

## Incorporación del criterio ambiental en el diseño y explotación de un sistema de recogida selectiva de papel y cartón

MD Bovea<sup>P</sup>, V Ibáñez, A Gallardo, FJ Colomer, M Carlos

INGRES (INGeniería de RESiduos). Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción.  
Universitat Jaume I. Av. Sos Baynat s/n, E-12071 Castellón, España (bovea@emc.uji.es)

### Resumen

Las actuales recomendaciones existentes para el diseño de los servicios de recogida selectiva monomaterial de papel y cartón, consideran únicamente los aspectos técnicos y económicos como parámetros de decisión. Sin embargo, el aspecto ambiental debe incorporarse a este proceso de decisión, con el fin de diseñar sistemas de gestión más sostenibles.

El objetivo de esta comunicación es diseñar indicadores de carácter ambiental, técnico y económico que abarquen las siguientes etapas del ciclo de vida:

- Almacenaje: diferenciando entre los distintos tipos de contenedores en función de su carga (trasera, lateral, superior o enterrado), material (metálico, plástico, fibra) o capacidad (1.1 m<sup>3</sup>, 2.4 m<sup>3</sup>, 3.0 m<sup>3</sup>, 3.3 m<sup>3</sup>, 5.0 m<sup>3</sup>) y la dotación de contenedores.
- Mantenimiento, reposición y limpieza de contenedores.
- Recogida.
- Transporte/transferencia.
- Reciclado y destino final.

Los criterios técnicos se definirán a partir de la legislación nacional y ordenanzas municipales en materia de residuos y de las recomendaciones elaboradas por ECOEMBES. Los criterios económicos, a partir de la estimación de los costes del servicio. Y finalmente, los criterios ambientales se definirán a partir de la aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida, que permite obtener indicadores ambientales que cuantifican el impacto cada una de las etapas del ciclo de vida del sistema.

**Palabras clave:** recogida selectiva, papel/cartón, Análisis ciclo de vida, ACV, criterio ambiental

### Abstract

The current recommendations for designing a paper/cardboard selective collection service only consider the technical and economical aspects as making decision parameters. However, the environmental criteria should be considered in order to design a more sustainable waste management system.

The aim of this paper is to design technical, economical and environmental indicators to cover the following life cycle stages:

- Storage: making a difference between the type of container on the basis of the load (back, lateral, superior or buried), material (metallic, plastic, fibre) and capacity (2.4

m<sup>3</sup>, 3.0 m<sup>3</sup>, 3.3 m<sup>3</sup>, 1.1 m<sup>3</sup>, 5.0 m<sup>3</sup>) and the number of available containers per inhabitant.

- Maintenance, reposition and cleaning of containers.
- Collection.
- Transport/transference.
- Recycling and final destination.

The technical criteria will be defined according to the national and municipal legislations regulating the municipal solid waste management and to the ECOEMBES recommendations. The economic criteria will be defined from the service cost estimation. Finally, the environmental criteria will be defined taking into account the application of the Life Cycle Assessment methodology, which allows obtaining environmental indicators able to quantify the impact of each life cycle stage of the system.

**Keywords:** selective collection, paper/cardboard, Life cycle assessment, LCA, environmental criteria

## 1. Introducción

Las recomendaciones para el diseño de los servicios de gestión de residuos consideran, habitualmente, aspectos técnicos y económicos como parámetros de decisión. Sin embargo, el aspecto ambiental debe ir progresivamente incorporándose a este proceso de decisión, con el fin de diseñar sistemas de gestión más sostenibles. A nivel nacional, son muy pocas las experiencias que lo incorporan (PIGRU, 2002).

En esta comunicación, va a analizarse el caso concreto de la gestión de la fracción del papel/cartón de los residuos urbanos de origen domiciliario. Las recomendaciones para el diseño de un servicio de recogida selectiva monomaterial de papel y cartón en contenedor publicadas recientemente por ECOEMBES (2008), consideran criterios técnicos y valores económicos para el diseño y explotación de dicho servicio. El objetivo de este trabajo es completar esta información desde una perspectiva de ciclo de vida, es decir, abarcando todas las etapas mostradas en la Figura 1, e incorporar el criterio ambiental, mediante la aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (UNE-EN-ISO 14040-44, 2006).

## 2. Etapas del ciclo de vida de un sistema de gestión de la fracción papel/cartón de los RSU

El ciclo de vida de un sistema de gestión de papel/cartón se divide en las etapas que se detallan en la Figura 1.

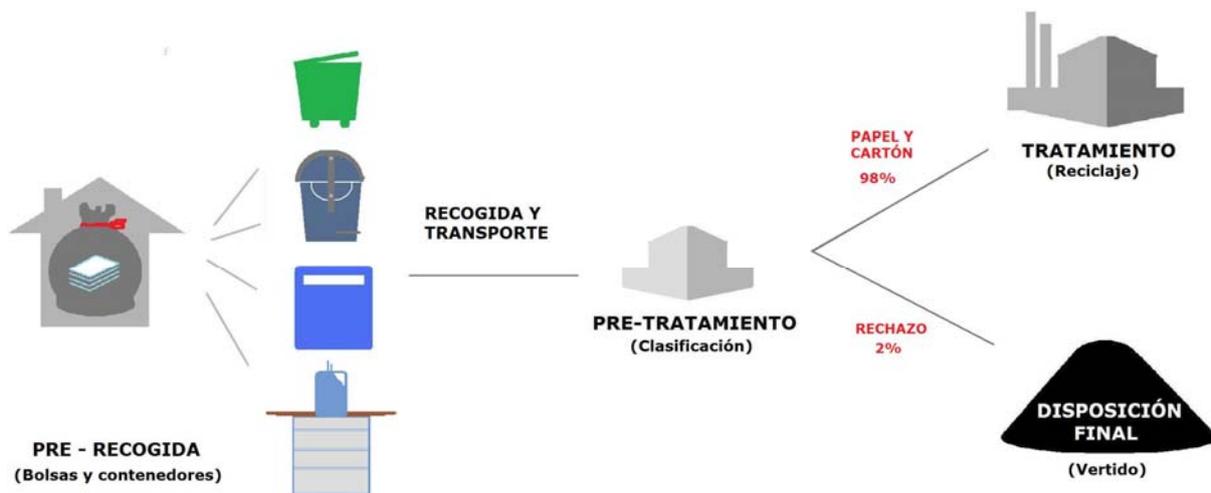


Figura 1. Etapas del sistema de gestión de los residuos de papel y cartón.

La **pre-recogida** es la etapa en la que la fracción papel-cartón abandona el lugar donde se produce (viviendas, comercios, etc.). Esta etapa actúa como puente entre la generación y el sistema de gestión de residuos utilizado. El papel-cartón se almacena temporalmente en contenedores, previo a su recogida, que requieren de operaciones de mantenimiento y limpieza a lo largo de su vida útil.

A continuación el residuo se traslada hasta la siguiente instalación de tratamiento, en dos fases:

- La **recogida**, definida en la Ley 10/1998 como “toda operación consistente en recoger, clasificar, agrupar o preparar residuos para su transporte”.
- El **transporte**, que hace referencia al traslado de los residuos entre las respectivas estaciones donde se desarrollan las diferentes etapas de tratamiento y eliminación.

La siguiente etapa corresponde al **pre-tratamiento**, donde la fracción papel-cartón, mediante un proceso de triaje manual, se clasifica en tres subfracciones: papel, cartón e impropios (plásticos). Las fracciones de papel y cartón clasificadas pasan por un posterior proceso de trituración, compactación y embalaje que facilita su manipulación y transporte hasta la siguiente etapa de **reciclaje**, mientras que los impropios se destinan a **vertedero**.

### 3. Definición de indicadores ambientales a partir de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida

La metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) constituye el mejor marco para identificar y evaluar los posibles impactos ambientales y obtener indicadores que cuantifiquen el comportamiento ambiental del sistema analizado. Según la metodología propuesta por la norma UNE-EN-ISO 14040-44 (2006) consta de cuatro etapas, que se describen brevemente a continuación aplicadas al caso de estudio.

#### **Etapa I: Definición de objetivos y alcance**

El objeto de este estudio es obtener indicadores ambientales que cuantifiquen el comportamiento ambiental del sistema de gestión de la fracción de papel-cartón obtenida mediante recogida selectiva en áreas de aportación. Tomando como base los criterios técnicos definidos para este tipo de servicios, se realiza un estudio de análisis del ciclo de vida que abarca las etapas mostradas en la Figura 1.

La unidad funcional (UF) es la unidad a la cual van referidos todos los datos del estudio. Se ha definido como UF, la recogida y tratamiento de 1 tonelada de la fracción papel-cartón de los residuos domiciliarios recolectada mediante recogida selectiva en contenedores situados en áreas de aportación.

### **Etapas II: Análisis de inventario**

El análisis de inventario consiste básicamente en contabilizar los distintos impactos medioambientales que el sistema en estudio ejerce sobre el medio. En el caso de aplicación al área de gestión de residuos, implica considerar todas las entradas en forma de recursos naturales, materiales y/o energía y salidas en forma de emisiones al aire, agua y residuos sólidos, que intervienen en cada una de las etapas del ciclo de vida en que se ha dividido la gestión de la fracción papel-cartón.

### **Etapas III: Evaluación del impacto**

La fase de evaluación del impacto tiene por objeto evaluar la importancia de los impactos ambientales utilizando los resultados obtenidos en la etapa de inventario. Siguiendo las recomendaciones de la norma UNE-EN-ISO 14040-44 (2006), van a obtenerse indicadores ambientales para las categorías de impacto mostradas en la Tabla 1, utilizando los factores de caracterización propuestos por el método CML (Guinee, 2001).

Tabla 1. Categorías de impacto y unidades consideradas.

<b>Categoría de impacto</b>	<b>Unidad</b>
Agotamiento de recursos naturales	kg Sb eq
Efecto invernadero	kg CO2 eq
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
Smog fotoquímico	kg C2H2
Acidificación	kg SO2 eq
Eutrofización	kg PO4 eq

Sin embargo, con el fin de obtener un único indicador que cuantifique el comportamiento ambiental del sistema y facilite al decisor la tarea de unificar indicadores ambientales y económicos, va a obtenerse también el resultado mediante la aplicación del método de evaluación del impacto Eco-Indicador'99 (Goedkoop & Spriensma, 1999), siendo la relación entre los datos de inventario y las categorías de daño y los efectos considerados, la mostrada en la Figura 2.

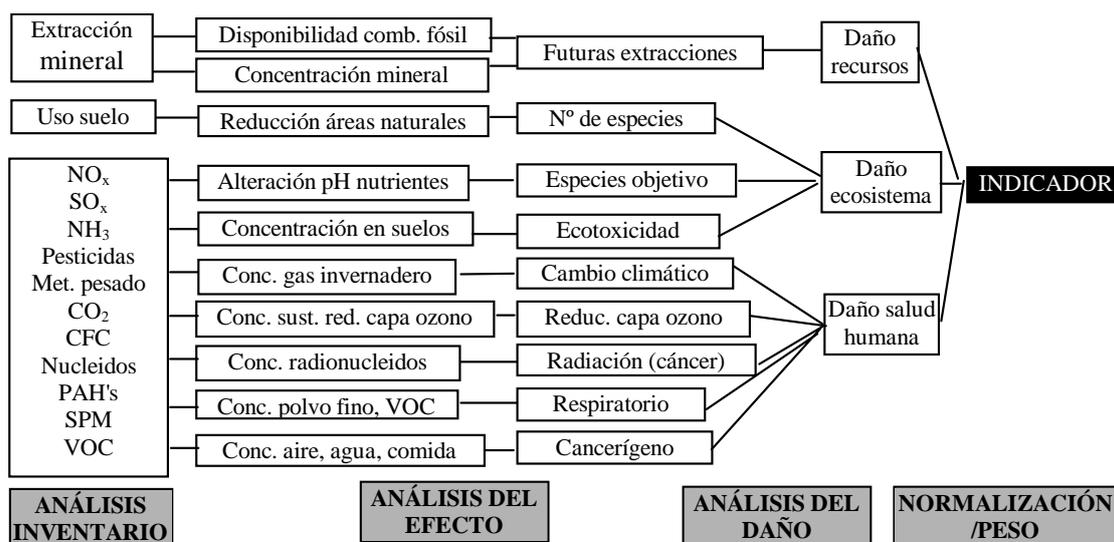


Figura 2. Modelo del método de evaluación del impacto Eco-Indicador 99 (Goedkoop & Spriensma, 1999).

#### Etapa IV: Interpretación de resultados

Finalmente, en la etapa de interpretación, se combina la información obtenida en la fase de inventario y evaluación del impacto para llegar a identificar las variables significativas y conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones de acuerdo con los objetivos y el alcance del estudio.

### 4. Obtención de indicadores técnicos, económicos y ambientales

#### 4.1 Pre - recogida

La fracción de papel-cartón se almacena temporalmente en contenedores situados en áreas de aportación. Estos contenedores pueden ser de diversos tipos: de carga lateral, de carga trasera, de carga superior/iglú o contenedores soterrados. La Tabla 2 muestra las principales características técnicas de dichos contenedores.

Tabla 2. Características técnicas de los contenedores analizados (Ecoembes, 2008).

	Material	Capacidad	Precio de adquisición (2007)	Amortización (Años)	Reposición anual (%)
<b>Carga lateral</b>	Plástico	3200 l	850 €	9	5,0%
<b>Carga trasera</b>	Plástico	1100 l	225 €	8	5,0%
<b>Carga superior</b>	Metálico	3000 l	573 €	10	5,5%
<b>Soterrado</b>	Metálico	3000 l	4890 €	38	2,5%

La Tabla 3 muestra los datos utilizados para la elaboración del modelo de inventario de los contenedores. Las bases de datos utilizadas para completar los inventarios has sido BUWAL 250 (1998), Idemat (2001), IVAM LCA Data (2005) y Ecoinvent (2008).

Tabla 3. Datos de inventario relativos a la fabricación de contenedores.

	Capacidad (l)	Peso total (kg)	Pieza - Material y proceso		Peso
Carga trasera	1100	60	Cuerpo	HDPE	55,21 kg
				Inyección en molde	
			Piezas auxiliares	acero inoxidable	2,5 kg
			Mecanizado (80%)		
			Forjado (20%)		
			4 ruedas	GOMA	2,29 kg
				Inyección en molde	
Carga lateral	3200	180	Cuerpo	HDPE	140 kg
				Inyección en molde	
			Estructura	acero inoxidable	40 kg
				Mecanizado (70%)	
				Forjado (30%)	
Carga superior	3000	265	Cuerpo	acero galvanizado	263,7 kg
				Mecanizado (80%)	
				Embutición en frío (20%)	
				Soldado (18,8 m)	
			Sistema de elevación	acero inoxidable	1,3 kg
				Mecanizado	
Contenedor soterrado	3000	7010	Cimientos	hormigón	6100 kg
			Plataformas de seguridad y peatonal. Contenedor.	acero galvanizado	910 kg
				Mecanizado y forjado	
				Soldado (11 m)	
			Buzón y tambor	acero inoxidable	45 kg
				Mecanizado y forjado	
				Soldado (4 m)	

Dependiendo de la tipología de la población analizada, cada contenedor tiene una utilización y una frecuencia de lavado diferente. En general, los contenedores de carga superior son los más empleados, independientemente de la tipología establecida. Las menores tasas de utilización corresponden a los soterrados, a consecuencia de su reciente incorporación a los sistemas de gestión de residuos (ver Tabla 4).

Tabla 4. Índices de utilización y frecuencia de lavado de los contenedores, dependiendo de la tipología de la población (Ecoembes, 2008).

	PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN (%)				Frecuencia de lavado (lavados/año)
	Carga Lateral	Carga Trasera	Carga Superior	Soterrado	
<b>Urbana</b>	33,14	1,71	63,05	2,1	3
<b>Semiurbana</b>	8,07	2,88	88,76	0,29	2
<b>Rural</b>	3,31	6,61	90,08	0	1

El coste de las operaciones de lavado del contenedor depende de dos parámetros, del camión encargado de realizar esta tarea y del consumo de agua, según muestra la Tabla 5.

Tabla 5. Consumos de recursos y coste económico durante el lavado de contenedores.

		l agua/lavado	l diesel/lavado	€/lavado
<b>CARGA LATERAL</b>	Urbana		1,352	5,26 €
	Semiurbana	21,33	0,494	6,4 €
	Rural		0,358	n/d
<b>CARGA TRASERA</b>	Urbana		0,070	3,28 €
	Semiurbana	16,67	0,176	4,69 €
	Rural		0,715	5,38 €
<b>CARGA SUPERIOR</b>	Urbana		2,572	7,53 €
	Semiurbana	16,67	5,432	9,41 €
	Rural		9,747	12,55 €
<b>SOTERRADO</b>	Urbana		0,086	n/d
	Semiurbana	8,335	0,018	n/d
	Rural		-	n/d

n/d: dato no disponible

Para determinar el número de contenedores necesarios para la unidad funcional (1 tonelada de papel-cartón), se han tenido en cuenta los siguientes aspectos: densidad del material 89 kg/m<sup>3</sup>, porcentaje de utilización según la Tabla 4 y porcentaje de llenado de 80%.

A partir de los criterios técnicos descritos anteriormente, se han obtenido indicadores económicos y ambientales, tanto para la fabricación y uso del contenedor, como para su limpieza (Tabla 6).

Tabla 6. Indicadores económicos y ambientales para la etapa de pre-recogida.

Tipología de la población	Indicador económico (€/UF)		Indicador ambiental EI-99 (Pt/UF)	
	contenedor	limpieza	contenedor	limpieza
Urbana	1.063	2.09E-4	0.0964	1.51E-6
Semiurbana	0.881	1.852E-4	0.0685	1.72E-6
Rural	0.851	2.758E-5	0.0643	1.22E-6
<b>promedio<sup>1</sup></b>	0.96523	1.77E-4	0.08197	1.54E-6

## 4.2 Recogida y transporte

En esta etapa hay que tener en cuenta los agentes que intervienen en las operaciones de recogida y transporte del residuo. Por un lado, los vehículos recolectores implican un coste tanto económico como ambiental. Por otro lado, el personal, que supone un coste económico.

En cuanto al personal de recogida y transporte, su número depende del tipo de contenedor y la tipología del ente local, según muestra la Tabla 7. El coste empresa promedio obtenido

<sup>1</sup> Promedio calculado en base al porcentaje de población de cada tipología: urbana: 52.09%, semiurbana: 35% y rural: 12.1%.

del convenio colectivo del sector es de 17.85 €/h y 15.54 €/h, para conductor y ayudante, respectivamente (1670 horas/año).

Tabla 7. Operarios necesarios para la recogida y transporte (Ecoembes, 2008).

	Conductores	Ayudantes
Urbana	1	1
Semiurbana	1	¼
Rural	1	0

Los costes económicos de explotación y mantenimiento del vehículo recolector mostrados en la Tabla 8, incluyen el consumo de combustible y lubricantes, el gasto de mantenimiento, así como seguros e impuestos.

Tabla 8. Coste económico de explotación del vehículo recolector por hora.

	Carga lateral	Carga trasera	Carga superior/iglú
Urbana	11.13	9.67	9.09
Semiurbana	11.71	10.14	9.52
Rural	12.37	10.68	10.02

Teniendo en cuenta los rendimientos mostrados en la Tabla 9, se pueden calcular los costes económicos de personal y de explotación del vehículo recolector por tonelada recogida y transportada mostrados en la Tabla 11.

Tabla 9. Rendimientos de recogida (Ecoembes, 2008).

	Tipología	Promedio contenedores recogidos/hora
<b>Carga lateral</b>	Urbana	17.70
	Semiurbana	14.80
	Rural	n/d
<b>Carga trasera</b>	Urbana	n/d
	Semiurbana	23.20
	Rural	20.81
<b>Carga superior/iglú</b>	Urbana	9.20
	Semiurbana	8.21
	Rural	5.50
<b>soterrado</b>	Urbana	10.40
	Semiurbana	n/d
	Rural	n/d

n/d: dato no disponible

En cuanto a la obtención de indicadores ambientales debido al consumo de combustible de los vehículos recolectores, hay que diferenciar el consumo en las operaciones de recogida, y el consumo en las operaciones de transporte hasta la siguiente instalación de tratamiento.

Los consumos durante las operaciones de recogida incluyen los traslados durante la recogida, las paradas realizadas y el trabajo hidráulico que debe desempeñar el camión para la descarga de los contenedores. Los consumos de combustible por tonelada recogida se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Consumo de diesel por tonelada recogida (Bjorklund et al., 2003).

	Tipo de recogida	Consumo diesel (l/ton)
Urbana	1,6 km/ton	4,08
Semiurbana	3,3 km/ton	6,12
Rural	10 km/ton	10,82

El consumo de combustible estimado para las operaciones de transporte entre el municipio (una vez finalizada la recogida) y la planta de clasificación del papel-cartón (pre-tratamiento), se ha estimado en 0.68 l/ton para urbana, 0.544 l/ton para semiurbana y 0.612 l/ton para rural, tomando una distancia promedio de 10 km (Finnveden et al., 2000).

A partir de los criterios técnicos descritos anteriormente, se han obtenido indicadores económicos y ambientales de la etapa de recogida y transporte (Tabla 11).

Tabla 11. Indicadores económicos y ambientales para la etapa de recogida y transporte.

Tipología de la población	Indicador económico (€/UF)		Indicador ambiental 99 (Pt/UF)	
	personal	explotación vehículo	recogida	transporte
Urbana	1.63	1.82	1.334	0.222
Semiurbana	1.99	1.38	2.001	0.178
Rural	1.73	0.93	3.536	0.200
<b>Promedio<sup>2</sup></b>	1.75	1.54	1.820	2.020

#### 4.3 Pre-tratamiento

Cuando el papel-cartón llega a la planta de clasificación, los camiones descargan su contenido en una gran explanada, y mediante una pala mecánica esparce los residuos en el suelo para facilitar su triaje. Este triaje se realiza de forma manual, separando cartón (38%), papel (60%) e impropios, mayoritariamente plástico (2%). La clasificación de 6000kg de papel-cartón procedente de la recogida selectiva requiere una media de 2 personas trabajando durante una hora.

Una vez que se ha clasificado el papel y el cartón, el siguiente paso es la trituración de cada una de las fracciones y su posterior compactación y embalaje (ver figura 2), que facilita su manipulación y transporte hasta la siguiente planta de tratamiento.

<sup>2</sup> Promedio calculado en base al porcentaje de población de cada tipología: urbana: 52.09%, semiurbana: 35% y rural: 12.1%.

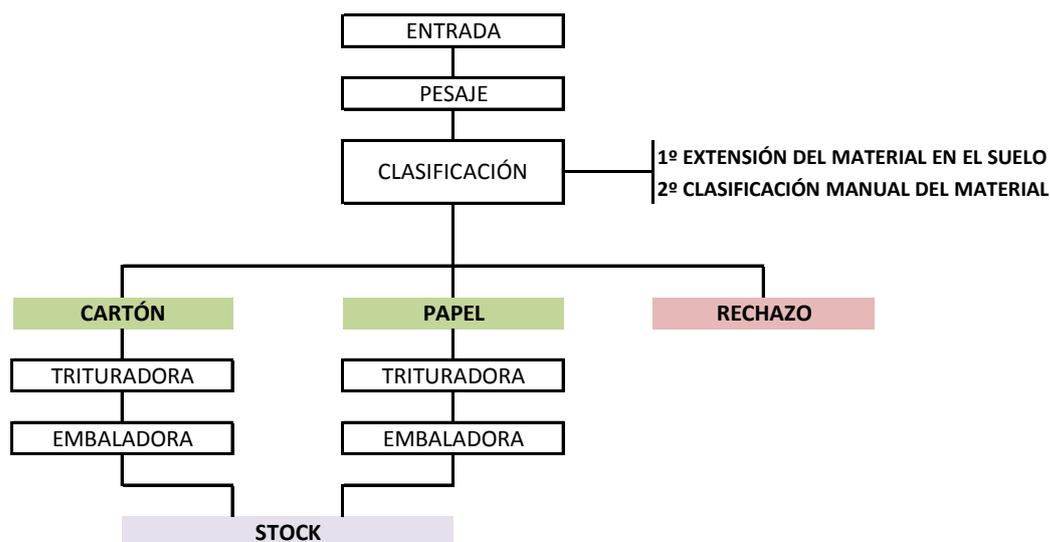


Figura 2. Proceso de recuperación de papel y cartón utilizado en una planta de clasificación del papel-cartón.

Durante este proceso la planta consume 2.582 litros de combustible/ton y 3.996 kWh/ton, siendo el mix eléctrico considerado el mostrado en la Tabla 12.

Tabla 12. Mix eléctrico español durante el año 2008 (REE, 2008).

	Porcentaje (%)
Nuclear	20.60
Carbón	16.14
Fuel + Gas	0.83
Ciclo combinado	31.74
Hidráulica	7.50
Eólica	23.16

Una vez embalado el material recuperado, se transporta hasta la planta de reciclaje, estimando un consumo de combustible de 22.214 l/ton (Finnveden et al. 2000), y una distancia promedio de 300 km. El rechazo de la planta es enviados a vertedero, considerando un consumo de combustible de 1.447 l/ton y una distancia promedio de 20 km.

El indicador económico que cuantifica el coste de clasificar/triturar/embalar el papel/cartón y transportarlo hasta la empresa encargada de su reciclaje, se ha obtenido a partir de los precios de salida marcados por ECOEMBES para las plantas de recuperación de papel/cartón (Tabla 13). Este precio es superior al coste de la planta recuperadora.

A partir de los criterios técnicos descritos anteriormente, se han obtenido los indicadores económicos y ambientales mostrados en la Tabla 13 para el pre-tratamiento de la fracción papel-cartón procedente de recogida selectiva.

Tabla 13. Indicadores económicos y ambientales para la etapa de pretratamiento (clasificación).

Indicador económico (€/UF)	Indicador ambiental EI'99 (Pt/UF)
10,78	8.609

#### 4.4 Tratamiento

Los materiales debidamente separados son transportados a las empresas encargadas de obtener materia prima reciclada.

A efectos de valorar el impacto ambiental producido por el reciclado de los materiales recuperados, se ha calculado el balance entre los consumos y emisiones durante el proceso de obtención del papel/cartón a partir de fibra virgen y a partir de materia prima reciclada, según (McDougall et al., 2001).

A partir de estos datos, se han obtenido el indicador ambiental mostrado en la Tabla 14 para el reciclaje de la fracción papel-cartón procedente de recogida selectiva. Sin embargo, no se dispone de información para estimar el coste económico del reciclado de la fracción papel-cartón, aunque sí del coste por tonelada de papel fabricado a partir de fibra virgen y a partir de material reciclado (ver Tabla 15).

Tabla 14. Indicadores económicos y ambientales para la etapa de reciclado del papel-cartón.

Indicador económico (€/UF)	Indicador ambiental (Ptos/UF)
n/d	-11,061

n/d: dato no disponible

Tabla 15. Coste por tonelada de papel fabricado a partir de fibra virgen y a partir de material reciclado.

coste p/c virgen (€/ton)	coste p/c reciclado (€/ton)
222,53 €	62,50 €

#### 4.5 Eliminación: vertedero

Finalmente, la fracción de impropios separada en la planta de clasificación se destina a vertedero, siendo su composición mayoritaria a base de plásticos.

El indicador económico se ha obtenido a partir del coste de eliminación de residuos en un vertedero de residuos urbanos ubicado en Castellón. El indicador ambiental se ha obtenido de la aplicación del modelo de inventario de vertedero propuesto por (McDougall et al., 2001). Los ratios obtenidos se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Indicadores económicos y ambientales para la etapa de eliminación final en vertedero.

Indicador económico (€/UF)	Indicador ambiental EI-99 (Pt/UF)
0,035	0,0002

### 5. Discusión y conclusión

En este trabajo se ha realizado, desde una perspectiva de ciclo de vida, el diseño de indicadores económicos y ambientales que abarcan todas las etapas del ciclo de vida de un servicio de gestión de la fracción de papel-cartón recogida en áreas de aportación: pre-recogida (almacenamiento en contenedores), recogida y transporte, pre-tratamiento (clasificación), tratamiento (reciclaje) y vertido final en vertedero de los impropios.

El indicador ambiental se ha obtenido mediante la aplicación de la metodología ACV, utilizando el método Eco-Indicador'99 como método de evaluación del impacto. Esto ha permitido obtener un único parámetro que cuantifique el comportamiento ambiental del sistema en estudio. De esta forma, el indicador ambiental puede incorporarse al proceso de

toma de decisión de igual forma que el indicador económico. La Figura 3f muestra cómo se distribuye este indicador ambiental entre las distintas etapas del ciclo de vida consideradas.

Sin embargo, la norma UNE-EN-ISO 14040-44 (2006) recomienda obtener indicadores para diferentes categorías de impacto (elementos obligatorios), sin realizar una normalización y ponderación como ocurre en el método Eco-Indicador'99. Estos resultados, para las categorías detalladas en la Tabla 1, se muestran en la Figura 3a-e.

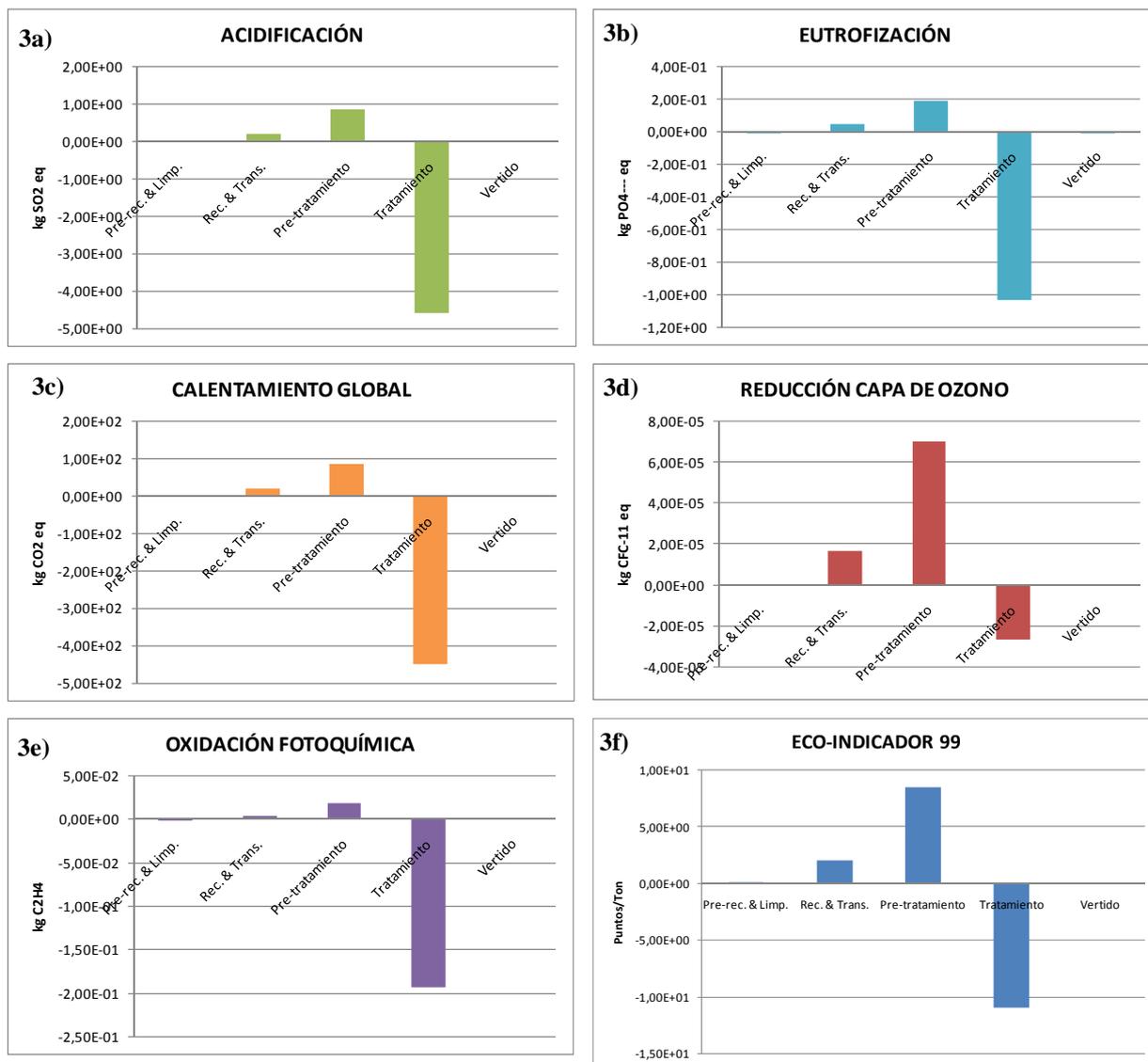


Figura 3. Indicador ambiental para diferentes categorías de impacto, para cada etapa del ciclo de vida.

## Referencias

Bjorklund, A., Johansson, J., Nilsson, M., Eldh, O. and Finnveden, G. "Environmental assessment of a waste incineration tax. Case study and evaluation of a framework for strategic environmental assessment", fms (Environmental Strategies Research Group) report 184, Stockholm, Sweden, 2003.

BUWAL 250, "Life cycle inventories for packaging", Swiss Agency for the Environmental, Forests and Landscape (SAEFL), Berne, Switzerland, 1998.

Ecoembes, "Recomendaciones para el diseño de un servicio de recogida selectiva monomaterial de papel y cartón en contenedor", Ed. Ecoembalajes España, S.A., 2008.

Ecoinvent Database v 2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2008.

Finnveden, G., Johansson, J., Lind P. and Moberg, A. "Life cycle assessment of energy from solid waste", fms (Environmental Strategies Research Group) report 137, Stockholm, Sweden, 2000.

Goedkoop M. and Spriensma R., "The ecoindicator'99: a damage oriented method for life cycle impact assessment: methodology report", Pré Consultants BV, Amersfoort: The Netherlands, 2000.

Guinee J. "Handbook on Life Cycle Assessment. An Operational Guide to the ISO Standards", 2001.

Idemat, Section for Environmental Product Development, Faculty of Industrial Design, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2001.

IVAM LCA data 2.0. IVAM Environmental Research, Amsterdam, The Netherlands, 2005.

McDougall, F.R., White, P., Franke, M. and Hindle, P. (2001) "Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory", Blackell Science Ltd., 2001.

PIGRU "Plan Integral de Gestión de Residuos Urbanos de Gipuzkoa 2002-2016. Anexo 6: Análisis de ciclo de vida aplicado a diferentes alternativas de gestión de residuos urbanos y lodos de depuradora según el PIGRU de Gipuzkoa en 2016", 2002.

REE, Red Eléctrica Española, Informe anual, 2008.

UNE-EN ISO 14040, "Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia", 2006.

UNE-EN ISO 14044, "Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices", 2006.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen la financiación recibida para realización de este estudio a la Universitat Jaume I-Fundació Bancaixa (proyecto P1- 1B2008-49).

## **Correspondencia**

María Dolores Bovea Edo, Grupo INGeniería de RESiduos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, Av. Sos Baynat s/n, E-12071 Castellón, España. Tel.: 964728112. Fax: 964728106. [bovea@emc.uji.es](mailto:bovea@emc.uji.es). <http://www.ingres.uji.es>