

Capítulo 7

7 Normalización y valoración difusa para el ACV de la gestión de residuos

7.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es identificar un orden de preferencias entre las alternativas de gestión de residuos analizadas en el Capítulo 5, para ello se normalizan y se valoran los resultados caracterizados de la Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV) mediante la metodología desarrollada en el Capítulo 4 y tomando en cuenta los valores de referencia obtenidos en el Capítulo 6 de esta tesis.

7.2 Obtención del indicador parcial de impacto

El primer paso para identificar un orden de preferencias entre escenarios, es obtener el Indicador Parcial del Impacto i para la alternativa a [$IP_{i(a)}$], de acuerdo a la Ecuación 4.2:

$$IP_{i(a)} = \frac{N_i}{T_i} \cdot \frac{I_i(a)}{N_i - I_i^{TH}} \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde el indicador de impacto por cada categoría [$I_i(a)$], corresponde a los resultados caracterizados de la EICV que se presentan en la Tabla 7.1.

En esta ecuación, I_i^{TH} es el indicador del umbral de sostenibilidad, N_i es la referencia de normalización y T_i es el objetivo de referencia. Los tres parámetros son presentados en la Tabla 7.2 para cada categoría de impacto.

Una vez aplicada la Ecuación 4.2 se obtiene el $IP_{i(a)}$ que se presenta en la Tabla 7.3 para cada categoría de impacto y para cada una de las alternativas analizadas (escenarios).

Estos valores reflejan la contribución relativa de cada escenario al impacto total de Cataluña porque provienen de una normalización externa, lo cual implica el uso de datos de emisiones de la región.

Tabla 7.1 Resultados caracterizados de la EICV por escenario y categoría de impacto analizada.

Categoría de impacto	Escenario A1	Escenario A2	Escenario A3	Escenario A4	Escenario B1	Escenario B2	Escenario B3	Escenario B4	Unidades
Acidificación	-6.16E+09	-8.69E+09	-9.95E+09	-1.34E+10	-5.68E+09	-8.31E+09	-9.66E+09	-1.32E+10	g H+
Disminución de ozono estratosférico	1.44E+07	1.14E+07	8.95E+06	3.85E+06	-5.55E+04	-8.04E+04	-8.12E+04	-1.57E+05	g eq CFC-11
Eutrofización	-4.07E+08	-6.68E+08	-7.88E+08	-1.13E+09	-4.21E+08	-6.79E+08	-7.96E+08	-1.13E+09	g eq PO ₄
Gases de efecto invernadero	5.78E+11	-1.35E+11	-6.15E+11	-1.70E+12	-8.95E+11	-1.31E+12	-1.54E+12	-2.11E+12	kg eq CO ₂
Formación de foto-oxidantes	3.37E+08	1.88E+08	7.69E+07	-1.63E+08	-1.18E+08	-1.74E+08	-2.08E+08	-2.89E+08	kg eq etileno
Toxicidad terrestre	-2.50E+09	-3.77E+09	-4.69E+09	-6.77E+09	-2.22E+09	-3.55E+09	-4.51E+09	-6.69E+09	g eq 1,4-DCB
Efectos carcinogénicos	-2.69E+01	-8.72E+01	-1.26E+02	-2.07E+02	-9.14E+01	-1.39E+02	-1.66E+02	-2.25E+02	g eq 1,4-DCB
Efectos respiratorios	-4.43E+02	-6.72E+02	-7.85E+02	-1.11E+03	-4.30E+02	-6.61E+02	-7.77E+02	-1.10E+03	DALY
Extracción de combustibles fósiles	-1.15E+09	-1.72E+09	-2.14E+09	-3.21E+09	-1.11E+09	-1.69E+09	-2.11E+09	-3.20E+09	MJ

Tabla 7.2 Valores de referencia para Cataluña por categoría de impacto analizada.

Categoría de impacto	Ni	Ti	Ii TH	Unidades
Acidificación	2.49E+11	1.39E+11	3.90E+10	g H+
Disminución de ozono estratosférico	3.79E+07	3.82E+06	5.45E+04	g eq CFC-11
Eutrofización	9.36E+12	9.36E+12	0.00E+00	g eq PO ₄
Gases de efecto invernadero	3.21E+13	3.05E+13	9.63E+12	kg eq CO ₂
Formación de foto-oxidantes	8.43E+09	7.75E+09	2.11E+09	kg eq etileno
Toxicidad terrestre	1.55E+10	1.55E+09	0.00E+00	g eq 1,4-DCB
Efectos carcinogénicos	1.45E+03	1.45E+02	0.00E+00	g eq 1,4-DCB
Efectos respiratorios	1.57E+04	1.01E+04	1.57E+03	DALY
Extracción de combustibles fósiles	3.14E+13	4.69E+13	0.00E+00	MJ

Los valores de $IP_{i(a)}$ son conmensurables, sin embargo no son sumados en esta etapa se trata de valores que provienen de estimaciones y valores imprecisos, por lo cual conviene mas tratarlos mediante técnicas difusas, de acuerdo a lo expuesto en el Capítulo 4.

Tabla 7.3 Indicador de Impacto por categorías de impacto y alternativas [IP_{i(a)}].

Categoría de impacto	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
Acidificación	-5.25E-02	-7.41E-02	-8.48E-02	-1.14E-01	-4.84E-02	-7.09E-02	-8.23E-02	-1.13E-01
Disminución de ozono estratosférico	3.77E+00	2.99E+00	2.35E+00	1.01E+00	-1.46E-02	-2.11E-02	-2.13E-02	-4.11E-02
Eutrofización	-4.35E-05	-7.14E-05	-8.41E-05	-1.20E-04	-4.49E-05	-7.25E-05	-8.50E-05	-1.21E-04
Gases de efecto invernadero	2.71E-02	-6.33E-03	-2.88E-02	-7.97E-02	-4.19E-02	-6.12E-02	-7.20E-02	-9.89E-02
Formación de foto-oxidantes	5.80E-02	3.23E-02	1.32E-02	-2.80E-02	-2.03E-02	-3.00E-02	-3.58E-02	-4.97E-02
Toxicidad terrestre	-1.62E+00	-2.44E+00	-3.03E+00	-4.37E+00	-1.43E+00	-2.29E+00	-2.92E+00	-4.32E+00
Efectos carcinogénicos	-1.85E-01	-6.01E-01	-8.68E-01	-1.43E+00	-6.29E-01	-9.54E-01	-1.15E+00	-1.55E+00
Efectos respiratorios	-4.87E-02	-7.38E-02	-8.63E-02	-1.22E-01	-4.73E-02	-7.27E-02	-8.54E-02	-1.21E-01
Extracción de combustibles fósiles	-2.45E-05	-3.68E-05	-4.56E-05	-6.84E-05	-2.37E-05	-3.61E-05	-4.51E-05	-6.82E-05

7.3 Ajuste del indicador parcial de impacto

Para abordar el IP_{i(a)} desde una perspectiva de la lógica difusa se requiere que todos los valores puedan ser comparables en un rango entre 0 y 1, donde 0 es lo peor y 1 lo mejor, por eso el IP_{i(a)} se adapta a esta escala mediante el uso de la Ecuación 4.3 (Capítulo 4) y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Indicador parcial de impacto ajustado..

Categoría de impacto	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
Acidificación	0.062	0.392	0.556	1.000	0.000	0.343	0.517	0.983
Disminución de ozono estratosférico	0.000	0.205	0.373	0.724	0.993	0.995	0.995	1.000
Eutrofización	0.000	0.362	0.527	0.995	0.018	0.376	0.539	1.000
Gases de efecto invernadero	0.000	0.265	0.444	0.848	0.548	0.701	0.787	1.000
Formación de foto-oxidantes	0.000	0.238	0.416	0.798	0.727	0.816	0.870	1.000
Toxicidad terrestre	0.062	0.342	0.543	1.000	0.000	0.292	0.504	0.983
Efectos carcinogénicos	0.000	0.305	0.500	0.910	0.326	0.564	0.704	1.000
Efectos respiratorios	0.019	0.356	0.524	1.000	0.000	0.341	0.512	0.995
Extracción de combustibles fósiles	0.019	0.292	0.490	1.000	0.000	0.277	0.478	0.995

7.4 Tratamiento difuso del indicador parcial

El siguiente paso es dar un tratamiento difuso al $\overline{IPi(a)}$, de acuerdo a las Ecuaciones 4.4, 4.5 y 4.6 del Capítulo 4. Los resultados se presentan en la Tabla 7.5, donde los valores representan el grado de pertenencia de cada escenario a la etiqueta lingüística para cada categoría de impacto. Los niveles cercanos a 0 implican la no pertenencia y los más cercanos a 1 la pertenencia o grado de verdad (por ejemplo: para eutrofización (EU) el escenario A1 es totalmente pésimo, porque presenta el máximo valor de pertenencia asociado a “pésimo”).

Tabla 7.5 Nivel de pertenencia obtenido por los escenarios

Término lingüístico	Escenarios	Categorías de impacto								
		AC	DOE	EU	CG	FFO	TT	EC	ER	ECF
Pésimo	A1	0.378	1	1	1	1	0.379	1	0.811	0.815
	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	1	0	0.816	0	0	1	0	1	1
	B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muy, muy malo	A1	0.622	0	0	0	0	0.621	0	0.189	0.185
	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	0	0	0.184	0	0	0	0	0	0
	B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muy malo	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	0.953	0	0.347	0.619	0	0	0	0.079
	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B2	0	0	0	0	0	0.078	0	0	0.225
	B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Malo	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0.081	0.047	0.384	0.653	0.381	0.584	0.953	0.438	0.921
	A3	0	0.267	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0	0	0	0.741	0	0
	B2	0.574	0	0.239	0	0	0.922	0	0.588	0.775
	B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ligeramente malo	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0.919	0	0.616	0	0	0.416	0.047	0.562	0
	A3	0	0.733	0	0.563	0.845	0	0	0	0.104
	A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0	0	0	0.259	0	0

Término lingüístico	Escenarios	Categorías de impacto								
		AC	DOE	EU	CG	FFO	TT	EC	ER	ECF
	B2	0.426	0	0.761	0	0	0	0	0.412	0
	B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.220
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Regular	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0.438	0	0.726	0.437	0.155	0.567	0.996	0.765	0.896
	A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0.520	0	0	0	0	0
	B2	0	0	0	0	0	0	0.360	0	0
	B3	0.827	0	0.611	0	0	0.956	0	0.883	0.780
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ligeramente bueno	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0.562	0	0.274	0	0	0.433	0.004	0.235	0
	A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0.480	0	0	0	0	0
	B2	0	0	0	0	0	0	0.640	0	0
	B3	0.173	0	0.389	0	0	0.044	0	0.117	0
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bueno	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0.755	0	0	0.017	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0	0.733	0	0	0	0
	B2	0	0	0	0.987	0	0	0	0	0
	B3	0	0	0	0.133	0	0	0.956	0	0
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muy bueno	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0.245	0	0.521	0.983	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0	0.267	0	0	0	0
	B2	0	0	0	0.013	0.837	0	0	0	0
	B3	0	0	0	0.867	0.296	0	0.044	0	0
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muy, muy bueno	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0	0.051	0.479	0	0	0.904	0	0
	B1	0	0.070	0	0	0	0	0	0	0
	B2	0	0.053	0	0	0.163	0	0	0	0
	B3	0	0.052	0	0	0.704	0	0	0	0
	B4	0.172	0	0	0	0	0.172	0	0.053	0.051
Excelente	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A4	1	0	0.949	0	0	1	0.096	1	1
	B1	0	0.930	0	0	0	0	0	0	0
	B2	0	0.947	0	0	0	0	0	0	0
	B3	0	0.948	0	0	0	0	0	0	0
	B4	0.828	1	1	1	1	0.828	1	0.947	0.949

AC = acidificación, DOE = disminución de ozono estratosférico, EU = eutrofización, CG = calentamiento global, FFO = formación de foto-oxidantes, TT = toxicidad terrestre, EF = efectos carcinogénicos, ER = efectos respiratorios y ECF = extracción de combustibles fósiles.

7.5 Factores de ponderación para las categorías de impacto

Debido a que no fue posible realizar un proceso de cuestionamiento y obtención los factores de ponderación para para Cataluña, en esta tesis se ha considerado que todas las categorías de impacto tienen el mismo peso, 0.1111. Este valor resulta de dividir la unidad entre el número de categorías de impacto consideradas, que en este caso son 9.

7.6 Obtención del vector de decisión

A partir del nivel de pertenencia presentado en la Tabla 7.5 y de los pesos de las categorías de impacto, se obtiene el vector de decisión, que según la Ecuación 4.9 consiste en multiplicar el nivel de pertenencia de cada categoría de impacto por su correspondiente peso y después hacer una sumatoria por cada escenario y para cada término lingüístico. La Tabla 7.6 ejemplifica este proceso, tomando como referencia el término semántico “Pésimo”.

Tabla 7.6 Valores difusos del $\overline{IP_{i(a)}}$ y nivel de pertenencia para la etiqueta lingüística “Pésimo”.

Criterios / Alternativas	AC	DOE	EU	CG	FFO	TT	EC	ER	ECF	Pertenencia a "Pésimo"
A1	0.378	1	1	1	1	0.379	1	0.811	0.815	0.820
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
B1	1	0	0.816	0	0	1	0	1	1	0.535
B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000

AC = acidificación, DOE = disminución de ozono estratosférico, EU = eutrofización, CG = calentamiento global, FFO = formación de foto-oxidantes, TT = toxicidad terrestre, EF = efectos carcinogénicos, ER = efectos respiratorios y ECF = extracción de combustibles fósiles.

Este procedimiento permite obtener el valor global de pertenencia de cada escenario, asociado a cada una de las etiquetas lingüísticas, tal como se muestra en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7 Vector de decisión.

Escenarios	Términos lingüísticos										
	Pésimo	Muy , muy malo	Muy malo	Malo	Ligeramente malo	Regular	Ligeramente bueno	Bueno	Muy Bueno	Muy, muy bueno	Excelente
A1	0.820	0.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A2	0.000	0.000	0.222	0.494	0.284	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A3	0.000	0.000	0.000	0.030	0.249	0.553	0.168	0.000	0.000	0.000	0.000
A4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.086	0.194	0.159	0.561
B1	0.535	0.020	0.000	0.082	0.029	0.058	0.053	0.081	0.030	0.008	0.103
B2	0.000	0.000	0.034	0.344	0.178	0.040	0.071	0.110	0.094	0.024	0.105
B3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.451	0.080	0.121	0.134	0.084	0.105
B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	0.950

Las celdas coloreadas indican el máximo nivel de pertenencia para cada escenario.

A partir del vector de decisión presentado en la Tabla 7.7 y aplicando la función de decisión propuesta en el Capítulo 4 (Ecuación 4.11), se puede juzgar el orden de preferencias de acuerdo al principio de máxima pertenencia, el cual establece que cada alternativa se etiqueta con el término lingüístico en el que presente mas alto nivel de membresía.

Cuando dos alternativas son marcadas con el mismo descriptor semántico se considera el valor de pertenencia obtenido por cada una de ellas para establecer la jerarquía de preferencia. Así pues, el escenario B4 con un valor de 0.942 será más “Excelente” que el escenario A4 con 0.429 y A1 con 0.791 es más “Pésimo” que B1 con 0.400.

7.7 Resultados y discussion

7.7.1 El orden de preferencias

En la Tabla 7.7 se ilustran con colores los valores más altos de la función de decisión (Ecuación 4.11) para cada escenario. Como se puede ver, las alternativas B4 y A4 están asociadas al término “Excelente”, B3 y A3 se relacionan con “Regular”, B2 y A2 se asocian a “Malo” y A1 y B1 a “Pésimo”.

A partir lo anterior, se identifica el siguiente orden de preferencia entre los escenarios de gestión de residuos municipales analizados:

$$B4 > A4 > B3 > A3 > B2 > A2 > B1 > A1$$

Los descriptores semánticos indican que B4 y A4 son alternativas “excelentes”, lo cual concuerda con las características de estos escenarios que presentan los mas altos niveles de recuperación de materiales fermentables, de materiales inorgánicos y de incineración, y los mínimos valores de vertido.

En estos escenarios la recuperación de materiales fermentables tiene relevancia principalmente porque se desvían residuos que de otra forma llegarían a vertedero y no por los beneficios netos de los tratamientos biológicos, ya que el proceso que más se realiza aquí es la fabricación de compost que genera impactos ambientales aunque no significativos.

La recuperación de materiales inorgánicos es muy importante porque representa a todos los procesos de reciclaje, que en A4 y B4 alcanzan los máximos valores y tal como se discute en el capítulo 5 son procesos que aportan altos beneficios netos ambientalmente.

En A4 y B4 se establecen las mayores cantidades de residuos incineradas lo cual es un aspecto positivo para algunas categorías de impacto y negativo para otras.

Una de las características más significativas para que A4 y B4 sean excelentes estrategias de manejo, son los mínimos niveles de vertido que se asumen y en este proceso esta la clave para que B4 sea el mejor escenario y A4 el segundo mejor, ya que en B4 se considera el vertedero con la tecnología de balas plastificadas y en A4 un vertedero controlado tradicional.

La alternativa A4 reproduce las características del Plan de Gestión de Residuos de Austria para el año 2006 (AFMAFEWM, 2001) y el orden de preferencia obtenido concuerda con lo reportado por la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2005) que establece a Austria como líder Europeo en la gestión de residuos ya que supera los objetivos fijados en las directivas de envases y residuos de envases (Directiva 2004/12/CE) y en la directiva de vertederos (Directiva 1999/31/EC). De acuerdo a este análisis la gestión de Austria podría ser mejorada si el vertido de residuos incorporara la tecnología de balas plastificadas, lo que se plantea en el escenario B4.

B3 y A3 ocupan el tercer y cuarto lugar en el orden de preferencia porque se recicla menos, se recuperan menos fermentables y se depositan más residuos en vertedero que en A4 y B4. A3 representa los objetivos de gestión de residuos municipales de Cataluña para el año 2012 (ARC, 2005) y según este ACV la estrategia de gestión puede presentar un mejor comportamiento ambiental si se considera el vertido en balas plastificadas, tal como lo considera el escenario B3.

El quinto y sexto lugar de preferencia lo ocupan B2 y A2, respectivamente. En estas alternativas se aumenta la recuperación de inorgánicos y de fermentables y se disminuye el uso del vertedero, con respecto a los niveles actuales. Una vez más el vertedero de balas plastificadas logra situar a B2 en un mejor lugar de preferencia que A2. A2 representa escenario intermedio de gestión que de acuerdo al Programa de Gestión de Residuos Municipales de Cataluña 2001-2006 (PROGREMIC) (JUNRES, 2001) y si los objetivos del programa se complementaran con un vertedero de balas plastificadas se lograría una mejora ambiental, tal como lo demuestra B2.

La gestión actual de residuos en Cataluña (A1) es el escenario peor valorado en este estudio porque considera los niveles más bajos de reciclaje y de recuperación de fermentables y la mayor cantidad de residuos depositados en vertedero. Esta situación podría mejorar ligeramente si el vertido se realizara a través de balas plastificadas, según lo establecido en B2.

El orden de preferencia obtenido concuerda con los resultados obtenidos por AGA (2002), quienes establecen que la gestión programada para el futuro (Escenario A3) es mejor que la gestión intermedia (Escenario A2) y ésta a su vez es mejor que la gestión del 2001.

7.7.2 Ponderación

En esta tesis los pesos de las categorías de impacto son considerados como equivalentes porque su obtención es un proceso que consume mucho tiempo y sus resultados no son completamente significativos debido al bajo nivel de participación de expertos, a la alta variabilidad entre respuestas y a la incertidumbre de los resultados (Seppälä, 1999).

Chang y Yeh (2001) establecen que el uso de importancias equivalentes concuerda con el “Principio de razón insuficiente” (Strarr y Greenwood, 1977), el cual sugiere la utilización de pesos equivalentes cuando no sea posible una confiable obtención de pesos subjetivos.

7.7.3 El método de normalización y valoración

La metodología utilizada permite la normalización y la valoración en estudios de ACV desde un enfoque matemáticamente robusto puesto que es una técnica que trata con la incertidumbre

inherente en los valores de referencia y también en los datos utilizados para la realización del inventario de ciclo de vida.

Para probar la efectividad de la metodología de valoración se aplicaron 3 métodos de valoración en paralelo para explorar si los resultados difieren: Ecoindicador 95 (Goedkoop, 1995), Ecopuntos (Ahbe *et al.*, 1991) y EPS (Environmental Priority System) (Steen y Ryding, 1993; Steen 1999a,b). Los resultados obtenidos de forma global por escenarios se presentan en la Tabla 7.8

Tabla 7.8 Resultados de la valoración de escenarios mediante diferentes métodos.

Método de valoración	Escenarios analizados							
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
Ecoindicador 95	-5.27E+08	-2.06E+09	-2.98E+09	-5.16E+09	-2.49E+09	-3.63E+09	-4.22E+09	-5.71E+09
Ecopuntos	7.40E+11	3.91E+11	1.47E+11	-4.05E+11	-2.72E+11	-4.14E+11	-4.86E+11	-6.86E+11
EPS	-1.89E+08	-3.57E+08	-4.89E+08	-7.50E+08	-2.83E+08	-4.32E+08	-5.48E+08	-7.76E+08

En la Tabla 7.8 se aprecian diferencias cuantitativas entre el desempeño de cada alternativa y el método de valoración. Bovea y Powell (2006), explican que esta situación se presenta porque en cada método se incluye diferente número de compuestos y como la valoración es un proceso que implica la suma de diferentes efectos ambientales para obtener un solo indicador, la puntuación final depende del número de sustancias para las cuales se han calculado factores de caracterización y de ponderación.

Otra diferencia es que EPS tiene factores de ponderación calculados para emisiones al aire, al agua y para uso de recursos; Eco-indicador 95 para emisiones al aire y al agua; y Ecopuntos considera emisiones al aire, al agua, uso de energía y residuos.

Por otra parte, Ecopuntos considera las llamadas cargas críticas, que son los flujos de emisiones máximos aceptables para Suiza y se obtienen a partir de juicios de valor; en EPS las emisiones son multiplicadas por la unidad de carga ambiental (ELU) que tiene su origen en la disponibilidad a pagar en Suecia para remediar un daño, lo cual se supone que representa un estimado del valor que asigna la sociedad; y Ecoindicador 95 se basa en la evaluación del daño generado por las emisiones y para estimarlo supone una relación lineal entre las emisiones y el daño final causado.

Desde el punto de vista cualitativo los resultados proporcionados por los métodos de valoración también difieren, pero al compararlos con el orden de preferencia obtenido por el

método de valoración propuesto se identifica la misma jerarquía entre el método difuso y EPS. La Tabla 7.9 ilustra esta comparación.

Tabla 7.9 Comparación de órdenes de preferencia obtenidos por diferentes métodos de valoración.

Lugar de preferencia	Ecoindicator 95	Ecopuntos	EPS	Método difuso
1º	B4	B4	B4	B4
2º	A4	B3	A4	A4
3º	B3	B2	B3	B3
4º	B2	A4	A3	A3
5º	A3	B1	B2	B2
6º	B1	A3	A2	A2
7º	A2	A2	B1	B1
8º	A1	A1	A1	A1

7.8 Conclusiones

El orden de preferencias identificado por el método de valoración propuesto señala que el comportamiento ambiental mejora de forma continua y notable a medida que aumentan la cantidad de residuos reciclada, los tratamientos biológicos y se disminuye el vertido.

Los escenarios que incorporan la tecnología de balas plastificadas en el vertido muestran una mejor práctica ambiental que aquellos que consideran el vertido controlado tradicional, aunque las características generales sean las mismas.

La jerarquía obtenida es consistente con las características de cada escenario analizado y concuerda con los resultados de otros trabajos publicados que plantean escenarios parecidos.

No existe un método de valoración perfecto puesto que todos tienen limitaciones relacionadas con la incorporación de juicios de valor y de datos regionales que al aplicarlos en otra región no siempre reflejan la realidad.

El método de valoración propuesto tiene la ventaja de incorporar datos de referencia para la región de Cataluña y situar los resultados de la EICV en un contexto real, lo cual no sucede cuando se utilizan métodos de valoración que incorporan pesos genéricos.

Otra ventaja de la metodología propuesta es que se propone un algoritmo que se puede aplicar a cualquier región, siempre y cuando se obtengan los datos de referencia para el área de estudio.

En esta metodología no se requiere el cuestionamiento a expertos para la obtención de pesos, lo que es una ventaja porque la elicitación de pesos es un procedimiento largo en el cual se logra una limitada participación y cuyos resultados no son concluyentes, ya que se presenta mucha variación entre las respuestas obtenidas.

Con la metodología propuesta la normalización y la valoración se realizan desde un enfoque matemáticamente robusto puesto que es una técnica que considera la incertidumbre inherente a los valores de referencia y a los datos utilizados para la realización del inventario, mediante el uso de la escala semántica y los niveles de pertenencia.

En este caso la escala semántica de once términos permite una definición muy gradual del comportamiento de las alternativas y con ello se facilita la incorporación de la variabilidad entre los datos de una forma mas precisa.

A pesar de las ventajas señaladas es necesario aplicar este método a otras situaciones para probar su eficiencia y funcionalidad.

7.9 Bibliografía

- AFMAFEWM. 2001. Federal Waste Management Plan 2001. Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management on June 30, 2001. Viena. (<http://www.gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/federalwaste.pdf>, marzo, 2006).
- AGA. 2002. Avaluació ambiental de diferents estratègies per a la gestió dels residus municipals ordinaris (RMO). Grup AGA-Centre d'Innovació SIMPPLE-STQ-URV i Junta de Residus (Departament de Medi Ambient)
- Ahbe S., Braunschweig A., Müller-Wenk R. 1991. Methodology of Ecobalance based on Ecological Optimization. Swiss Federal Office of Environment, Forests and Landscape (BUWAL), Environment Series 133, Berne, Swiss.
- ARC. 2005 Pla d'acció per a la gestió de residus municipals a Catalunya 2005-2012. Memoria explicativa. Agència de Residus de Catalunya. Barcelona España.
- Bovea M.D., Powell J.C. 2006. Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management. *Journal of Environmental Management* 79: 115-132.
- Chang Y-H and Yeh C-H (2001): Evaluating airline competitiveness using multiattribute decision making. *Omega* 29:405-415.
- Directiva 1999/31/CE (1999). Directiva Europea de vertederos. Diario oficial de las Comunidades Europeas (16/07/1999)

-
- Directiva 2004/12/CE (2004). Directiva Europea de envases y sus residuos. Diario oficial de las Comunidades Europeas (11/02/2004)
- EEA. 2005. Effectiveness of packaging waste management systems in selected countries: An EEA pilot study. Report 3. European Environment Agency. Copenhagen.
- Goedkoop, M. 1995. The Eco-indicator 95. NOH report 9523. Prè consultants. Amersfoort. The Netherlands.
- JUNRES. 2001. Programa de Gestión de Residuos Municipales de Cataluña 2001-2006 (PROGREMIC). Junta de Residuos de Cataluña. Departamento del Medio Ambiente. Barcelona.
- Starr M K and Greenwood L H (1977): Normative generation of alternatives with multiple criteria evaluation. In: Starr M K, Zeleny M, editors. Multiple criteria decision making. New York: North-Holland.
- Steen A. 1999a. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS): version 2000: general system characteristics. CPM report 1999:4. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden.
- Steen A. 1999b. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS): version 2000: models and data of the defaults methods. CPM report 1999:5. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden.
- Steen A., Ryding S. 1993. The EPS enviro-accounting method. AFR Report 11. Swedish Environmental Institute (IVL). Göteborg, Sweden.

