

## EVOLUTION OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE IN WASTE MANAGEMENT IN JOÃO PESSOA-PARAÍBA-BRAZIL

María D. Bovea

*Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I de Castellón. España.*

Claudia Coutinho Nóbrega

Joacio de Araújo Morais Júnior

Edmilson Fonseca

José Dantas de Lima

*Dpto. de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, Brazil.*

### Abstract

This paper presents an environmental assessment of the evolution of the waste management in the municipality of João Pessoa, Paraíba (Brazil). The objective is to analyze three scenarios that represent different ways of waste management. In 2003, only 0.5% of household waste was collected selectively, while the remaining was collected by mass (without separation at source) and deposited in landfills without previous treatment. From that date, the "catadores"<sup>1</sup> who worked at the landfill became part of a collection program in the street that was completed with a material recovery facility (MRF), manually separating fractions paper/cardboard, glass, metal, plastic and rubber. So in 2010, the organic fraction with the rest of materials recovered in the MRF are still deposited in landfill. Given that environmental legislation on waste management promotes the use of the organic fraction, there is a future scenario (2020) in which the MRF also separates the organic fraction for subsequent composting.

The objective is to compare these three scenarios from the environmental point of view by applying the methodology of Life Cycle Analysis. The results show the evolution of different environmental indicators for the three scenarios analyzed.

**Keywords:** *waste management; life cycle assessment; environmental performance; Brazil*

### Resumen

Este artículo presenta una evaluación ambiental de la evolución de la gestión de residuos en el municipio de João Pessoa, Paraíba (Brasil). El objetivo es analizar tres escenarios que representan diferentes formas de gestión del residuo. En 2003, únicamente un 0.5% del residuo domiciliario se recogía de forma selectiva, siendo el resto recogido en masa (sin separación en origen) y depositado sin tratamiento previo en vertedero. A partir de esa fecha, los "catadores"<sup>2</sup> que trabajaban en el vertedero pasaron a formar parte de un programa de recogida selectiva en la calle que se completaba con una planta de recuperación de materiales (PRM), que separa de forma manual las fracciones de papel/cartón, vidrio, metal, plástico y caucho. Así pues, en 2010, la fracción orgánica junto con el resto de materiales no recuperados en la PRM se siguen depositando en vertedero. Teniendo en cuenta que la legislación ambiental en materia de gestión de residuos

<sup>1</sup> Catadores: people living collecting recyclable materials in landfills and / or on the street in poor working conditions

<sup>2</sup> Catadores: personas que viven recogiendo materiales reciclables en vertederos y/o en la calle en condiciones precarias de trabajo

promueve el aprovechamiento de la fracción orgánica, se plantea un escenario futuro (2020) en el que la PRM separa además la fracción orgánica para su posterior compostaje.

El objetivo es comparar estos tres escenarios desde el punto de vista ambiental mediante la aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida. Los resultados muestran la evolución de diferentes indicadores ambientales para los tres escenarios analizados.

**Palabras clave:** *gestión de residuos, análisis ciclo vida; desempeño ambiental; Brasil*

## 1. Introducción

El municipio de João Pessoa es la capital del estado de Paraíba en Brasil, que se encuentra ubicado en el punto más oriental del continente americano. La gestión de sus residuos municipales es responsabilidad de la empresa de limpieza urbana (EMLUR), que se encarga de su recogida, tratamiento y disposición final. Estas actividades se financian a partir de los impuestos recaudados por el Ayuntamiento de la ciudad.

Hasta el año de 2003, los residuos producidos en la ciudad de João Pessoa eran depositados en un vertedero a cielo abierto sin tratamiento previo, llamado Lixão do Roger, donde cerca de 500 personas (catadores) trabajaban en condiciones precarias para separar los materiales reciclables (Nóbrega, 2003).

A partir de agosto de 2003 dicho vertedero fue clausurado y las personas que en él trabajaban, se asociaron en una cooperativa y pasaron a trabajar en los programas de recogida selectiva implantados por la empresa de limpieza urbana. A partir de ese año, se inició una recogida selectiva de los materiales reciclables puerta a puerta, que a fecha actual sigue siendo todavía incipiente.

El objetivo de este trabajo es analizar el desempeño ambiental que ha tenido la gestión de los residuos en este municipio desde el año 2003 hasta la actualidad, y con un escenario futuro que se prevé considerando la evolución de la legislación en materia de gestión de residuos que se está implantando a nivel nacional y en otros municipios cercanos a João Pessoa. Para ello, se han definido cuatro escenarios que modelan la gestión de los residuos en tres períodos: 2003, 2010 y 2020 (con dos alternativas), que se analizarán mediante la técnica de análisis del ciclo de vida (ACV) (ISO 14040-44, 2006), con el fin de obtener indicadores ambientales para diferentes categorías de impacto, lo que permitirá analizar la evolución del desempeño ambiental.

## 2. Recogida selectiva de residuos urbanos

El municipio de João Pessoa posee actualmente 723.515 habitantes (IBGE, 2012) ocupando una área de 210,8 km<sup>2</sup>. La Tabla 1 muestra la evolución de la población en los tres períodos de tiempo que van a evaluarse en este estudio.

**Tabla 1. Evolución de la población en João Pessoa.**

Año	Población	ton/año	kg/hab*año	kg/hab*día
2003	597.753	176.725,67	295,65	0,81
2010	723.515	238.050,91	329,02	0,90
2020*	836.472	276.529,28	330,59	0,91

\* estimado a partir de CAGEPA (2010) y Nóbrega (2003)

Al igual que la población y la tasa de generación de residuos evoluciona, también lo hace la composición de los mismos, según muestra la Tabla 2.

**Tabla 2. Evolución de la composición de los residuos en João Pessoa.**

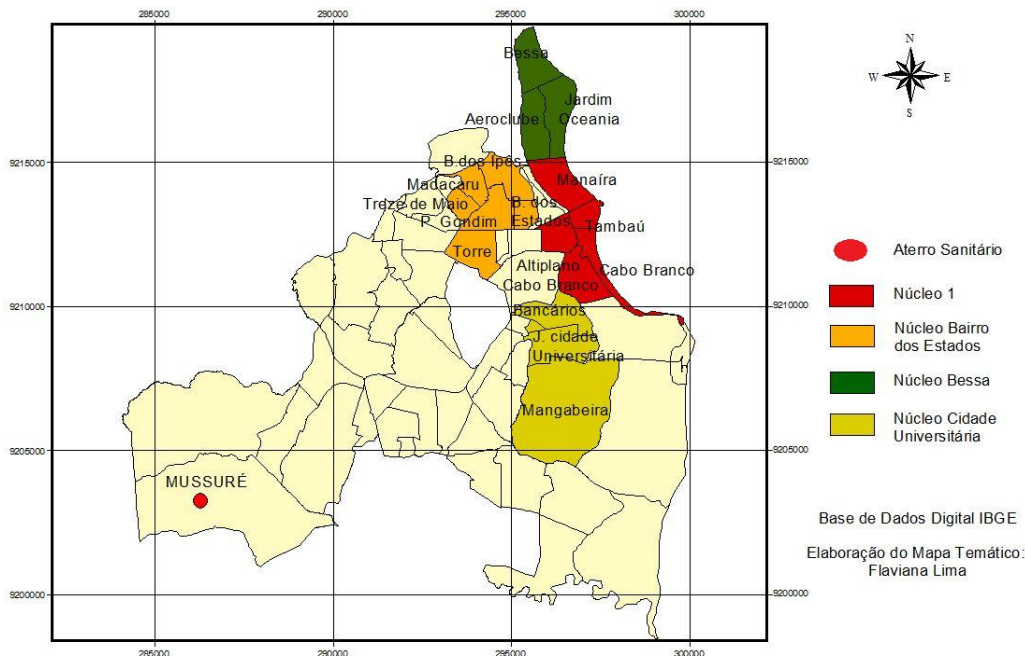
Fracción	2003 (%)	2010 (%)	2020* (%)
papel/cartón	6,15	9,69	7,92
Plásticos	13,95	14,44	14,195
Metales	1,84	1,37	1,605
Vidrio	1,35	1,42	1,385
materia orgánica	59,56	50,66	55,11
Otros	17,15	22,52	19,835

\*estimado a partir de Nóbrega (2003)

La Empresa de Limpieza Urbana (EMLUR) implantó en el año 2000 un proyecto piloto para iniciar la recogida selectiva puerta a puerta de las fracciones plástico, metal, papel/cartón y vidrio, con el fin de valorizarlas y reducir el volumen destinado a vertedero. La recogida de estos residuos reciclables producía, además, un beneficio social, ya que generaba puestos de trabajo para personas sin cualificación. Estos trabajadores forman parte de la “Associação dos Trabalhadores de Materiais Recicláveis” (ASTRAMARE) que congrega a una parte de los “catadores” que previamente recuperaban materiales reciclables directamente del antiguo vertedero a cielo abierto denominado “Lixão do Roger”.

En septiembre de 2000, se inició un proyecto piloto de recogida selectiva en las playas de Tambaú y parte de Manaíra. Este proyecto se ha ido extendiendo a playa de Cabo Branco y parte de Miramar. Actualmente, el municipio de João Pessoa posee 4 núcleos de recogida selectiva, atendiendo a 19 barrios de la ciudad y un núcleo ubicado cerca de vertedero, que recibe los camiones de los barrios que no tienen recogida selectiva. La ubicación de los municipios beneficiarios de la recogida selectiva se muestra en la Figura 1 y la población servida en la Tabla 3.

**Figura 1. Municipios beneficiarios de la recogida selectiva de materiales reciclables**



**Tabla 3. Evolución de los municipios y población servida con la recogida selectiva.**

Año	Barrios	Domicilios servidos	población servida (%)	recogida selectiva puerta a puerta (%)	separación en PRM (%)
2003	Tambaú, Manaíra, Cabo Branco, Miramar	13.975	5,78%	0,5%	-
2010	Tambaú, Manaíra, Cabo Branco, Miramar, Torre, Pedro Gondim, Bairro dos Estados, Bairro dos Ipês, Mandacaru, 13 de Maio, Bessa, Aeroclube, Jardim Oceania, Altiplano, Bancários, Anatolia, Jardim Cidade Universitária, Mangabeira	54.100	22,36%	1.5%	0.5%
2020*	Tambaú, Manaíra, Cabo Branco, Miramar, Torre, Pedro Gondim, Bairro dos Estados, Bairro dos Ipês, Mandacaru, 13 de Maio, Bessa, Aeroclube, Jardim Oceania, Altiplano, Bancários, Anatolia, Jardim Cidade Universitária, Mangabeira, Valentina, Centro, Expedicionários, Jardim Luna, Cruz das Armas	66.300	27,41%	5%	10,0%

\* estimado

En 2003, la recogida selectiva puerta a puerta correspondió a 0,5% de todos los residuos domiciliarios generados por el municipio (Nóbrega, 2003), sin que existiera planta de recuperación de materiales (PRM) para los residuos en masa, sino que se destinaban directamente a su depósito sin tratamiento en vertedero.

De acuerdo con Fonseca et al. (2011), la recogida selectiva puerta a puerta se extendió al 22,36% de los domicilios existentes en la ciudad, correspondientes a las 4 zonas mostradas en la Tabla 3, lo que supone el 1.5% de todos los residuos domiciliarios generados por el municipio. El resto de residuos recogidos en masa, son llevados a una PRM, donde se recupera el 0,5% de los mismos.

Como escenario futuro para 2020, se estima que haya una ampliación de la recogida selectiva en más barrios, además de una mejor eficiencia de la PRM (Tabla 3), incorporando la separación de la fracción orgánica. En este sentido, se han simulado dos escenarios, uno denominado "*pesimista*", en el que se logra separar el 10% de la materia orgánica que entra al proceso para su posterior compostaje, y otro denominado "*optimista*", en el que este valor alcanza el 50%.

### 3. Aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida

#### 3.1. Definición de objetivos y alcance

El objetivo de este estudio analizar la evolución del desempeño ambiental de la gestión de los residuos en el municipio de João Pessoa. Para ello, se consideran 3 períodos de tiempo que han supuesto la incorporación de cambios en el mismo: 2003, 2010 y dos escenarios futuros en 2020.

Aunque tradicionalmente se considera como unidad funcional (UF) la gestión de 1 ton de residuos con una composición determinada, en este estudio, con el fin de incorporar en los resultados la influencia del crecimiento de la población, se ha considerado como UF la gestión los residuos anuales per cápita (kg/hab x año) tal y como se detalla en la Tabla 1 (Finnveden et al., 2009).

Los escenarios analizados son los mostrados en las Figuras 4-6.

**Figura 4. Esquema del sistema de gestión de residuos en 2003 (UF: 295,65 kg/hab x año)**

TOTAL 295.65 100%	SELECTIVA 1.4782 0.5%	P-C	0.679972	0.23%	0.66297	Reciclaje
					0.01699	Vertedero
		PLÁSTICO	0.192166	0.065%	0.153733	Reciclaje
					0.038433	Vertedero
		METAL	0.354768	0.12%	0.31929	Reciclaje
					0.03547	Vertedero
		VIDRIO	0.251294	0.085%	0.22616	Reciclaje
				0.02513	Vertedero	
	MASA 294.1718 99.5%	M. O.	175.2087	59.26%		Vertedero
		P-C	18.09157	6.12%		Vertedero
		PLÁSTICO	41.03697	13.88%		Vertedero
		METAL	5.559847	1.88%		Vertedero
		VIDRIO	3.824233	1.3%		Vertedero
		OTROS	50.45046	17.06%		Vertedero

**Figura 5. Esquema del sistema de gestión de residuos en 2010.**

TOTAL 329.0184 100%	SELECTIVA 4.935275 1.5%	P-C	2.309709	0.702%	2.251966	Reciclaje	
					0.057743	Vertedero	
		PLÁSTICO	1.283172	0.39%	1.02654	Reciclaje	
					0.256634	Vertedero	
		METAL	0.993471	0.302%	0.89412	Reciclaje	
					0.099347	Vertedero	
		VIDRIO	0.331157	0.1%	0.29804	Reciclaje	
				0.0331157	Vertedero		
		CAUCHO	0.017767	0.005%	NO CONSIDERADO		
	MASA 324.0831 98.5%	CENTRAL TRIAJE 1.620415 0.4925%	P-C	0.631962	0.192%	0.616163	Reciclaje
						0.015799	Vertedero
			PLÁSTICO	0.437512	0.133%	0.35001	Reciclaje
						0.0875	Vertedero
			METAL	0.405104	0.123%	0.32408	Reciclaje
					0.08102	Vertedero	
			VIDRIO	0.113429	0.034%	0.10209	Reciclaje
					0.0113429	Vertedero	
			PELIGROSO	0.032408	0.010%	NO CONSIDERADO	
		VERTEDERO 322.4627 98.0075%	M. O.	163.3596	49.65%	Vertedero	
	P-C		31.24663	9.497%	Vertedero		
PLÁSTICO	46.56361		14.152%	Vertedero			
METAL	4.417738		1.343%	Vertedero			
VIDRIO	4.256507		1.294%	Vertedero			
OTROS	72.61859		22.071%	Vertedero			

Figura 6a. Esquema del sistema de gestión de residuos en 2020 pesimista

TOTAL 330.5923 100%	SELECTIVA 16.52962 5%	P-C	7.673048	2.341%	7.4812	Reciclaje		
					0.1918	Vertedero		
		PLÁSTICO	4.291088	1.298%	3.4329	Reciclaje		
					0.8582	Vertedero		
		METAL	3.201787	0.969%	2.8816	Reciclaje		
					0.32018	Vertedero		
		VIDRIO	1.15542	0.350%	1.0399	Reciclaje		
				0.11554	Vertedero			
	CAUCHO	0.059507	0.018%	NO CONSIDERADO				
	MASA 314.0627 95%	COMPOSTAJE 17.308 5.235%	COMPOST	1.7308	0.5235%			
			HUMEDAD	7.7886	2.356%			
			RECHAZO	7.7886	2.356%		Vertedero	
		CENTRAL TRIAJE 31.40627 9.5%	P-C	12.24845	3.705%	11.9422	Reciclaje	
						0.3062	Vertedero	
			PLÁSTICO	8.479693	2.565%	6.7838	Reciclaje	
						1.6959	Vertedero	
			METAL	7.851568	2.375%	6.2813	Reciclaje	
						1.5703	Vertedero	
			VIDRIO	2.198439	0.665%	1.9786	Reciclaje	
					0.2198	Vertedero		
		PELIGROSO	0.628125	0.19%	NO CONSIDERADO			
		VERTEDERO 265.3485 80.265%	M. O.	155.772	47.119%	Vertedero		
			P-C	6.1953	1.874%	Vertedero		
PLÁSTICO			34.1568	10.332%	Vertedero			
METAL	3.017		0.911%	Vertedero				
VIDRIO	1.2232		0.37%	Vertedero				
OTROS	64.9449		19.645%	Vertedero				

Figura 6b. Esquema del sistema de gestión de residuos en 2020 optimista

TOTAL 330.5923 100%	SELECTIVA 16.52962 5%	P-C	7.673048	2.341%	7.412	Reciclaje	
					0.1918	Vertedero	
		PLÁSTICO	4.291088	1.298%	3.4329	Reciclaje	
					0.8582	Vertedero	
		METAL	3.201787	0.969%	2.8816	Reciclaje	
					0.32018	Vertedero	
	VIDRIO	1.15542	0.350%	1.0399	Reciclaje		
				0.11554	Vertedero		
	CAUCHO	0.059507	0.018%	NO CONSIDERADO			
	MASA 314.0627 95%	COMPOSTAJE 86.54 26.177%	COMPOST	8.654	2.618%		
			HUMEDAD	38.943	11.779%		
			RECHAZO	38.943	11.779%		Vertedero
		CENTRAL TRIAJE 31.40627 9.5%	P-C	12.24845	3.705%	11.9422	Reciclaje
						0.3062	Vertedero
			PLÁSTICO	8.479693	2.565%	6.7838	Reciclaje
						1.6959	Vertedero
			METAL	7.851568	2.375%	6.2813	Reciclaje
						1.5703	Vertedero
		VIDRIO	2.198439	0.665%	1.9786	Reciclaje	
					0.2198	Vertedero	
		PELIGROSO	0.628125	0.19%	NO CONSIDERADO		
		VERTEDERO 196.061 59.3059%	M. O.	86.54	26.177%		Vertedero
			P-C	6.1953	1.874%		Vertedero
			PLÁSTICO	34.1568	10.332%		Vertedero
	METAL		3.0117	0.911%		Vertedero	
	VIDRIO		1.2232	0.37%		Vertedero	
	OTROS		64.9449	19.654%		Vertedero	

En todos los escenarios, se considera fuera del alcance del estudio la infraestructura necesaria en cada proceso, así como el tratamiento y posterior reciclaje del caucho y de los residuos peligrosos separados en la PRM.

### 3.2 Inventario

Los datos de inventario considerados provienen de datos suministrados directamente por la empresa encargada de la gestión de los residuos en el municipio de João Pessoa, combinados con datos procedentes de la base de datos de White et al. (1995) y McDougall



et al. (2001), ya que la tecnología utilizada en algunos procesos incluidos en Ecoinvent (2008) no eran adecuados para el caso de aplicación.

Los principales datos considerados en el estudio han sido los siguientes:

- Para la recogida, se considera un consumo de 19.75 l de diesel por ton recogida.
- Para los diferentes transportes entre plantas y tratamientos, se ha considerado una distancia de 100 km, con un camión de gran carga (40 ton), al 70%, y realizando un recorrido interurbano, con un consumo de 1.92 l de diesel por tonelada transportada.
- El porcentaje de impropios considerados para los procesos de reciclaje, son los mostrados en la Tabla 4.

**Tabla 4. Porcentaje de impropios considerados para los procesos de reciclaje**

Fracción	Recogida selectiva	Recogida en masa
Metales Férricos	90%	80%
Metales no Férricos	85%	80%
Papel	97,5%	97,5%
Plástico	80%	80%
Vidrio	90%	90%

- El mix eléctrico utilizado corresponde al de Brasil en el año 2011.
- El consumo eléctrico de la planta de triaje manual es 2.45kWh por tonelada gestionada.
- Para el año 2020, se asumen los consumos de una planta de recuperación de materiales española, para el tratamiento de los residuos en masa.
- Para el tratamiento de la materia orgánica, consideramos un 10% de compost obtenido, un 45% de pérdidas por humedad y un 45% de rechazos.
- En el escenario 2020 *pesimista* se considera que se recupera un 10% de la materia orgánica que entra en el proceso.
- En el escenario 2020 *optimista* se considera que se recupera un 50% de la materia orgánica que entra en el proceso.
- Se considera la carga evitada debido al reciclaje de las fracciones separadas y al compost producido.

### 3.3 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 ISO 14040-44 (2006), van a obtenerse indicadores ambientales para las categorías de impacto mostradas en la Tabla 5, utilizando los factores de caracterización propuestos por el método CML (Guinee, 2001).

**Tabla 5. Categorías de impacto y unidades consideradas**

Categoría de impacto	Unidad
Calentamiento global	kg CO <sub>2</sub> eq
Reducción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
Smog fotoquímico	kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq
Eutrofización	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq

El software utilizado para relacionar los datos de inventario con el método de evaluación del impacto y obtener los indicadores para las diferentes categorías de impacto, es SimaPro 7.3 (2012).

A continuación, la Tabla 6 muestra los valores de los indicadores globales obtenidos por cada escenario, para cada una de las categorías de impacto.

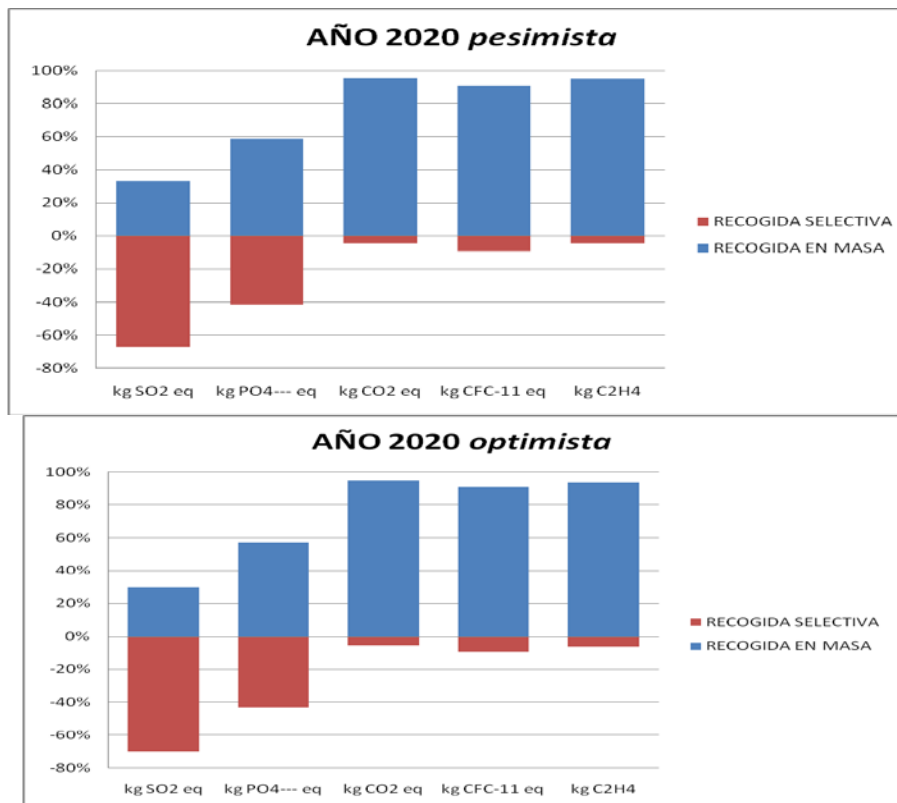
**Tabla 6. Resultados globales de indicadores por categoría de impacto para cada escenario**

Categoría de impacto	Unidad	2003	2011	2020_optimista	2020_pesimista
Acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq	0,107	0,102	-0,027	-0,023
Eutrofización	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	0,031	0,031	0,003	0,004
Calentamiento global	kg CO <sub>2</sub> eq	498,146	496,878	316,712	389,848
Reducción de capa de ozono	kg CFC-11 eq	0,000	0,000	0,000	0,000
Oxidación fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,116	0,116	0,067	0,089

Para analizar la influencia que tiene el incremento de la recogida selectiva que sustituye a la recogida en masa, se han analizado por separado estos resultados, mostrándose en la Figura 7.

**Figura 7. Resultados globales de indicadores por categoría de impacto para cada escenario**





#### 4. Conclusiones

- Es importante definir una unidad funcional que recoja las características del caso de estudio. En este estudio, a pesar del incremento de la población, la evolución del sistema de gestión de residuos permite mejorar el desempeño ambiental del mismo.
- La mejora y optimización del proceso de recogida selectiva es un parámetro fundamental para mejorar el comportamiento ambiental de un sistema de gestión de residuos.
- La incorporación de la separación de la materia orgánica en los escenarios 2020 mejora los resultados, tanto por la carga orgánica que deja de entrar en vertedero, como por la carga evitada del compost producido.

#### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación del *Plan 2011 de Promoción de la Investigación de la Universitat Jaume I*.

#### 5. Bibliografía

CAGEPA (2010). Companhia de água e Esgoto de Paraíba. João Pessoa, Brasil.

Ecoinvent Data v2 (2008). Ecoinvent Centre, Swiss Centre for Life Cycle Inventory.

Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. & Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91, 1-21.

Guinée J.B. (2002). *Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.

IBGE (2012) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem da População. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>

ISO 14040 (2006) Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and framework. European Committee for Standardization (CEN).

ISO 14044 (2006) Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines. European Committee for Standardization (CEN).

McDougall F., White P., Franke M. & Hindle P. *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory*, (second edition) Blackell Science Ltd., 2001.

Nóbrega, C. C. (2003). Viabilidade Econômica, com Valorização Ambiental e Social, de Sistemas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Domiciliares- Estudo de Caso: João Pessoa/PB. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SimaPro 7.3 (2012) *SimaPro*. The Netherlands: Pre Consultants.

White P.R., Franke M. & Hindle P. (1995). *Integrated solid waste management: a life cycle inventory*. London, UK: Blackie Academic & Professional.

**Correspondencia:**

M<sup>a</sup> Dolores Bovea Edo. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I. Av. Sos Baynat s/n. E-12071 Castellón. Spain.

Phone: +34 964 728112

Fax: +34 964 728106

E-mail: [bovea@uji.es](mailto:bovea@uji.es)

URL: <http://www.ingres.uji.es>