

Evaluación de los gases de efecto invernadero aplicando la metodología análisis de ciclo de vida (ACV) en el relleno sanitario regional la cortada, pamplona, norte de Santander.

Ronald José López Torrado¹

Oscar Ortiz²

Jarol Derley Ramón Valencia³

¹Investigador Magister en Ingeniería Industrial. Universidad de Pamplona

²Docente Investigador. Doctor en Ingeniería Industrial. Universidad de Pamplona

³Docente Investigador. Doctor en Ingeniería Ambiental. Universidad de Pamplona

RESUMEN

Se propone un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para el Relleno Sanitario de la empresa "Empopamplona" con el fin de hacer una aproximación proactiva hacia el control y seguimiento de los gases emitidos, polución, estrategias en la conservación de los recursos naturales, posibles usos del metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y posibles cambios con el fin de ser económicamente y ecológicamente sostenibles. El impacto de estos productos en los rellenos sanitarios puede ser solucionado direccionando todo el ciclo de vida, el cual incluye almacenamiento, proceso y destinos finales. Manejo total de la calidad y manejo de equipos inter-disciplinarios son elementos esenciales en el Análisis del Ciclo de Vida.

En las diferentes investigaciones sobre digestión anaerobia, una de las variables a medir es la concentración porcentual de los gases producidos, por lo general dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), los que representan más del 90% del gas generado, el cual recibe el nombre de biogás. Se propone con el estudio la caracterización del Relleno Sanitario, cuantificación de las entradas y salidas de los residuos sólidos, del CO₂ y del metano, diagnosticar la problemática del relleno bajo un estudio de impacto ambiental.

Palabras clave: Sostenibilidad, Análisis del ciclo de vida, Biogás, Relleno sanitario.

ABSTRACT

A study of life cycle analysis is proposed for the sanitary landfill of the company "Empopamplona" in order to make a proactive approach towards control and monitoring of the gases emitted, pollution, strategies in the conservation of natural resources, possible uses of methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and possible changes in order to be economically and ecologically sustainable.

The impact of these products on landfills can be solved by addressing the entire life cycle, which includes storage, process, final destinations. Total management of the quality and management of interdisciplinary teams are essential elements in the analysis of the life cycle. In the different investigations on anaerobic digestion, one of the variables to be measured is the percentage concentration of the gases produced, usually carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄), which represent more than 90% of the gas generated, the which is called biogas. The study proposes the characterization of the landfill, quantification of inputs and outputs of solid waste, CO₂ and methane, diagnose the problem of landfill under an environmental impact study.

Key words: Sustainability, Life cycle analysis, Biogas, Landfill.

¹Ronald José López Torrado

Email rojoloto@gmail.com

Ingeniero de Petróleos UIS. Experiencia de 4 años en el sector Hidrocarburos.

Maestría en Ingeniería Industrial Universidad de Pamplona

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años las empresas de servicios públicos han mostrado gran preocupación por aspectos tan importantes para el medio ambiente como lo son producción de energía y contaminación. Es así que las prestaciones de servicios públicos hacen parte de la problemática ambiental y social en el área de influencia por su importancia en el diario vivir de la comunidad y su responsabilidad en el manejo de residuos sólidos.

El Análisis del Ciclo de Vida en la operación del Relleno Sanitario en Pamplona, Norte de Santander, es una alternativa con el fin de aplicar y proponer estrategias más sostenibles y comprometidas con el medio ambiente. La operación de este servicio demanda alto consumo de productos y energía que conllevan a la generación de sustancias tóxicas para el recurso hídrico y emisiones de gases de efecto invernadero. La empresa Empopamplona presenta una gran contaminación ambiental en el área cercana al Relleno Sanitario de la ciudad de Pamplona y se hace necesario un estudio de Análisis de Ciclo de Vida para determinar técnicas de optimización y estrategias en el sistema de tratamiento y desecho final de los residuos en el relleno y minimización del impacto ambiental. Así mismo, proponer los diversos usos de dióxido de carbono y metano como fuentes de energía alternativa que conlleven a generar disminución en la contaminación ambiental (Rivera et al., 2017).

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un marco metodológico para la estimación y evaluación de los impactos ambientales atribuibles al ciclo de vida de un producto, tales como el cambio climático, el agotamiento del ozono estratosférico, la creación de ozono troposférico (smog), la eutrofización, la acidificación, el estrés toxicológico en humanos la salud y los ecosistemas, el agotamiento de los recursos, el uso del agua, uso de la tierra, y el ruido ya otros (Rebitzer, y otros, 2004; Ivanova y Sarmiento, 2014). La ISO define el Análisis de Ciclo de Vida como una herramienta para evaluar los impactos potenciales sobre el medio ambiente y los recursos utilizados en todo el ciclo de vida de un producto, es decir, desde la adquisición de materias primas, a través de las fases de producción y el uso, hasta la gestión de residuos. La fase de gestión de residuos incluye la disposición, así como el reciclaje. El término "producto" incluye tanto los bienes como los servicios. El ACV se denomina como una evaluación integral y considera todos los atributos o aspectos del medio ambiente natural, la salud humana y otros recursos (ISO 14044, 2006).

2. METODOLOGÍA

3.1 Fases del ACV

En la Figura 1, se resume la metodología de investigación general para llevar a cabo un análisis de ciclo de vida, estipulada por la ISO 14040.

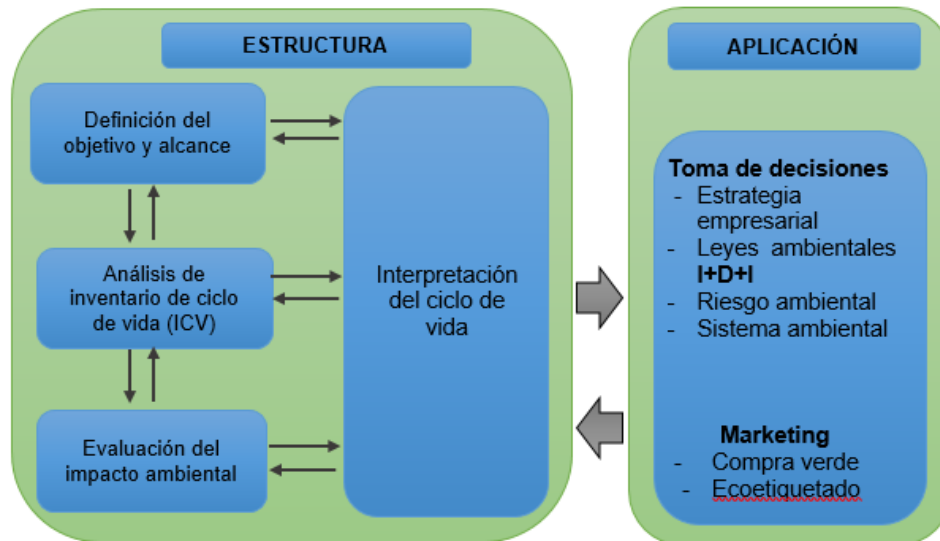


Figura 1. Metodología general para el análisis de ciclo de vida. Fuente: Cámara, 2012., editado por López T, 2020

3.2 Definición del objetivo y el alcance

El alcance de un ACV, incluyendo los límites del sistema y el nivel de detalle, depende del tema y del uso previsto del estudio. La profundidad y amplitud del ACV puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de un ACV en particular. Hay casos en los cuales el objetivo de un ACV se puede satisfacer desarrollando únicamente un análisis de inventario y una interpretación.” (ISO 14040, 2007; Vera y Cañón, 2018).

Para el servicio de aseo se tuvieron en cuenta los siguientes procesos:

- Recolección y transporte de residuos sólidos
- Disposición final de los residuos sólidos.

Estos procesos involucran alto consumo de combustible, materiales de construcción, insecticidas en la construcción de las celdas en el relleno. Los dos procesos presentan alto impacto en la generación de gases de efecto invernadero producto tanto de la producción de CO₂ por combustión del buldócer como de la descomposición de residuos sólidos en el relleno. Se seleccionó como unidad funcional una tonelada de residuos sólidos en el relleno.

3.3 Análisis del inventario

La fase de análisis del inventario del ciclo de vida es la segunda fase del ACV. Es un inventario de los datos de entrada/salida en relación con el sistema bajo estudio. Implica la recopilación de los datos necesarios para cumplir los objetivos del estudio definido (ISO 14040, 2007). Se realizó un inventario de datos de entrada y salida del proceso de aseo teniendo en cuenta las diferentes variables que influyen en este proceso (Ver Figura 2). En esta fase se tuvieron en cuenta las cantidades de cada uno de los insumos y energía consumida. En la etapa de búsqueda de información se tomaron dos tipos de fuentes:

Fuentes primarias

Con la colaboración del equipo administrativo y técnico de la empresa Empopamplona E.S.P. La información que la empresa suministro corresponde a seis meses de funcionamiento de la empresa de acuerdo a los datos actualizados del año inmediatamente anterior (2017). Las entradas y salidas de insumos, cantidades de energía utilizadas y demás variables fueron tabuladas. La tabla de materiales se organizó tomando la cantidad de cada uno de los materiales, y se calculó su peso unitario a partir de los catálogos de los fabricantes o por medición directa y luego se multiplicó por la cantidad de elementos usados y se obtuvo el valor total usado, por unidad de masa (Ortega, 2016).

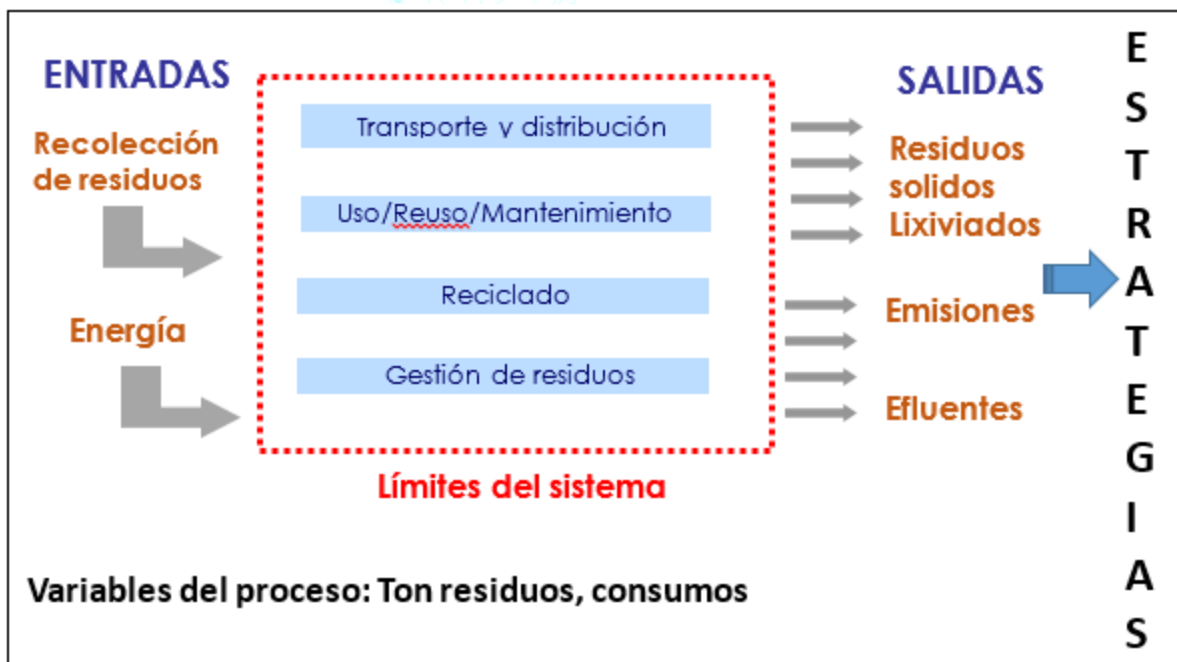


Figura 2. Análisis de inventario del proceso de aseo. Fuente: López T, 2020.

Posteriormente se toma el valor total y se divide por el valor de las unidades producidas en un año (m³, Ton), obteniéndose así un valor en términos de unidad de masa / unidad funcional. Para el servicio de aseo, se evaluaron 6 meses del año 2017 (enero a junio). En total 31 elementos usados, la unidad funcional es toneladas de residuos sólidos, con un total de 8679,49 toneladas en 6 meses de residuos recolectados y dispuestos en el relleno sanitario en 2017. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Entrada en Toneladas de residuos sólidos al relleno sanitario regional La Cortada.

TONELADAS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPIOS AÑO 2017							
MES	CHITAGA	CACOTA	MUTISCUA	CUCUTILLA	SILOS	PAMPLONA	TOTAL MES
ENERO	87.17	20.76	31.67	30.81	55.5	1231.9	1457.81
FEBRERO	78.5	16.9	32.2	32.1	53.8	1127.9	1341.4
MARZO	93.19	20.41	39.88	30.04	62.12	1280.4	1526.04
ABRIL	70.55	20.28	32.1	26.26	46.17	1149.6	1344.96
MAYO	88.32	17.79	39.94	29.3	51.8	1290.2	1517.35
JUNIO	82.42	20.95	32.1	29.38	48.98	1278.1	1491.93
TOTAL POR MUNICIPIO AÑO	500.15	117.09	207.89	177.89	318.37	7358.1	8679.49

Fuente: Empopamplona, 2017.

Fuentes secundarias:

Se utilizó la base de datos Ecoinvent Version 3.1 (2014). Es una base de datos del Centro de Inventarios de Ciclo de Vida, es un centro de competencia del Instituto Federal Suizo de Tecnología de Lausana, el Instituto Paul Scherrer, los laboratorios Federales Suizos para el Ensayo de Materiales e Investigación, y el Instituto de Ciencias de la Sostenibilidad (Rueda y Hernández, 2015; Velandia et al., 2016). El objetivo de esta herramienta es establecer y proporcionar una evaluación transparente, científica e internacional del ACV y los datos de gestión de ciclo de vida, para servicio de la industria, las consultorías, las autoridades públicas, y las instituciones de investigación. Los datos y servicios que apoyan la mejora del comportamiento medioambiental de sus productos, procesos y servicios. En el software LCA manager se estimó la caracterización del año 2017. (Tabla 2).

Tabla 2 Inventario de fuentes primarias y secundarias para el Servicio de Aseo. Caracterización 2017.

FLUJO	VALOR	UNIDAD	BASE DATOS	FAMILIA	MATERIAL/PROCESO
CARACTERIZACIÓN 2017					
Papel	53.23	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	Papel
Cartón	128.36	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	Cartón
Residuos de alimentos	399.28	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	Residuos de Alimento
PET	100.54	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	PET
PAD HDPE	1.52	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	PEAD
PVC	0.00	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	PVC
PEBD LDPE	20.12	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	PEBD
PP	34.16	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	PP
PS	9.04	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	PS
Otros	14.53	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	OTROS
Caucho y cuero	2.70	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	CAUCHO
Textiles	34.00	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	TEXTIL
Madera	0.68	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	MADERA
Productos metálicos	3.97	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	METAL
Vidrio	64.55	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	VIDRIO
Productos cerámicos	1.11	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	CENIZA
Huesos	1.56	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	HUESOS
Sanitarios y otros	121.10	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	OTROS
Residuos de jardín	9.53	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	RESIDUO ORGÁNICO	MADERA
Operación					
ACPM	0.70	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	ACPM
Aceite Hidráulico	0.00	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Aceite
Gasolina	0.08	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Gasolina
Electricidad	0.19	KWh	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Electricidad
Relleno	7.18	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Grava
PVC	0.01	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	PVC
Geotextil	0.02	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Geotextil/polipropileno
Polipropileno	0.01	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Geotextil/polipropileno
Polisombra	0.00	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Polisombra
Alambre	0.03	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Malla/Alambra
Malla	0.06	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Malla/Alambra
Insecticida	0.00	Kg	BD_Inventarios_Relleno_sanitario-copia.xls	CONSUMIBLE	Insecticida

Fuente: López T, 2020

3.5 Evaluación del impacto ambiental

La fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) es la tercera fase del ACV. El objetivo de la EICV es proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del inventario del ciclo de vida (ICV) de un sistema del producto a fin de comprender mejor su importancia ambiental. (ISO 14040, 2007).

Para la evaluación del impacto se usa la metodología CML 2001 (Frischknecht R. et al., 2007; Camargo, 2016; Rojas et al., 2019) considerando la base de datos Ecoinvent 3.1. En esta investigación se calcularon los factores de emisiones para el indicador ambiental del Calentamiento Global debido a la importancia y relevancia que tiene este indicador con el fin de buscar alternativas que reduzcan el impacto de la prestación de los servicios públicos.

Por lo tanto, se evaluaron las emisiones de gases de efecto invernadero tomando los factores expresados en el Potencial de Calentamiento Global con un horizonte de tiempo 100 años (GWP100) y medidos en kg CO₂-Equivalentes por Unidad Funcional UF. El ámbito geográfico de este indicador es a escala global. Se agregaron algunos factores de caracterización del método 100 GWP IPCC 2001: El metano, bromodifluoro, Halon 1201, metano, dichlorofluoro, HCFC-21, y el metano, iodotrifluoro (Frischknecht R. et al., 2007). Así mismo se tomaron en consideración los GEI como CH₄, N₂O, y CFCs. Su medida se hará relativa respecto al efecto producido por un kg de CO₂ y se calculará mediante la ecuación 1:

$$CCI = \sum GWP \times m \quad \text{Ec (1)}$$

Donde (m) es la masa de la substancia i expresada en kg y GWP es el potencial de calentamiento global, un factor desarrollado para comparar las emisiones de diferentes gases invernaderos. Se define como la relación entre la contribución a la absorción de calor resultante de la emisión de 1 kg de un gas con efecto invernadero y la emisión equivalente de CO₂ a lo largo de un tiempo T (100). Donde ai es el calentamiento producido por el aumento de la concentración de un gas i, W·m⁻²·kg⁻¹ y ci(t) es la concentración del gas i en el tiempo t, kg·m³. Los valores correspondientes al CO₂ se incluyen en el denominador. Los valores de GWP son publicados periódicamente por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático-IPCC. (Vallejo, 2004; Herrera, 2015).

3. RESULTADOS

Para el análisis del ciclo de vida del relleno sanitario regional “La Cortada”, se siguió la metodología descrita en la NTC ISO 14040, la cual rige el análisis de Ciclo de Vida. En este caso, se emplea como una metodología medioambiental para evaluar cargas ambientales generadas por el proceso de aseo en la empresa Empopamplona específicamente en el relleno sanitario “La Cortada”. Se pretende que a través de este análisis se generen propuestas de mitigación de contaminación al ambiente por parte del proceso de disposición final de residuos sólidos.

Se analizaron individualmente los datos primarios y secundarios. Los datos obtenidos se llevaron al LCA para su análisis. Se calculan los datos de emisión de Gases de Efecto Invernadero GEI. En el software LCA manager se estimó con datos de la caracterización del año 2017.

3.1 Modelación y simulación en el software LCA manager

La acción total de la operación de 6 meses del año 2017 del proceso de disposición final tiene una generación de:

El resultado de la caracterización realizada en el año 2017 genero: 1.118 E +03 kg CO₂ eq/ton.

3.1.1. Calentamiento Global

El resultado de la caracterización realizada en el año 2017 genero: 1.118 E +03 kg CO₂ eq/ton.

El resultado de la operación, construcción de celdas y mantenimiento género en el año 2017: 1.73 E+07 1.118 E +03 kg CO₂ eq/ton.

Los elementos de mayor Impacto GWP en el calentamiento global en unidades de Kg CO₂ eq. por componente son:

- Residuos de alimentos 6.06 E+02 kg CO₂ eq/ton.
- Plástico 3.49 E+02 kg CO₂ eq/ton (PET 2.89 E +02 kg CO₂ eq/ton, PEBD LDPE 2.96 E +02 kg CO₂ eq/ton).
- Textiles 2.60 E+01 kg CO₂ eq/ton).

Los resultados de la caracterización referentes al impacto en el calentamiento global por componente se presentan en la Figura 3.

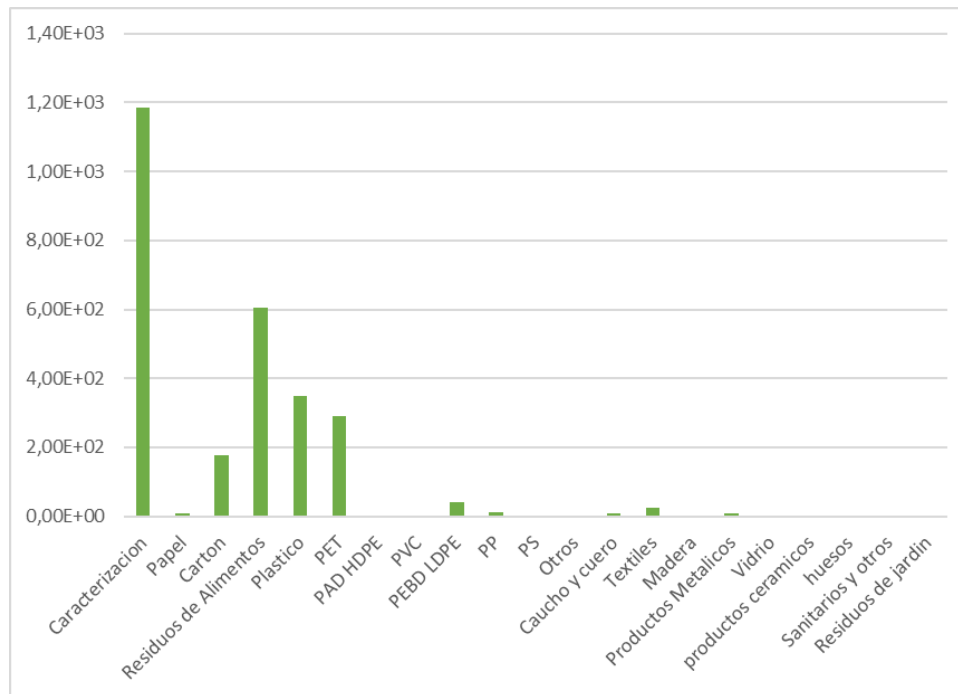


Figura 3 CML 2001-Calentamiento global (Kg CO₂ eq). Fuente: LÓPEZ T, 2020

3.1.2 Destrucción de la capa de ozono

El resultado de la caracterización realizada en el año 2017 genero: 3.08 E-05 Kg CFC-11 eq.
 El resultado de la operación, construcción de celdas y mantenimiento género en el año 2017: 3.08 E-05 Kg CFC-11 eq.

Los elementos de mayor Impacto GWP en la destrucción de la capa de ozono en unidades de Kg CFC-11 eq. por componente son:

- Residuos de alimentos: 6.06 E+02 Kg CFC-11 eq
- Plástico: 3.49 E+02 Kg CFC-11 eq
- PET: 1.23 E-09 Kg CFC-11 eq
- Caucho y cuero: 1.54 E-06 Kg CFC-11 eq
- Productos Metálicos: 6.37 E-07 Kg CFC-11 eq
- Textiles: 4.94 E-07 Kg CFC-11 eq
- Papel: 4.85 E-07 Kg CFC-11 eq
- Cartón: 3.74 E-07 Kg CFC-11 eq

Los resultados de la caracterización referentes al impacto en la destrucción de la capa de ozono por componente se presentan en la Figura 4.

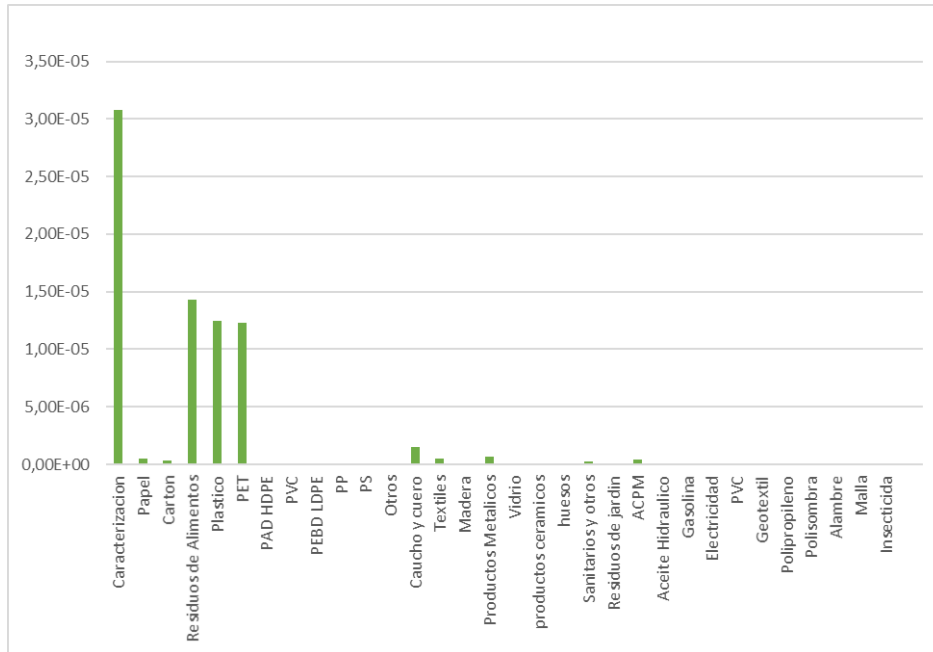


Figura 4 CML 2001-Destrucción capa de ozono (Kg CFC-11 eq). Fuente: LÓPEZ T, 2020

3.1.3 Toxicidad Humana

El resultado de la caracterización realizada en el año 2017: 2.87 E+02 Kg 1,4-DCB eq.

El resultado de la operación, construcción de celdas y mantenimiento género en el año 2017: 5.03 E+07 Kg 1,4-DCB eq.

Los elementos de mayor Impacto GWP en la toxicidad humana en unidades de Kg 1,4-DCB eq. por componente son:

- Residuos de alimentos: 1.15 E +02 Kg 1,4-DCB eq
- Plástico: 1.23 E+02 Kg 1,4-DCB eq
- PET: 1.16 E+02 Kg 1,4-DCB eq
- PP: 6.24 E+00 Kg 1,4-DCB eq
- Productos metálicos: 2.73 E+01 Kg 1,4-DCB eq
- Papel: 1.39 E+01 Kg 1,4-DCB eq

Los resultados de la caracterización referentes al impacto en la toxicidad humana por componente se presentan en la Figura 5.

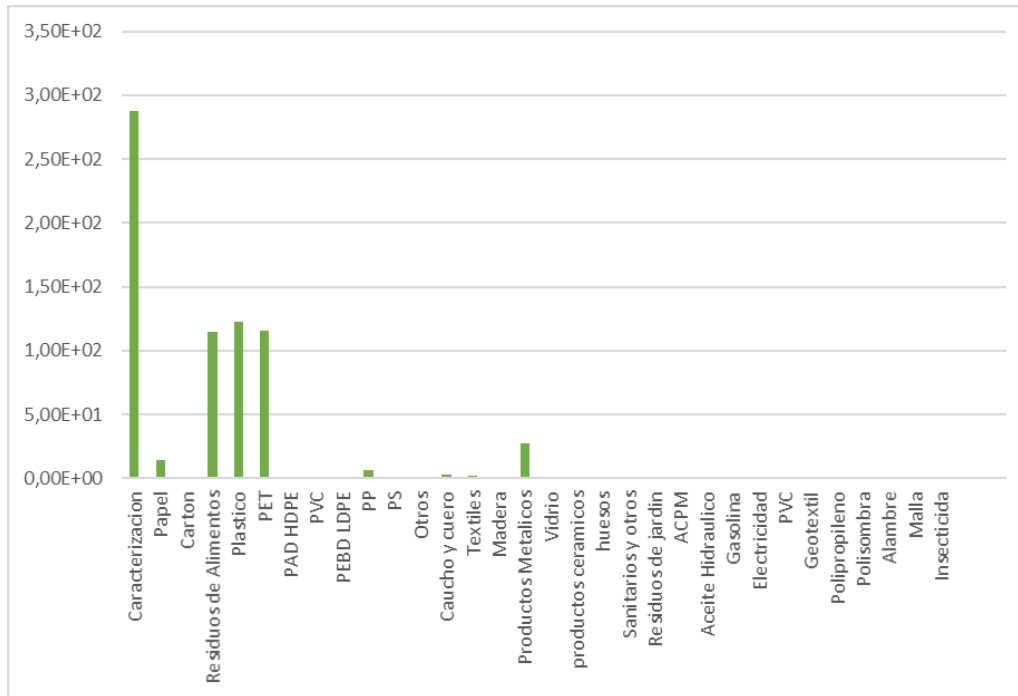


Figura 5. CML 2001-Toxicidad humana (Kg 1,4-DCB eq). **Fuente:** LÓPEZ T, 2020

3.1.4 Uso del suelo

El resultado de la caracterización realizada en el año 2017: 7.82 E+01 m²a.

El resultado de la operación, construcción de celdas y mantenimiento género en el año 2017: 7.80 E+03 m²a.

Los elementos de mayor Impacto GWP en el uso del suelo en unidades de m²a por componente son:

- Residuos de alimentos: 4.04 E+01 m²a
- Residuos de jardín: 1.89 E+01 m²a
- Plástico: 1.36 E +01 m²a
- PET: 1.33 E+01 m²a
- Papel: 1.26 E+00 m²a
- Cartón: 6.69 E-01 m²a
- Madera: 1.34 E+00 m²a
- Productos metálicos: 7.64 E-01 m²a
- Sanitarios y otros: 5.69 E -01 m²a

Los resultados de la caracterización referentes al impacto en el uso del suelo por componente se presentan en la Figura 6.

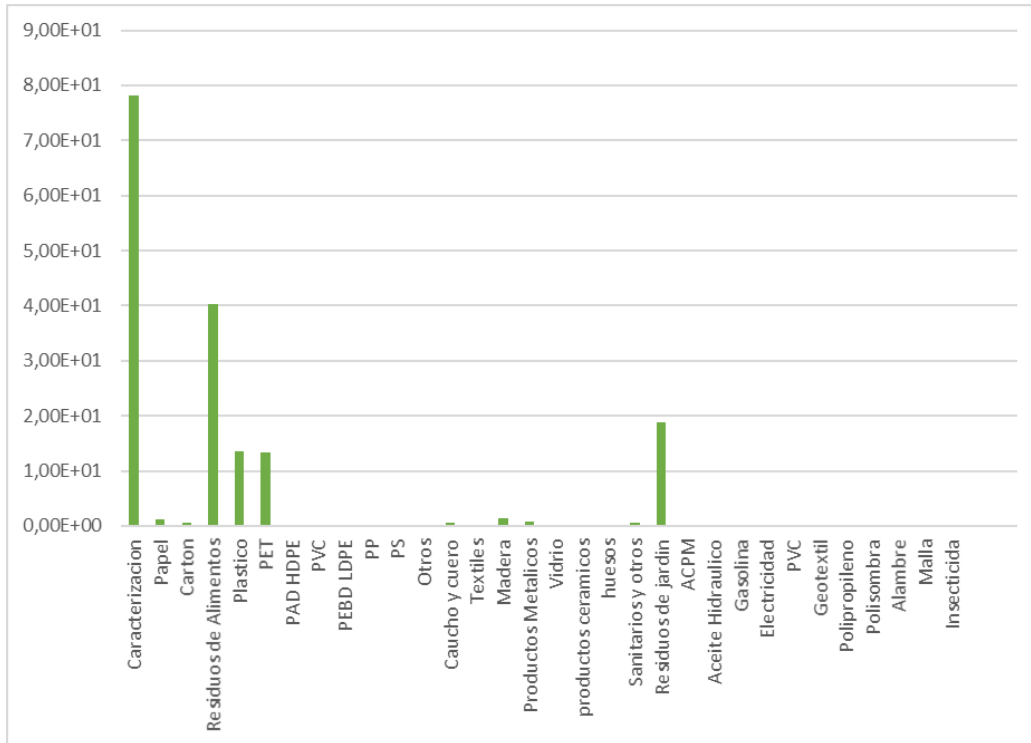


Figura 6 CML 2001-Uso del suelo (m²a). Fuente: LÓPEZ T, 2020

3.1.5 Ecotoxicidad Terrestre

El resultado de la caracterización realizada en el año 2017: 1.42 E-01 Kg 1,4-DCB eq.

El resultado de la operación, construcción de celdas y mantenimiento género en el año 2017: 2.58 E+07 Kg 1,4-DCB eq.

Los elementos de mayor Impacto GWP en la Ecotoxicidad terrestre en unidades de Kg 1,4-DCB eq. por componente son:

- Residuos de alimentos: 1.09 E-01
- Plástico: 2.05 E -02
- PET: 1.87 E-02
- Productos cerámicos: 4.23 E-03
- Papel: 1.49 E -03
- Residuos de Jardín: 1.38 E -03
- Cartón: 5.40 E-04

Los resultados de la caracterización referentes al impacto en la Ecotoxicidad terrestre por componente se presentan en la Figura 7.

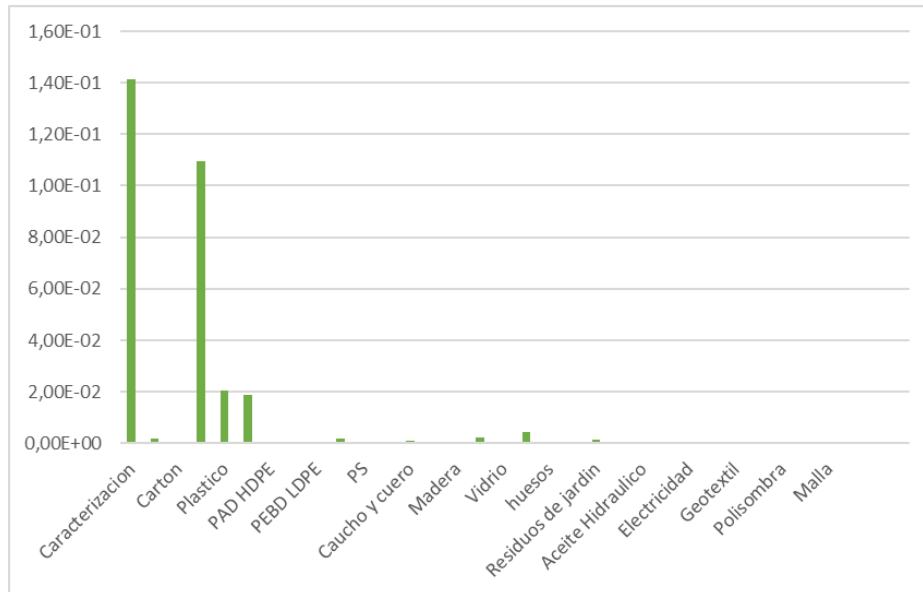


Figura 7. CML 2001-Ecotoxicidad terrestre (Kg 1,4-DCB eq). Fuente: LÓPEZ T, 2020

4.2 Calentamiento Global IPCC

En las Figuras 8 y 9 se observa que el grado de contaminación en unidades Kg de CO₂ equivalente que influye en el calentamiento global son similares para la metodología CML 2001 e IPCC 2007, identificando que los residuos de alimentos influyen en el 50% de este grado de contaminación (Moreno y Rueda, 2016; Trujillo et al., 2019). En consecuencia, estos residuos orgánicos generados por las actividades diarias de los hogares del municipio representan gran impacto al medio ambiente. Por otra parte, el plástico y el cartón representan respectivamente el 29% y el 15% del impacto sobre el calentamiento global, expresado en unidades de Kg de CO₂ eq.

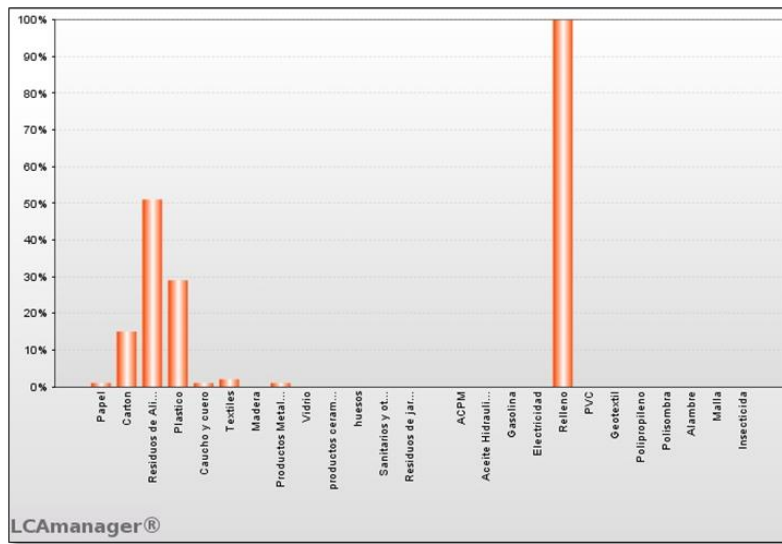


Figura 8. CML 2001-Calentamiento global (Kg CO2 eq.). Fuente: LÓPEZ T, 2020

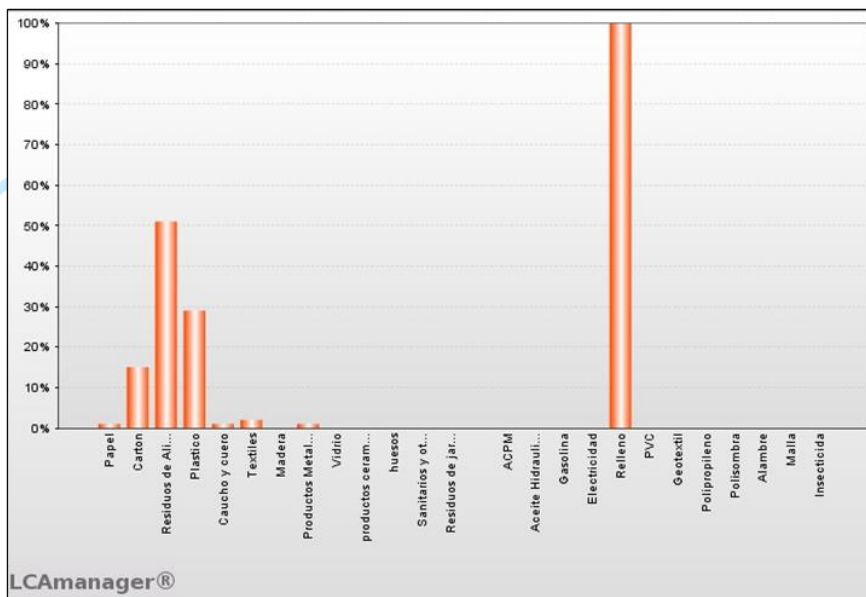


Figura 9. IPCC 2007-Calentamiento global (Kg CO2 eq.). Fuente: LÓPEZ T, 2020

A diferencia de las anteriores metodologías aplicadas (CML 2001 e IPCC 2007), la metodología IPCC 2013 presenta variación en los porcentajes del impacto sobre el calentamiento global en los principales componentes de la caracterización correspondientes a residuos de alimentos, plástico y cartón representando el 47%, 28% y 21% respectivamente. Además, disminuye a 0% el impacto del papel sobre el calentamiento global (Gutierrez et al., 2016) (Ver Figura 10).

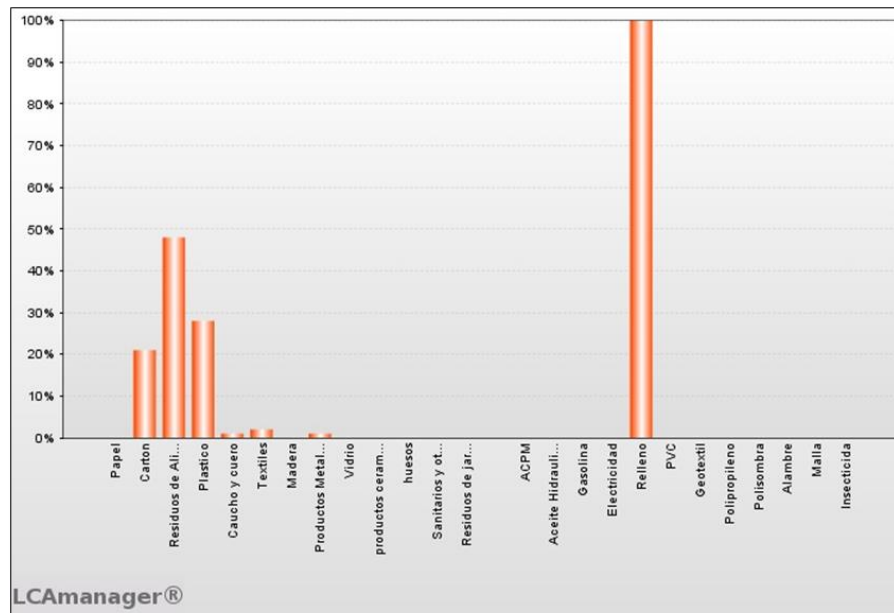


Figura 10. IPCC 2013-Calentamiento global (Kg CO₂ eq.). Fuente: LÓPEZ T, 2020

En la Figura 11 se observa el impacto sobre la eutrofización que tienen los componentes de la caracterización de residuos sólidos. Los residuos de alimentos representan el 59% expresado en unidades de Kg de PO₄ equivalente (Páez-Amaya et al., 2016). De igual forma como se apreció en los impactos sobre el calentamiento global, el plástico y el cartón generan en menor proporción impactos sobre la eutrofización en comparación con los residuos de alimentos. El vidrio y la madera no representan impacto a la eutrofización.

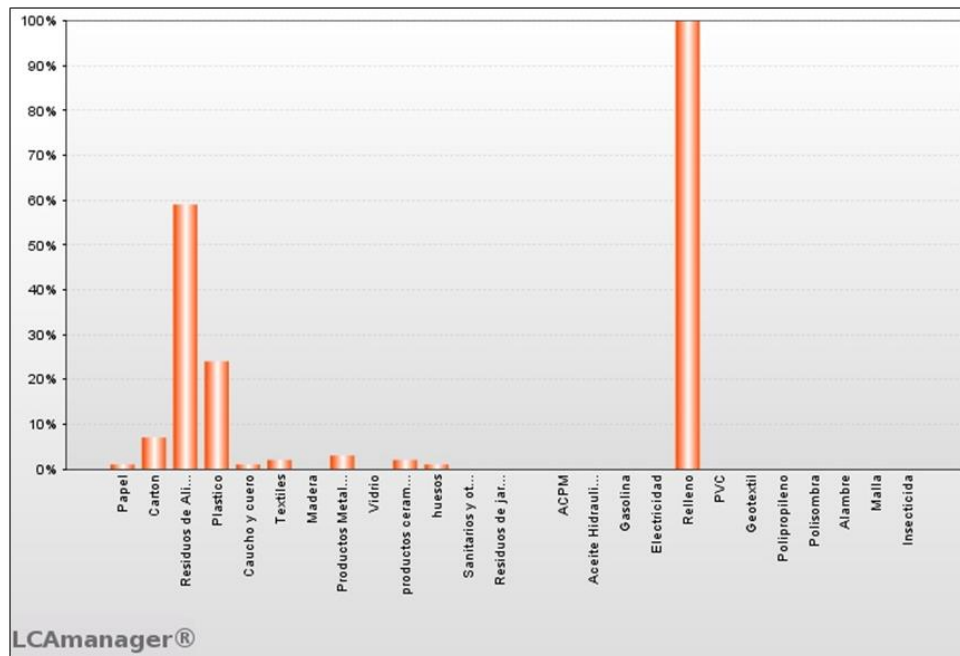


Figura 11. CML 2001-Eutrofización (Kg PO₄ eq). Fuente: LÓPEZ T, 2020

Los impactos generados por los componentes de la caracterización de residuos sólidos sobre la oxidación fotoquímica se representan en la Figura 12. Según se observa, los componentes de residuos de alimentos, plástico y cartón son los responsables de esta contaminación. El principal contribuyente son los residuos de alimentos que alcanzan un 88% en unidades de Kg de etileno equivalente, a diferencia de los otros dos componentes que son inferiores al 10%. Cabe resaltar que los demás componentes de la caracterización no influyen en la oxidación fotoquímica.

Las metodologías CML 2001, IPCC 2007 e IPCC 2013 establecen que el mayor componente que impacta en el calentamiento global en unidades de Kg de CO₂ equivalente son los residuos de alimentos debido a que su proceso de descomposición o degradación es más rápido a diferencia de los otros componentes. (Ver Figura 13). El plástico y el cartón representan el 30% y el 17% respectivamente en el impacto en el calentamiento global y en menor proporción los componentes papel, caucho y cuero, textiles y productos metálicos. Por otra parte, los componentes restantes no influyen en este impacto.

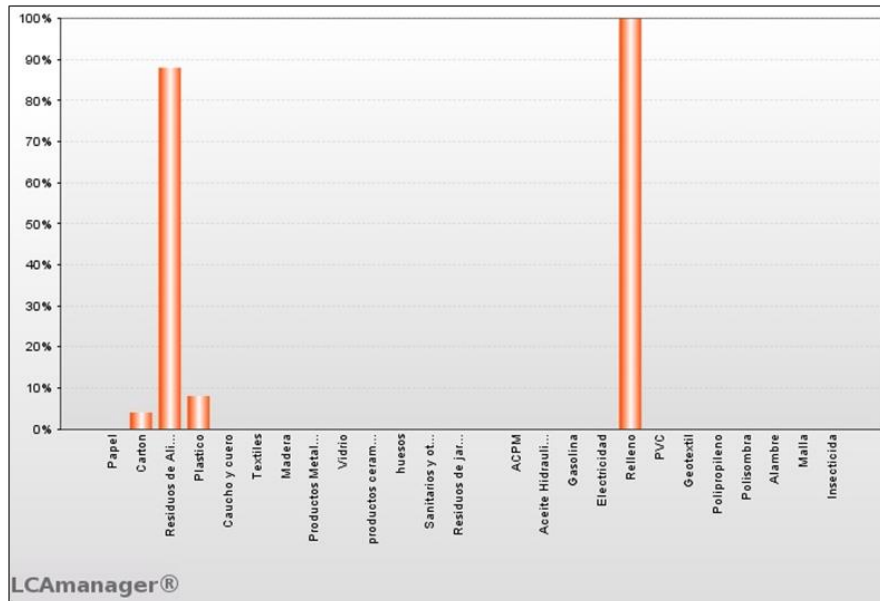


Figura 12. CML 2001-Oxidación fotoquímica (Kg etileno eq.). Fuente: LÓPEZ T, 2020.

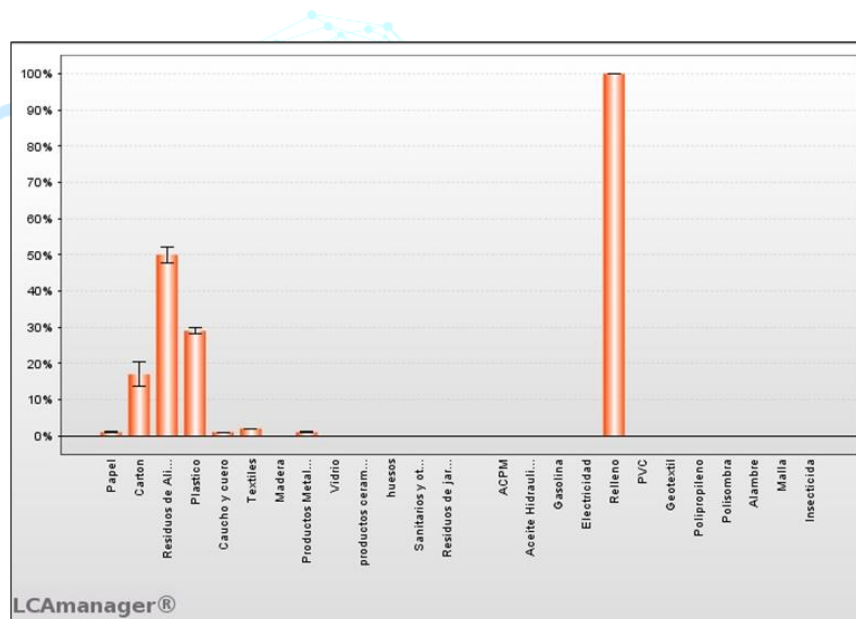


Figura 13. Perfil ambiental de comparación de metodologías CML 2001-IPCC 2007-IPCC 2013. Fuente: LÓPEZ T, 2020.

Los residuos de alimentos generan el mayor impacto sobre el medio ambiente de acuerdo a los resultados obtenidos en el software LCA manager (Ver Figura 14) (Meneses et al., 2016). Esto indica que este componente es el principal influyente con 70% en el calentamiento global en unidades de Kg de CO₂ eq., eutrofización en unidades de Kg de PO₄ eq. y oxidación fotoquímica en unidades de Kg de etileno eq. Por otra parte, el plástico es el segundo componente que

representa mayor impacto con un porcentaje de 21. Los demás componentes no son significantes sobre estos impactos.

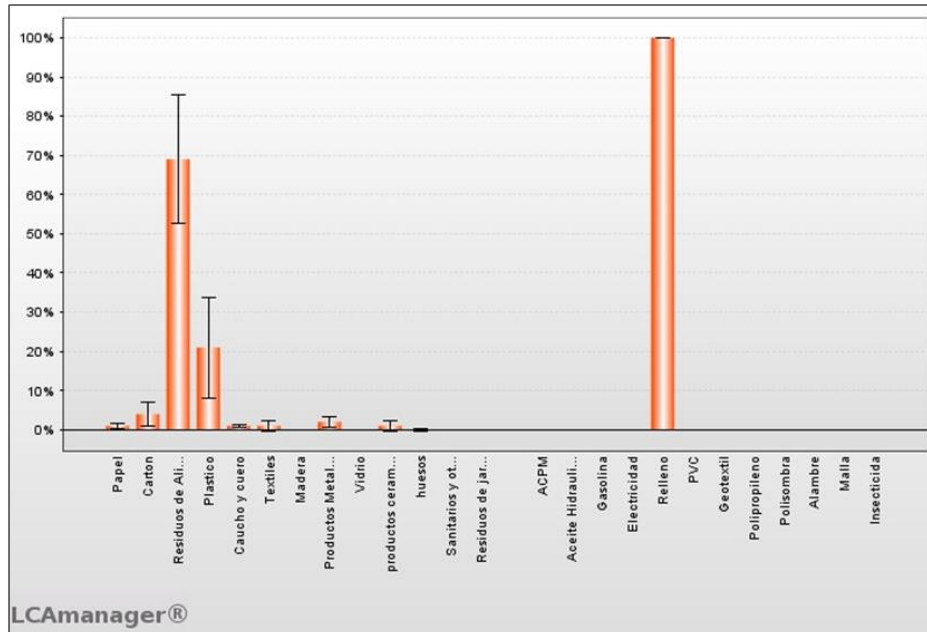


Figura 14. Perfil ambiental de los impactos generados por los residuos sólidos. Fuente: LÓPEZ

5 CONCLUSIONES

Los residuos de alimentos y los plásticos entre los que destaca en mayor proporción el polietileno tereftalato (PET), son los componentes que generan mayor impacto sobre el calentamiento global en kg de CO₂ eq., la destrucción de la capa de ozono en kg de CFC-11 eq., la toxicidad humana y ecotoxicidad terrestre en kg de 1,4-DCB eq., según la metodología CML 2001.

Las metodologías CML 2001, IPCC 2007 e IPCC 2013 establecen que el mayor componente que impacta en el calentamiento global en unidades de Kg de CO₂ equivalente son los residuos de alimentos debido a que su proceso de descomposición o degradación es más rápido a diferencia de los otros componentes. El plástico y el cartón representan el 30% y el 17% respectivamente en el impacto en el calentamiento global y en menor proporción los componentes papel, caucho y cuero, textiles y productos metálicos. Por otra parte, los componentes restantes no influyen en este impacto.

Los residuos de alimentos generan el mayor impacto sobre el medio ambiente siendo el principal que influye en un 70% en el calentamiento global en unidades de Kg de CO₂ eq., eutrofización en unidades de Kg de PO₄ eq. y oxidación fotoquímica en unidades de Kg de etileno eq. Por otra parte, el plástico es el segundo componente que representa mayor impacto con un porcentaje de 21. Los demás componentes no son significantes sobre estos impactos.

La empresa debe realizar la aplicación efectiva de las estrategias de reducción de emisiones de CO₂eq, como la disminución en el consumo de insumos, la sustitución de combustibles y prioritariamente la implementación de un sistema de quema o aprovechamiento de Metano. Las celdas no presentan un adecuado manejo de los gases debido a que espacialmente no están bien distribuidas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abhishek Kumar Mishra | Nora H. de Leeuw. Journal of CO₂ Utilization Open Access Articles.
Araque Leal Rafael Alexander. Valoración del impacto ambiental del calentamiento global en los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo mediante la aplicación del análisis del ciclo de vida caso de estudio Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Trabajo de grado.

Bovea M.D, Ibanez-Fores V, Gallardo A and Colomer-Mendoza F.J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. 2010. 2383-2395.

Camargo, W. C. (2016). MODELACION HIDROLOGICO-HIDRAULICA DE EVENTOS DE INUNDACION EN EL RIO BOGOTA (SECTOR TOCANZIPE-CHIA) USANDO HEC-RAS. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3267>

Velandia, F. J., Granados, J. D., Ramón, J. D. y Roa, A. L. (2016). Caracterización de consorcios microbianos con potencial degradador de contaminantes en el municipio de Pamplona, Norte de Santander. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3278>

Goicochea- Cardoso, O. Evaluacion ambiental del manejo de residuos solidos domesticos en La Habana, Cuba. 2013. 263-274.

Gregory A. Keoleian. Product Life Cycle Assessment to Reduce Health Risks and Environmental Impacts 1st Edition.

Gutierrez, T., Castellanos, C. y Hernández, N. (2016). El ordenamiento territorial frente a las consecuencias de los cambios climáticos. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3338>.

Herrera, M. E. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (6), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2015.3243>

Quetzalli Aguilar-Virgen, Paul Taboada-González, Sara Ojeda-Benítez. Potencial de producción eléctrica del biogás generado en un relleno sanitario. 2011. 56-65.

Ivanova, Y. y Sarmiento, A. (2014). Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de la gestión del agua en el territorio urbano. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (4), Numero (2), 1-5. DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2013.427>

Jhuma Sadhukhan and Kok Siew. Sustainable availability and utilization of wastes Ng, University of Surrey, UK Editor-in-chief: Adisa Azapagic, University of Manchester, UK.

Meneses, V. B., Álzate, D. y Mosquera, J. (2016). Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3268>

Moreno, C. y Rueda, L. (2016). La educación ambiental como herramienta para la recuperación de la cobertura vegetal, mediante prácticas agro-ecológicas en la comunidad minera asograstorres, asociación de gravilleros de Sabana de Torres. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3260>

Ortega, J. Y. (2016). Estructura ecológica principal de la cuenca del Río Pamplonita. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3258>

Páez-Amaya, D., Arias-Hernandez, N.A. and Molina-Prado, M.L., Interfaz gráfica para el análisis de las fuerzas de captura en una pinza óptica usando las aproximaciones de Rayleigh y Mie. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 14(2), pp. 182-193, 2016. DOI: 10.24054/01204211.v2.n2.2016.2192

Pinzón Uribe Luis Felipe. Influencia de los rellenos sanitarios en el cambio climático. Ing. Geógrafo, Ms.C, Profesor asistente, Facultad de Ingeniería, Investigador grupo TAYQUITE Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia

Rivera, H. U., Suárez, A. P. y Vera, L. Y. (2017). Análisis del ciclo de vida de la cerveza artesanal matrona. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2017.3269>

Rojas, C. L., Flórez, E., & Serrano, J. C. (2019). Diseño del álabe de un aerogenerador horizontal de baja potencia. BISTUA Revista de la Facultad de Ciencia Básicas, 17(1), 219-229.

Rueda J, Hernández A. (2015). Growth of single-cristalline strontium titanate fibers using LHPG. BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas 13: 24-28. <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2015.1796>

Thornley Patricia. Life Cycle Assessment Approach Combines Environmental with Economic Factors to Determine Greenhouse Gas Reductions for Varying Forms of Bioenergy. *University of Manchester, UK*.

Trujillo, J. E., Caballero, J. E. y Ramón, J. D. (2019). Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado PM10 del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (10), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2019.3957>

Velez Ruiz, M. A. Elaboración del Inventario para el análisis del ciclo de vida de suelos adicionados con polímeros y su aplicación para su estabilización de vías terciarias. Medellín. 2014. Trabajo de grado.

Vera, J. y Cañón, J. (2018). El valor agregado de un sistema de gestión ambiental más allá de la certificación. Revista de la Facultad de Ciencia Básicas, 16(1), 86-91.