Figura 2. Evolución de la temperatura y del oxígeno intersticial durante la maduración de las pilas con y sin pañales

Nuevamente la evolución de los parámetros estudiados puede ser considerada como típica de un proceso en pilas, con una bajada de la concentración de oxígeno en la primera fase de formación de la pila y una evolución hacia concentraciones cercanas a las del aire ambiente en la parte final de la maduración, a causa del descenso de la actividad biológica. Respecto a la temperatura, ésta puede considerarse bastante alta para tratarse de pilas de maduración; no obstante, coincide con observaciones realizadas en otras plantas de Cataluña con el mismo sistema de compostaje y utilizando FORM (1,2). En todo caso, las evoluciones son muy similares para las pilas con y sin pañales, de manera que parece claro que la presencia de pañales en esta proporción no altera significativamente la evolución normal del compostaje.

A.2) Humedad y materia orgánica

En la figura 3 se muestra la evolución durante todo el proceso de los contenidos en humedad y materia orgánica total.

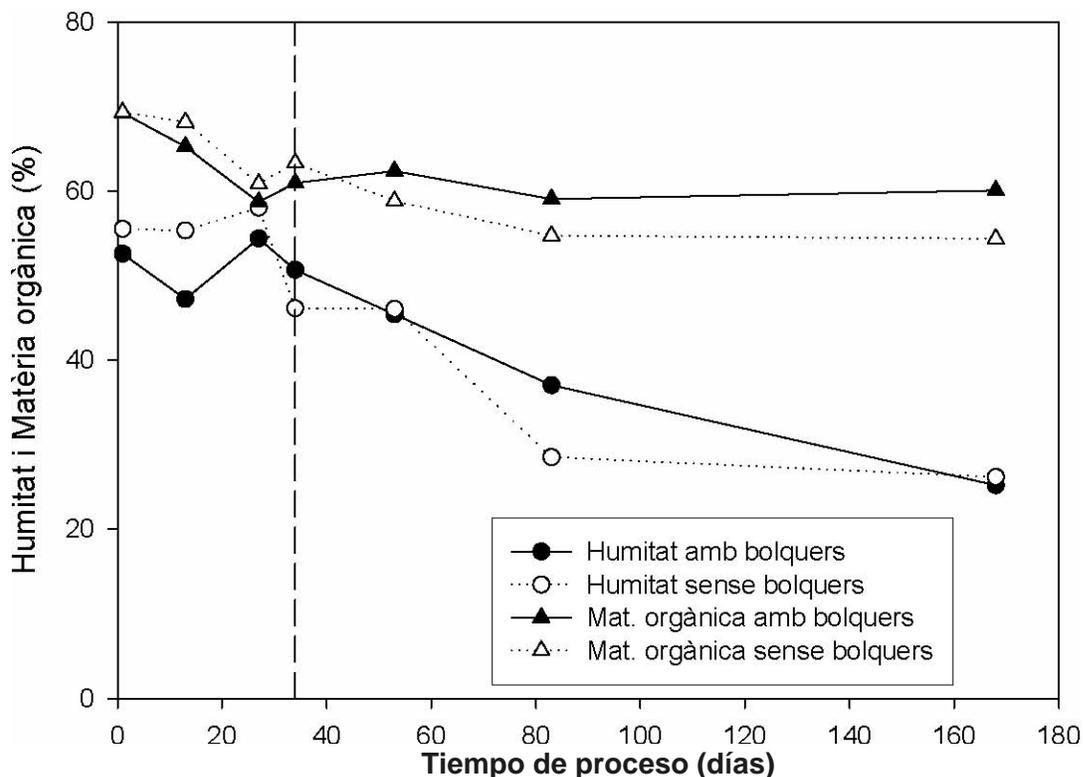


Figura 3. Evoluciones de los contenidos en materia orgánica y humedad a lo largo del proceso de compostaje. La línea discontinua vertical marca el final de la descomposición y el inicio de la maduración

Como puede observarse en la figura 3, las evoluciones de ambos materiales son muy similares. La humedad presenta una tendencia poco clara durante la descomposición en el módulo, con variaciones que en cualquier caso son poco significativas. Se ha de recordar que los módulos de compostaje utilizados están cubiertos por una lona sintética que tiene la función de minimizar la contaminación odorífera y contribuye a preservar la humedad del material, ya que buena parte de los condensados retornan a éste. En cambio, cuando el material se extrae del módulo y se coloca en pilas volteadas, la evaporación del agua es importante y es evidente que con los riegos que se van haciendo (que no han podido cuantificarse) hay un nivel importante de sequedad del material, sobretodo en la fase de maduración. Esto ha coincidido con un período de maduración llevado a cabo durante el verano y con una baja pluviometría, especialmente en los meses de agosto y septiembre. Este hecho permite explicar, probablemente, por qué no se han alcanzado los niveles de estabilidad esperables en un material que ha tenido un período de maduración tan prolongado (ver el punto siguiente: 3) Índice respirométrico).

En relación al contenido en materia orgánica total, este parámetro presenta una

cierta disminución durante la etapa en módulo, para después estabilizarse en la fase de maduración. Esta evolución también ha sido observada en otros estudios con FORM utilizando diferentes sistemas de compostaje y puede considerarse típica de estos procesos (3).

A.3) Índice respirométrico

En la figura 4 se presenta la evolución del índice respirométrico durante el proceso completo del compostaje. Sin embargo, se ha de comentar que, dada la dificultad para extraer una muestra representativa de los módulos de compostaje, se decidió no hacerlo durante el proceso de descomposición, de manera que sólo se tienen resultados a la entrada y a la salida del módulo para esta fase inicial.

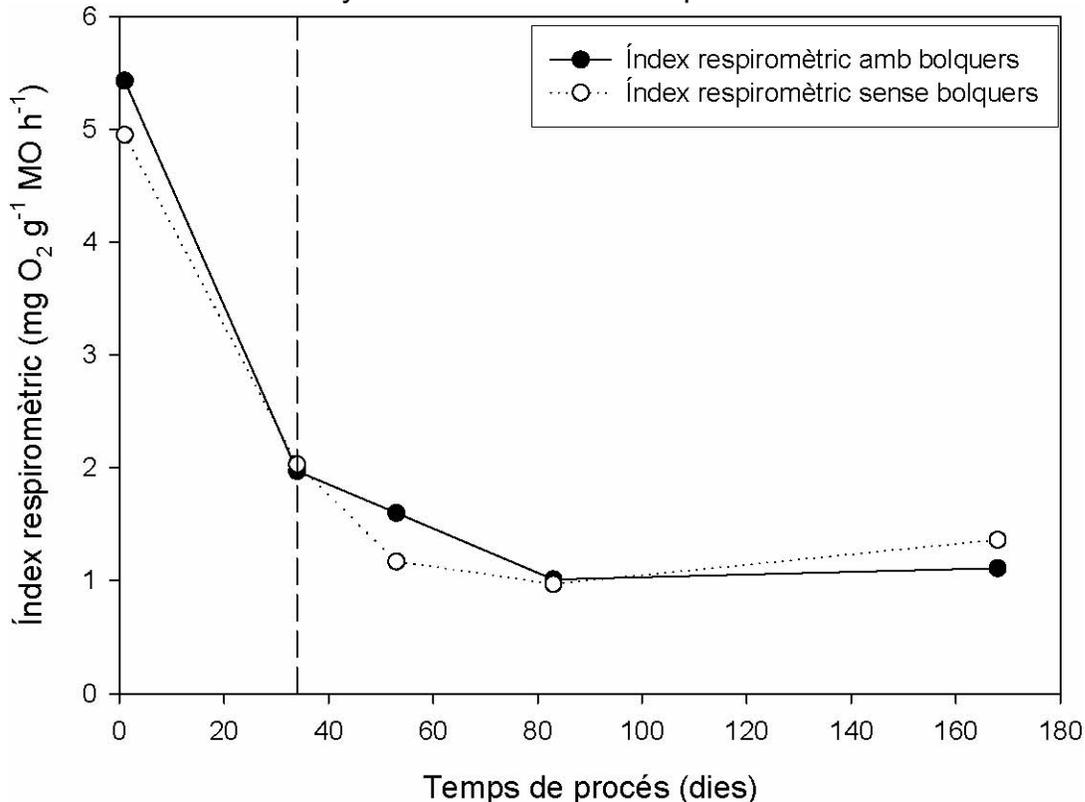


Figura 4. Evoluciones del índice respirométrico al largo de todo el proceso de compostaje. La línea discontinua vertical marca el final de la descomposición y el inicio de la maduración

Como puede observarse, es evidente que la parte más importante de reducción de la actividad, expresada como índice respirométrico, tiene lugar durante la fase de descomposición en módulo, en la que, partiendo de valores de entre 5 y 6 mg O₂ g⁻¹ MO h⁻¹ (que por otro lado pueden considerarse representativos de una FORM de elevada pureza y eminentemente vegetal) se acaban obteniendo valores alrededor de 2 mg O₂ g⁻¹ MO h⁻¹, lo que implica una reducción bastante importante para un tiempo de compostaje relativamente corto (5-6 semanas) en un módulo

aireado pero estático (4). Al mismo tiempo, puede observarse que en la primera etapa de la maduración (entre los días 35 y 80 aproximadamente) se produce un nuevo descenso de la actividad respirométrica hasta valores cercanos a $1 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MO h}^{-1}$, que ya se podrían considerar satisfactorios (5). No obstante, también se ha de destacar que el último período de maduración (entre los días 80 y 170) no aporta ninguna mejora a la estabilidad, hecho que probablemente se deba a una limitación de la actividad biológica por un déficit de humedad. En todo caso, estos datos validan la técnica respirométrica para el seguimiento del proceso, como ya habían confirmado estudios previos (6,7).

Finalmente, se ha de comentar que en este parámetro no se observan diferencias significativas entre los materiales con y sin pañales.

B) Calidad del compost final

En la tabla 1 se muestran con detalle las propiedades medidas de los dos materiales finales obtenidos tras cribar las pilas de maduración. Ninguno de ellos presentaba evidencias de materiales impropios, aunque el material reciclado de la prueba con pañales (la parte que no atravesaba la criba) sí que tenía algunos restos de pañales no degradados (aunque en una proporción visualmente pequeña respecto al resto de impropios).

Tabla 1. Caracterización de los materiales finales

Parámetro	Compost sin pañales	Compost con pañales
Humedad (%)	25,7	24,0
Materia orgánica (% base seca)	63,1	56,0
pH (extracto 1:5)	9,05	8,05
Conductividad eléctrica (extracto 1:5, mS/cm)	2,01	1,98
N-Kjeldahl (% base seca)	2,33	1,94
Índice respirométrico ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MO h}^{-1}$)	1,40	1,57
Test <i>Rottegrade</i> de madurez (grado)	III	III
Densidad aparente (kg/L)	0,36	0,40
Porosidad (espacio libre de aire, %)	61	57
<i>E. coli</i> (UFC/g)	<10 (ausencia)	20 (ausencia)
<i>Salmonella</i> (presencia/ ausencia en 25 g)	Ausencia	Ausencia
Cromo (ppm, base seca)	9	14
Níquel (ppm, base seca)	9	14
Plomo (ppm, base seca)	28	26
Cobre (ppm, base seca)	44	41
Zinc (ppm, base seca)	156	200
Mercurio (ppm, base seca)	0,06	0,09
Cadmio (ppm, base seca)	0,3	0,3
Cromo hexavalente (ppm)	<0,50	<0,50

En la tabla 2 se presentan algunos de los valores de referencia del Real Decreto 824/2005, que regula el uso de fertilizantes en España, aunque la información que se solicita en este Decreto es, a nuestro entender, muy limitada:

Tabla 2. Valores definidos en el Real Decreto 824/2005

Parámetro	Valor límite		
Humedad (%)	30-40		
Materia orgánica (% base seca)	>35		
Relación C/N	<20		
<i>E. coli</i> (UFC/g)	<1000		
<i>Salmonella</i> (presencia/ ausencia en 25 g)	Ausencia		
Cromo (ppm, base seca) Clases A/B/C	70	250	300
Níquel (ppm, base seca) Clases A/B/C	25	90	100
Plomo (ppm, base seca) Clases A/B/C	45	150	200
Cobre (ppm, base seca) Clases A/B/C	70	300	400
Zinc (ppm, base seca) Clases A/B/C	200	500	1000
Mercurio (ppm, base seca) Clases A/B/C	0,4	1,5	2,5
Cadmio (ppm, base seca) Clases A/B/C	0,7	2	3
Cromo hexavalente (ppm) Clases A/B/C	0	0	0

Las conclusiones generales que se pueden extraer de los valores de la tabla 1 demuestran que ambos productos están higienizados, estabilizados y son de gran calidad. Al mismo tiempo, las diferencias entre los dos materiales son muy bajas.

Más concretamente:

- Las **propiedades generales** son adecuadas para un compost, con un elevado contenido en materia orgánica y una cierta presencia de nitrógeno total. Las relaciones C/N estimadas de acuerdo con el contenido de materia orgánica (suponiendo un 55% de C en la materia orgánica) estarían alrededor de 15-16, que también son correctas para un compost final. Como ya se ha comentado previamente, el parámetro más alejado de los valores normales del compost es la humedad, que es muy baja, pero está de acuerdo con la evolución del proceso ya que los riegos han sido insuficientes en la etapa de maduración (figura 3). También destaca un valor de pH que parece excesivamente alcalino para el compost sin pañales, para el que no se tiene una explicación razonable, y podría ser debido a un posible error experimental. De todas formas, nuestro grupo ha observado valores de pH semejantes en compost final, aunque procedente de otros residuos.
- En cuanto a la **estabilidad**, está de acuerdo con el perfil obtenido del índice respirométrico durante el proceso, mostrado en la figura 4. Los valores finales obtenidos corresponden a un compost casi estable,

aunque la última parte de la maduración, llevada a cabo en condiciones de limitación por humedad, no ha permitido que este valor fuera aún mejor. Por otro lado, respecto a las muestras finales de proceso, se observa un ligero aumento del índice respirométrico en las muestras de compost, una situación que es típica de este índice y que se deba al efecto de concentración de la materia orgánica biológicamente más activa (el compost) respecto a la menos activa (el agente estructurante), que se da cuando se criba y que ya ha sido observada en otros estudios con FORM (3). Por otro lado, el grado de madurez, con un valor III, corrobora los resultados del índice respirométrico, en el sentido de que falta una cierta maduración del material.

- La **higienización**, en ambos casos, ha sido muy efectiva, ya que no se ha detectado ninguno de los microorganismos patógenos regulados en la legislación. Obviamente, los niveles de temperatura alcanzados y los volteos efectuados son adecuados para asegurar que se trata de un compost totalmente higienizado.
- Por último, y en relación a la presencia de **metales pesados**, los niveles detectados en los dos materiales son muy bajos. En concreto, los dos entrarían en la clase A definida en el Real Decreto 824/2005, que es la base de la legislación española de fertilizantes. La única excepción sería el caso del zinc para el compost con pañales, que da un valor coincidente con el límite de la clase A de compost. Aunque a nivel estadístico no se pueden sacar conclusiones validadas al no disponer más que de dos muestras, podría ser que esta concentración superior en zinc fuera debida a su presencia en los excrementos infantiles y/o al uso de cremas antisépticas para la piel de los niños, que suelen contener este metal. Para los otros metales, las diferencias entre los dos materiales son poco significativas, ya que todos los valores están muy alejados de los límites.
- Un aspecto que no se ha analizado en este estudio es la posible presencia en el compost de los **polímeros superabsorbentes** que actualmente se utilizan en la fabricación de pañales de un solo uso. Se entiende que estos polímeros son de baja biodegradabilidad y que por tanto permanecerán mayoritariamente en el compost. De todas formas, en la prueba realizada a escala real, no se observaron restos de estos materiales. También creemos que sería prácticamente imposible detectarlos a nivel analítico, ya que no se tienen datos concretos de su composición y la única forma de saber si provocan alguna alteración en la calidad del compost sería haciendo pruebas agronómicas a escala real.

Conclusiones finales

De los resultados obtenidos en este estudio técnico se puede concluir que:

- La aportación de pañales en un 3% en peso sobre la FORM no tiene ningún efecto relevante sobre el proceso de compostaje, que se desarrolla con total normalidad y siguiendo las evoluciones típicas de todos los parámetros analizados.
- Los pañales tampoco tienen ningún efecto significativo sobre la calidad del compost final en los parámetros que se han analizado, ya que en ambos casos se puede considerar que se obtiene un compost de calidad, suficientemente estabilizado e higienizado.
- Visualmente, no se han observado restos de polímeros superabsorbentes en el producto final, aunque se entiende que son de baja biodegradabilidad y que mayoritariamente se incorporarán al compost final.
- A pesar de que algunas partes de los pañales no resultan degradadas, éstas se separan de manera efectiva en el cribado. Evidentemente, a lo largo de sucesivos períodos de compostaje estas partes se acabarían acumulando en el material recirculado, pero, dada la proporción de este material, parece que su efecto también sería mínimo. Para poder llegar a conclusiones definitivas parece bastante claro que esta incorporación de pañales a la FORM tendría que hacerse durante períodos más largos, con diferentes recirculaciones.
- En FORM con un contenido de impuros más elevado, y en plantas donde los sistemas de afino son más completos, parece que el efecto de los pañales aún sería menor.

En Bellaterra, a 3 de noviembre de 2008

Joan Colón
Antoni Sánchez

Referencias

- 1 Barrena, R.; Pagans, E.; Faltys, G. y Sánchez, A. (2006). «Effect of inoculation dosing on the composting of source-selected organic fraction of municipal solid wastes». *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 81, núm. 3. pp. 420-425.
- 2 Barrena, R.; Cánovas, C. y Sánchez, A. (2006). «Prediction of temperature and thermal inertia effect in the maturation stage and stockpiling of a large composting mass». *Waste Management*, vol. 26, núm. 9. pp. 953-959.
- 3 Ruggieri, L.; Gea, T.; Mompeó, M.; Sayara, T. y Sánchez, A. (2008). «Performance of different systems for the composting of the source-selected organic fraction of municipal solid waste». *Biosystems Engineering*, vol. 101, núm. 1. pp. 78-86.
- 4 Gea, T.; Barrena, R.; Artola, A. y Sánchez, A. (2004). «Monitoring the Biological Activity of the Composting Process: Oxygen Uptake Rate (OUR), Respirometric Index (RI) and Respiratory Quotient (RQ)». *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 88, núm. 4. pp. 520-527.
- 5 Barrena, R.; Vázquez, F. y Sánchez, A. (2006). «The Use of Respiration Indices in the Composting Process: A Review». *Waste Management and Research*, vol. 24, núm. 1. pp. 37-47.
- 6 Barrena, R.; d'Imporzano, G.; Ponsá, S.; Gea, T.; Artola, A.; Vázquez, F.; Sánchez, A. y Adani, F. «In search of a reliable technique for the determination of the biological stability of the organic matter in the mechanical-biological treated waste». *Journal of Hazardous Materials*. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.05.141.
- 7 Ponsá, S.; Gea, T.; Alerm, L.; Cerezo, J. y Sánchez, A. (2008). «Comparison of aerobic and anaerobic stability indices through a MSW biological treatment process». *Waste Management*, vol. 28, núm. 12. pp. 2735-2742.

ANEJO 4. IMÁGENES DE LA PRUEBA REALIZADA



Imagen 1. Preparación del módulo de compostaje (FORM sin pañales)



Imagen 2. Preparación del módulo de compostaje (FORM con pañales)



Imagen 3. Carga del módulo de compostaje



Imagen 4. Carga del módulo de compostaje



Imagen 5. Pañales triturados



Imagen 6. Pañales triturados



Imagen 7. Pañales triturados



Imagen 8. Pañales triturados



Imagen 9. Seguimiento de los módulos



Imagen 10. Toma de muestra en los módulos



Imagen 11. Imagen de las dos pilas en la parte final del proceso (delante con pañales, detrás sin pañales)



Imagen 12. Detalle de la pila de maduración con pañales en la parte final del proceso



Imagen 13. Proceso de cribado de las pilas de maduración



Imagen 14. Proceso de cribado de las pilas de maduración



Imagen 15. Material reciclado procedente del cribado de la pila con pañales



Imagen 16. Material reciclado procedente del cribado de la pila sin pañales



Imagen 17. Detalle del rechazo del material reciclado procedente del cribado de la pila sin pañales



Imagen 18. Detalle del rechazo del material reciclado procedente del cribado de la pila con pañales



Imagen 19. Detalle del rechazo del material reciclado procedente del cribado de la pila con pañales



Imagen 20. Comparativa de rechazos (izquierda sin pañales, derecha con pañales)



Imagen 21. Compost final procedente del cribado de la pila con pañales



Imagen 22. Compost final procedente del cribado de la pila sin pañales