



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Facultad de ciencias de la electrónica

**Proyecto: Análisis de Ciclo de vida del relleno sanitario el Chiltepeque  
y su uso para producción de Biogás**

Presentan:

Carrasco Fuente Tomas

Díaz Rojas Daniel Martín

López González Hallan Carlos

Vargas Montes José Angel

Materia: Ciclo de vida e ingeniería sustentable

Docente: Ricardo Vázquez Perales

Primavera 2020

**Resumen :**

En base a bibliografía consultada un análisis de ciclo de vida para el relleno sanitario para residuos sólidos urbanos “El Chiltepeque” es presentado. Los inventarios presentados serán comparados con otras metrópolis en México con el fin de determinar el nivel de contaminación de este. Su potencial uso para la generación de biogás considerando la materia orgánica presente es analizado.

**I. Introducción**

La actividad humana genera residuos, los cuales han crecido a la par del crecimiento demográfico y económico. De acuerdo con el banco mundial [1] los desechos a nivel mundial crecerán 70% para 2050, por lo cual se requiere un correcto manejo de los residuos. En este sentido existen diferentes formas de disponer de estos, entre los que se encuentran los rellenos sanitarios.

Los rellenos sanitarios son extensiones de tierra especialmente diseñadas para la disposición final de residuos que cumplen con especificaciones de impermeabilización para los lixiviados [2]. Los residuos se clasifican en residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial y residuos peligrosos. Los primeros, conocidos como “basura”, son aquellos generados en hogares, comercios o vía pública. Los segundos son producidos por grandes generadores y los terceros poseen alguna característica de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contenga agentes infecciosos[3].

En México, para el manejo de RSU los rellenos sanitarios constituyen la mejor solución para para su disposición final[2]. En México se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93% y se disponen en sitios de disposición final 78.54%, reciclando únicamente el 9.63% de los residuos generados[2]. Al igual que en el resto del mundo se espera que en México la cantidad de RSU también aumente en proporción.

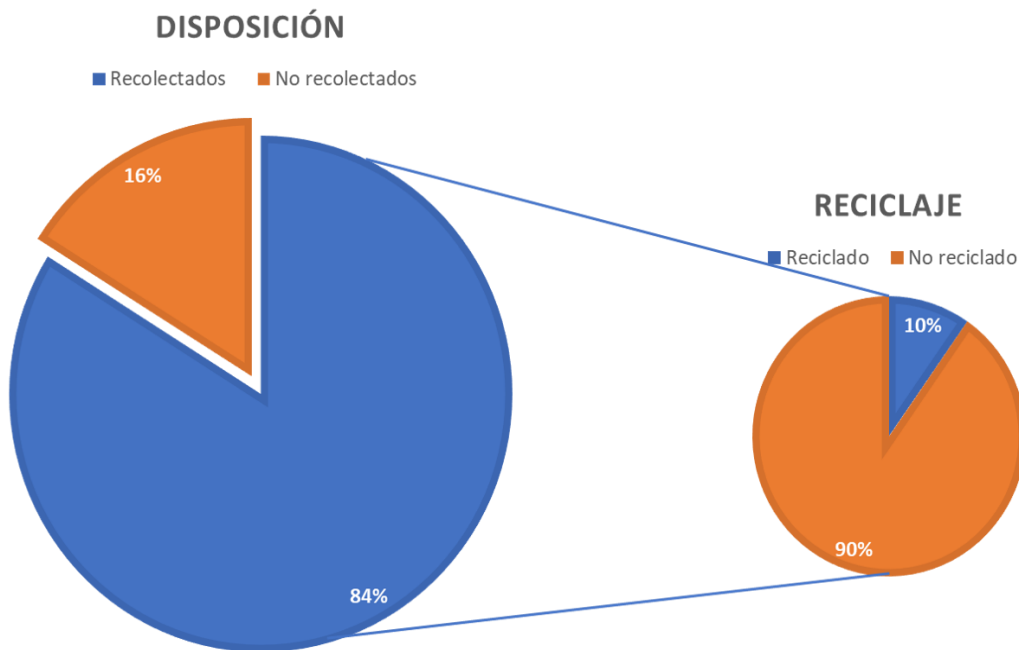


Figura 1.- Gráfica de los residuos sólidos recolectados y de ellos cuales se reciclan.

Para Puebla, se estima que se generan del orden de 1,700 Ton. de RSU por día de acuerdo con datos estadísticos proporcionados por el concesionario del Relleno Sanitario de la Ciudad de Puebla RESA (2011)[4]. El municipio representa en población el 25.55% del total estatal. Esta metrópoli es de las que más residuos producen en el país, por lo cual se abordará su estudio con un análisis de ciclo de vida. Balances finales serán presentados y la cantidad de energía que puede generar será estimada.

Se estudiarán además los RSU manejados en el relleno sanitario Chiltepeque ya que estos al contener componentes orgánicos son potencialmente útiles para la producción de energía.

## II. Objetivos

### II.1 Objetivo General:

Cuantificar mediante un análisis de ciclo de vida y el sistema Stan 2, los flujos de materia de un relleno sanitario de manejo de residuos para determinar su potencial uso para la producción de energía.

## **II.2 Objetivos particulares:**

- Identificar los impactos ambientales que genera el relleno sanitario
- Determinar flujos de materia
- De acuerdo con información documentada estimar los flujos de energía que pueden ser generados por la descomposición de los residuos.

## **III. Metodología**

### **III. 1.- Objeto de estudio y alcance**

El objeto de estudio es el análisis de ciclo de vida del relleno sanitario el Chiltepeque. Este recibe diariamente los más de 1700 toneladas de RSU generados por la metrópoli. El alcance del proyecto se ve limitado por el acceso a información sobre este. Sin embargo, información relevante sobre este [5] será el punto de partida para su comparación con otros rellenos sanitarios. En una celda del relleno ya se genera biogás y aunque algunas fuentes señalan que es ineficiente [6] este estudio se centra en cuánto podría producir basándose en la cantidad de residuos que recibe y su composición.

### **III. 2.- Unidad funcional**

La unidad funcional es de 1 toneladas de basura. Esto permitirá comparar posteriormente con otros rellenos sanitarios.

### **III: 3.- Límites del sistema**

- Espacial: Los residuos generados en la extensión territorial de Puebla de 206.6  $km^2$  y que llegan al relleno sanitario de chiltepeque.
- Límite temporal: Se consideran datos bibliográficos de 2011, aún así de acuerdo con datos oficiales de 2008 el contenido de cada material en los residuos parece ser constante[4]. Se considera únicamente su impacto en funcionamiento mas no en construcción o en cierre.
- Límite por tipo de residuos: Se consideran únicamente los residuos sólidos urbanos.

### III.4.- Descripción del sistema de gestión de residuos

Como se ha mencionado anteriormente la información oficial del gobierno de Puebla capital reporta que se generan alrededor de 1700 toneladas de residuos, para sus 1576 millones de habitantes, estos son manejados por el relleno sanitario el Chiltepeque.

El relleno sanitario Chiltepeque se encuentra ubicado en el suroeste de la ciudad de Puebla, a una distancia aproximada de 15 Km. se ubica en el flanco este de una barranca llamada “El guaje”, perteneciente a la población de Santo Tomás Chautla. Forma un predio de aproximadamente 67 Has., a una altitud de 2200 msnm. Recibiendo 1700 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos. La construcción del vertedero quedó finalizada para el año de 1994, en 2003 presentó incumplimientos a la NOM-083 Semarnat-2003 y a la Ley General de Equilibrio ecológico, sin embargo, hoy presenta la expansión de su capacidad hasta por 8 años más, con una gestión sin contratiempos.



Figura 2.-Localización del relleno sanitario a estudiar.

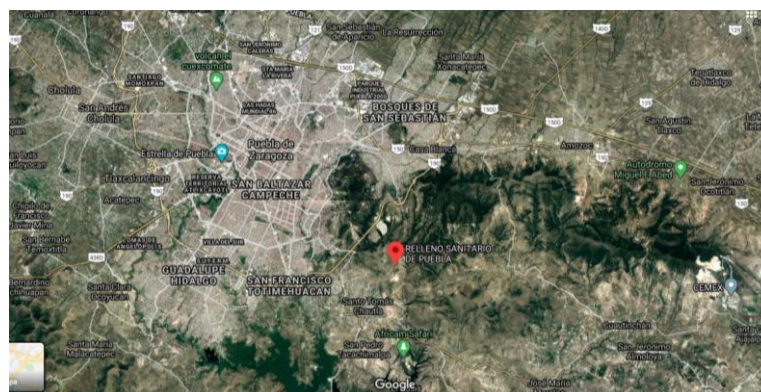


Figura 3.- Localización del relleno sanitario dentro de la ciudad de Puebla.

Dentro del sistema se considera el uso de energía por vehículos motorizados para su recolección, esto es recurrente en varios puntos del país. Un análisis de costos respecto a esto será presentado en la parte de comparación. Sin embargo, no se consideran costos de mano de obra ni la energía utilizada por trabajadores. La caracterización del sistema es

amplia (aunque podría ampliarse) e incluye la suposición del uso de los residuos para generación de energía, como se describe en el siguiente diagrama:

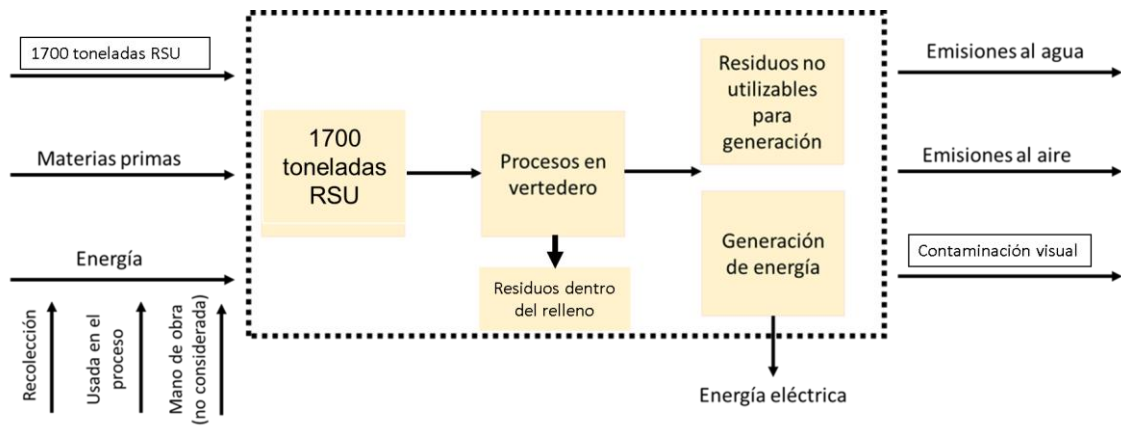


Figura 4.- Diagrama de flujo con lo que se va a cuantificar.

En este diagrama se observa el proceso que ocurre dentro del vertedero. Se toman en cuenta como entrada la cantidad de RSU que entran, que necesitan de insumos y energía para su procesamiento, la energía es en la recolección, la que se usa en el proceso y la mano de obra.

Dentro del vertedero se procesan estas 1700 toneladas. Es importante señalar que este proceso es de disposición final por lo cual los residuos que queden en el relleno serán prácticamente los mismos a un ritmo de degradación lento. En este sentido se propone el uso de los residuos orgánicos para generación eléctrica, como se menciona en la sección VII.

Así, las salidas de este proceso son diferentes contaminantes que serán detallados en impactos ambientales, energía eléctrica que será estimada y otro tipo de contaminación como es la visual que es producto de observación y fue detallada con anterioridad. No nos concentraremos en este tipo de contaminación ni en aquellas que no pudieron ser medidas.

## IV. Impactos ambientales

### IV. 1 Impactos ambientales en construcción

Este proyecto inevitablemente involucra actividades de despeje y movimientos de tierra en el área, para habilitar la construcción y operación del Relleno, ¿pero serán intervenido? sólo aquellas que sean necesarias. A su vez, el material de cobertura diaria se obtendrá de las excavaciones de los vasos del relleno sanitario.

Con base en la información recabada en diferentes fuentes el impacto ambiental aproximado por la fase de la construcción de esta obra civil contribuye con el 10% de las emisiones por dicha fase.[7]. El porcentaje aproximado se contabiliza: en 400,20 ton equivalentes Potencial de Calentamiento Global (PCG)

### IV.2 Impactos ambientales en funcionamiento

Este relleno en 2013 no ha cumplido con la normatividad mexicana en materia de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos Norma Oficial NOM-083-Semarnat-2003 y de acuerdo con la verificación de las visitas, se han documentado deficiencias en el control y manejo de biogás, mal olor, fauna nociva, fallas en la cobertura diaria y estabilidad de los taludes, resaltando un ineficiente control y manejo de lixiviados depositados en el cauce de la Barranca de El Ahuaje, lo que significa un alto riesgo para la salud pública y el entorno natural de la región.

Respecto a la norma esto fue subsanado y se informa ahora se cumple con cada regulación. Un punto a favor es que adquirió el certificado de *calidad ambiental* en el 2015 [6], sin embargo, llama la atención que no se tiene consolidado un sistema de separación y valorización de los residuos ni un sistema de gestión y manejo de biogás. Estas emisiones han sido un fuerte problema de residuos.



Figura 5.- Relleno sanitario “Chiltepeque”

De tal forma, en esta sección nos limitamos a estimar el impacto ambiental en la fase de construcción, más adelante serán presentados los impactos actuales más relevantes mediante inventarios que, aunque si bien representan la aproximación más cercana de la realidad no abarcan los daños que hemos comentado en la historia del relleno como pueden ser contaminación visual o al agua. Si este mismo estudio hubiera sido realizado hace años cuando, como mencionamos, no se cumplía con la Norma Oficial los resultados serían devastadores.

Como sumatoria, podemos presentar el siguiente análisis de Fortalezas y debilidades dentro del relleno:

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenta con el apoyo y respaldo de los tres órdenes de gobierno</li> <li>• Actualmente el manejo de lixiviados y de impactos ambientales es claramente presentado</li> <li>• Actualmente cumple con las normas</li> <li>• Vida útil de hasta 40 años</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos ambientales en fauna son poco documentados</li> <li>• Impactos ambientales de celdas pasadas (antes de 2008) son poco documentados</li> <li>• No se ha consolidado un sistema de separación y valorización de residuos</li> <li>• El ritmo de crecimiento de la población de municipio es preocupante por los espacios acotados del relleno</li> <li>• Hay manejo de biogás sólo en algunas partes</li> </ul>

Tabla 1.- Análisis FODA del relleno

### V.- Análisis de inventarios

Con base a bibliografía [4,5] se contabilizan los materiales que recibe el relleno en las siguientes cantidades



## Análisis de Ciclo de vida del relleno sanitario el Chiltepeque

Material	Peso [Kg]
Materia Orgánica	873800
Papel y Cartón	241400
Vidrio	219300
Plástico	57800
Metales	37400
Otros.	272000

Tabla 2.- Cantidad de residuos en el relleno

De manera análoga para el análisis de la unidad funcional sino de la composición del total tenemos:

Material	Peso [Kg]
Materia Orgánica	514
Papel y Cartón	142
Vidrio	129
Plástico	34
Metales	22
Otros.	160

Tabla 3.- Materiales por unidad funcional

Se realiza la conversión a la unidad funcional, debido a que esta será lo que comparemos con otros rellenos y no el total de RSU que se reciben. Así, la composición en porcentajes de acuerdo con el tipo de residuo será importante para poder buscar, comparar y estimar producción de Biogás. En este caso estos porcentajes son:

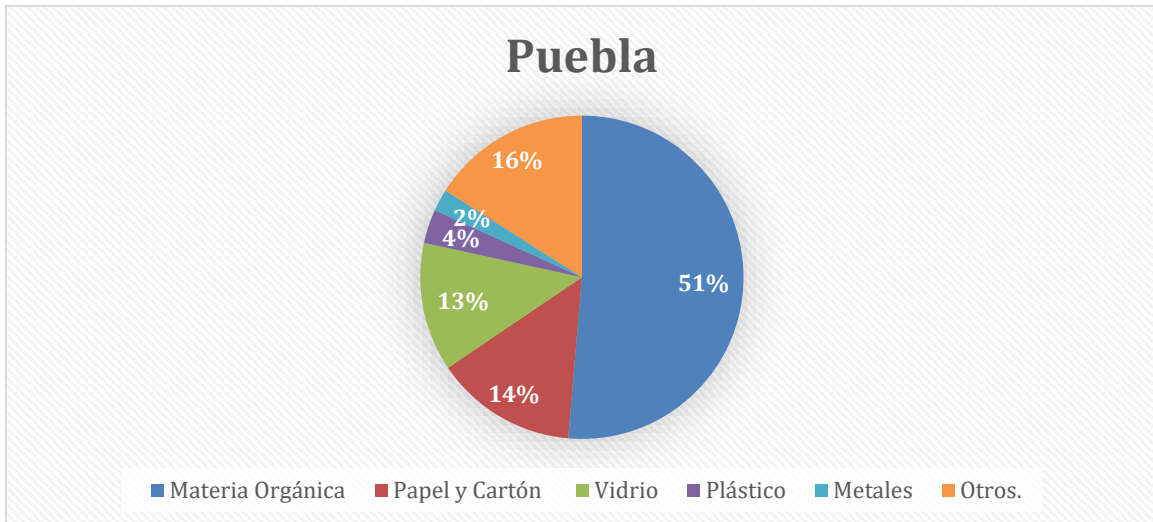


Figura 6. Desechos en el relleno

Respecto a los impactos ambientales considerados dentro de este relleno sanitario se consideran:

- PCG: Potencial de calentamiento global
- PA: Potencial de acidificación
- PDCO: Potencial de destrucción de la capa de ozono
- PTH: Potencial de toxicidad humana
- PEc: Potencial de ecotoxicidad
- PEu: Potencial de eutrofización
- PRS: Indicador producción de residuos sólidos se refiere a la cantidad de RSU que finalmente llega al vertedero.
- USV: Indicador uso de suelo en vertedero

Teniendo los siguientes resultados:

			PCG	PA	PDC O	PTH	PEc	PEu	CE	US V	PRS
PUEBL A	Verteder o / 1000 Kg		Kg	g	mg	Dm <sup>3</sup>	Dm <sup>3</sup>	g	MJ	Dm <sup>2</sup>	Kg

		Recolección y Transporte	14.45	187.85	15.53	7,364	0.1	31.5	168.75	-	-
		Proceso y Vertedero	4,163.07	93.88	5.01	3,546.00	0.82	18.01	54.48	4.1	1,000
		Total	4177.52	281.73	20.54	10910	0.92	49.51	223.23	4.1	1000

Tabla 4.- Cantidades de residuos dentro del relleno.

## VI. Comparación entre sistemas de gestión

De acuerdo con bibliografía [5,8] se obtuvieron también los impactos ambientales de los rellenos Sanitarios de la cañada en el estado de México y de Barcelona, estos se presentan a continuación:

			PCG	PA	PDC	PTH	PEc	PEu	CE	USV	PRS
			Kg	g	mg	Dm3	Dm3	g	MJ	Dm <sup>2</sup>	Kg
PUEBLA	Vertedero / 1000 Kg	Recolección y Transporte	14.45	187.85	15.53	7,364	0.1	31.5	168.75	-	-
		Proceso y Vertedero	4,163.07	93.88	5.01	3,546.00	0.82	18.01	54.48	4.1	1,000
		Total	4177.52	281.73	20.54	10910	0.92	49.51	223.23	4.1	1000
La cañada (Estado de México)			4218.3	293.41	22.93	21832	0.87	37.13	554.17	-	1000

Barcelona	2154.	97.6	28	4560	12.	68.	774.	2.8	100
	66	8		9	06	09	17	4	0

Tabla 5.- Cantidad de impactos ambientales equivalentes

Al tener los datos de la cantidad de emisiones que estos rellenos sanitarios están generando, se puede empezar a realizar la comparación entre ellos con el de nuestro objeto de estudio que es el que se encuentra en la ciudad de Puebla. Los datos del relleno sanitario del estado de México se obtuvieron en base a un informe respecto a la protección civil de los basureros de la ciudad.

**PCG.** El potencial de calentamiento global se está midiendo en kg de CO<sub>2</sub>. Y viendo las cantidades, se observa que en el relleno sanitario de Puebla y en el de La cañada, ubicado en el estado de México, tienen al menos un 50% más cantidad de emisión de CO<sub>2</sub>, ya que tanto en Puebla como en la cañada, no se encuentra adaptado un sistema de captación para las emisiones que generan los residuos orgánicos e inorgánicos, al contrario del rellenos en la ciudad de Barcelona.

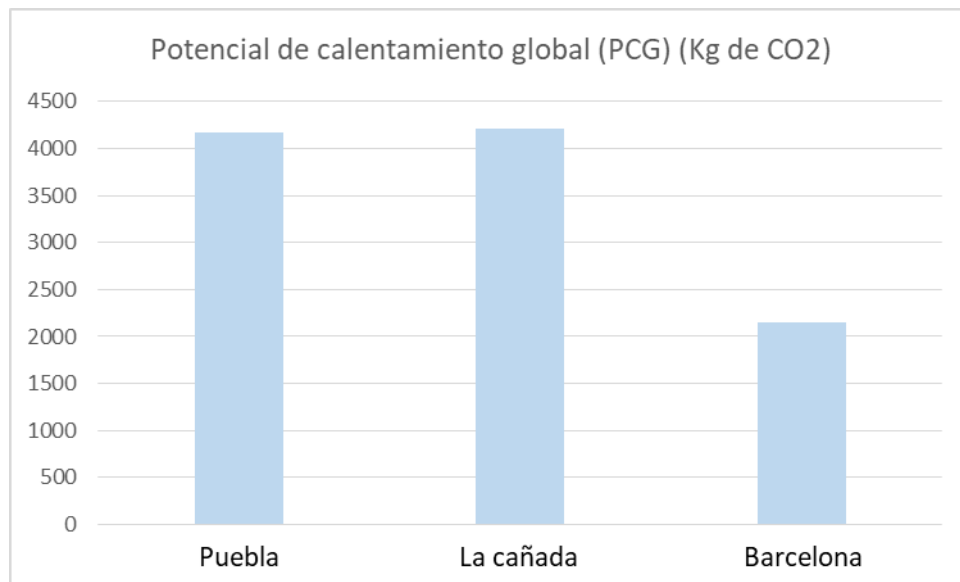


Figura 7. Potencial de calentamiento global en los tres rellenos sanitarios.

**PA.** Dentro del potencial de acidificación se refiere a la tendencia de un elemento a volverse acidificante, tomando en cuenta los gases que provocan este proceso. Se encuentra dentro del relleno sanitario de la ciudad de Barcelona, al menos un 30% de la cantidad de gramos que se expulsan debido a este potencial que en los rellenos del país, esto es debido principalmente al tipo de residuo que están recibiendo los rellenos y la

manera en que estos se recolectan y generan. La fracción con más potencial se encuentran los combustibles fósiles, que en el país se ocupan desde el inicio del proceso de un producto hasta que se convierte en un residuo.

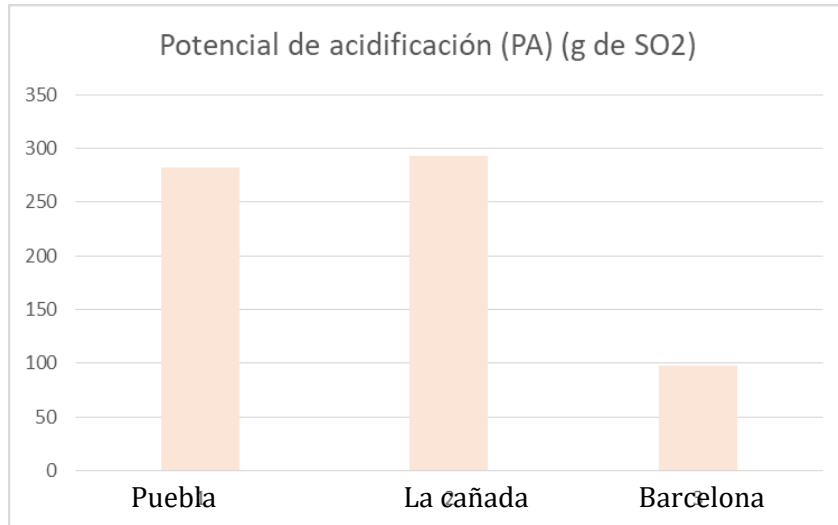


Figura 8.- Potencial de acidificación de los rellenos sanitarios.

**PDCO.** El potencial de destrucción de la capa de ozono se mide en la cantidad de clorofluorocarbonos, estos se encuentran medidos en base al protocolo de Montreal, que es un convenio para la protección de la capa de ozono. En el estudio de los rellenos sanitarios, tienen más emisiones el relleno de Barcelona, y la cantidad de los CFC's dentro del país se encuentran un poco por debajo de los niveles.

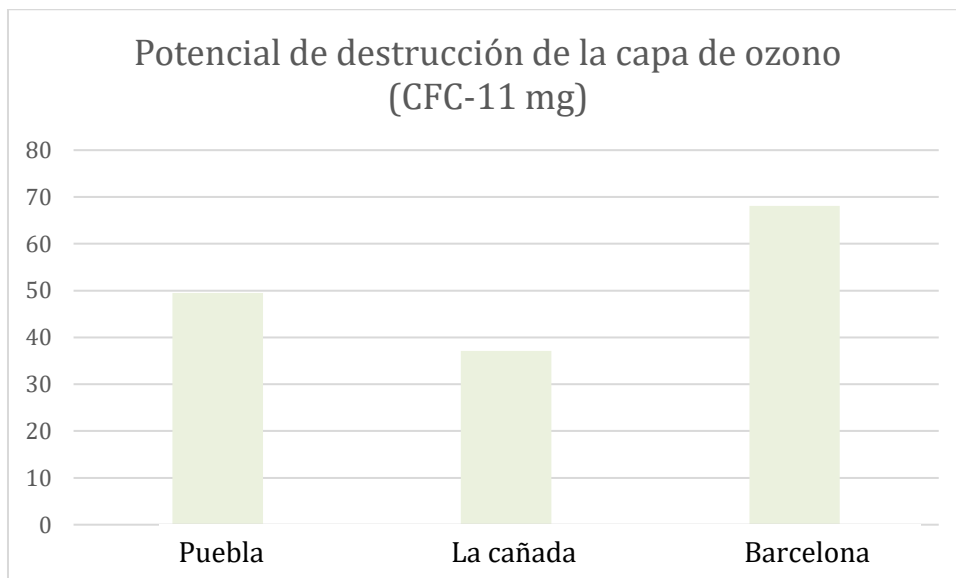


Figura 9.- Potencial de destrucción de la capa de ozono en los rellenos sanitarios.

**PTH.** Potencial de toxicidad humana, este parámetro se encuentra dado por la cantidad de área en el que se encuentran dispuestos los residuos de las ciudades correspondientes y como estos se oxidan en el relleno. En la cantidad de emisiones se puede determinar cuál es la cantidad donde se recolectan mayor cantidad.

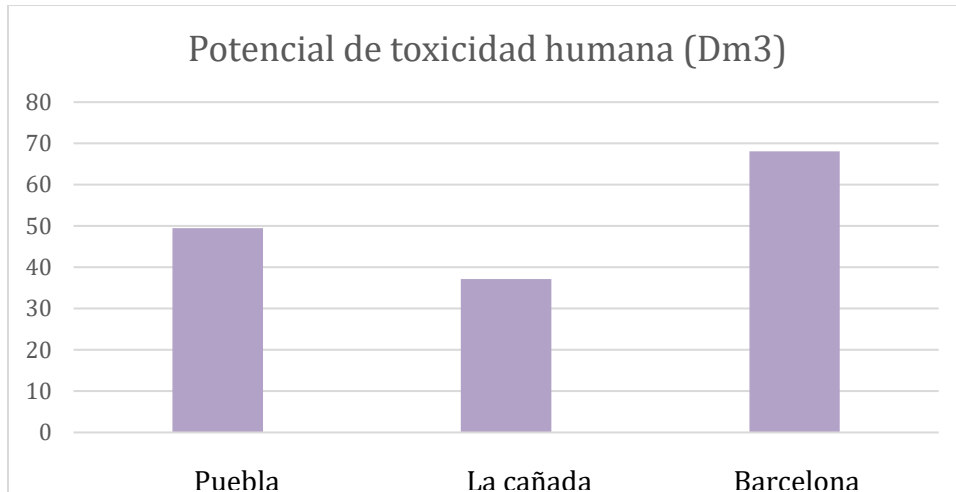
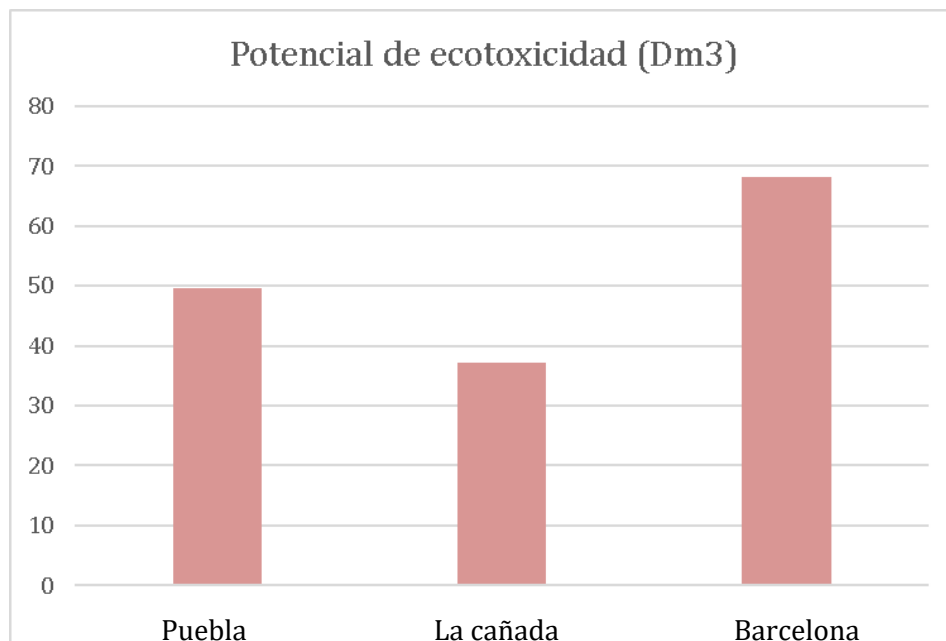


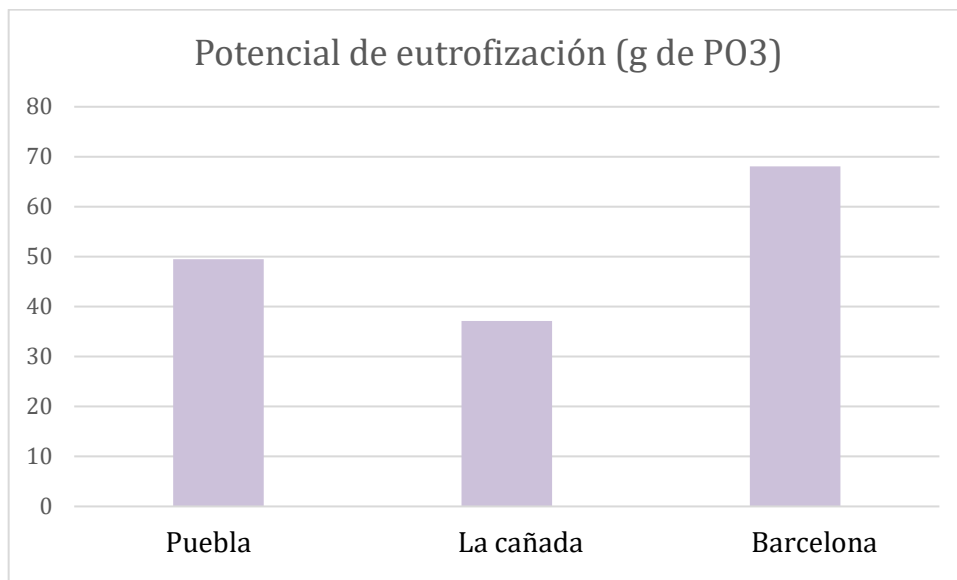
Figura 10.- Potencial de toxicidad humana.

**PEc.** Potencial de ecotoxicidad, este impacto incluye el efecto de sustancias tóxicas sobre los ecosistemas acuáticos, terrestres o sedimentarios. El área de protección es el Entorno natural y los Recursos naturales. El método base para la evaluación de la ecotoxicidad (en sus diferentes compartimentos) está basado en el efecto de las sustancias a tiempo indefinido a nivel global.



Gráfica 11.- Potencial de ecotoxicidad.

**Peu.** La eutrofización cubre todos los impactos potenciales derivados de los altos niveles ambientales de macronutrientes, siendo el nitrógeno y el fósforo las sustancias más importantes. El exceso de nutrientes puede causar un cambio indeseable en la población de las especies y elevar la producción de biomasa en ecosistemas terrestres y acuáticos. Además, altas concentraciones de nutrientes pueden contaminar el agua superficial hasta hacerla no apta para el consumo. La preparación del suelo en los rellenos sanitarios del estudio, se encuentran preparados de diferentes maneras, ya que se encuentran diferentes preparaciones para la filtración de los residuos orgánicos.



Gráfica 12.- Potencial de eutrofización.

De tal forma, se ha podido comparar este relleno sanitario con otros dos. Se puede inferir que en la mayoría de los parámetros se encuentra dentro de un rango aceptable, sin embargo, hay algunos que deben ser cuidados, especialmente el potencial de calentamiento global.

## VII. Potencial para producción de Biogás

Una Forma para el Cálculo de Emisión de Metano (CH<sub>4</sub>) en un Relleno Sanitario es mediante el siguiente modelo[9]:

$$Q_{CK4} = (L_0)(R)(e^{-kc} - e^{-kt})$$

Donde:

$Q_{CH_4}$  = tasa de generación de metano en el tiempo t, m<sup>3</sup>/año.

$L_0$  = potencial de generación de metano, m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/Mg de

desperdicios.

R = tasa promedio anual de aceptación de desperdicios durante la vida activa,  
Mg/año.

e = base de logaritmos naturales dimensional.

K = constante de la tasa de generación de metano, año<sup>-1</sup>.

C = tiempo transcurrido desde el cierre del relleno, año (c=0 para rellenos  
activos).

T = tiempo transcurrido desde la colocación inicial de desperdicios, años.

Para este caso, se calculó de las emisiones anuales de metano del relleno sanitario de Chiltepeque activo que ha estado abierto durante 26 años y que ha aceptado desperdicios a una tasa promedio de 873.8 Ton/año. Suponemos un potencial de generación de metano de 125m<sup>3</sup>/Mg y una constante de la tasa de generación de metano de 0.02 por año.

$$Q_{CK4} = (L_0)(R)(e^{-kc} - e^{-kt}) =$$

$$(125\text{m}^3/\text{Ton})(873.8 \text{ Ton/año})(e^{-(0.02)(0)} - e^{-(0.02)(26)}) =$$

$$\mathbf{44,288.5\text{m}^3\text{Ch}_4/\text{Mg}}$$

Esto nos indica que para el relleno sanitario de chiltepeque que cuenta con 26 años de uso y que acepta en promedio 873.8 toneladas por año de basura se puede generar 44,288.5m<sup>3</sup>Ch<sub>4</sub>/Mg de metano de forma anual. Sin embargo, esta es una aproximación muy optimista, ya que una ecuación más real sería

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left[ \frac{M_i}{10} \right] (e^{-kt_{ij}})(MCF)(F)$$

Donde:

Q<sub>LFG</sub> = Flujo máximo esperado de biogás (m<sup>3</sup>/año).

I = Incremento de tiempo de 1 año.

N = (año del cálculo) - (año inicial de disposición de residuos).

J = Incremento de tiempo en 0.1 años.

K = Índice de generación de metano (1/año).

L<sub>0</sub> = Generación potencial de metano (m<sup>3</sup>/Mg).

M = Masa de residuos dispuestos en el año i (Mg).

t<sub>ij</sub> = Edad de la sección j de la masa de residuos M<sub>i</sub> dispuestos en el año i



MCF = Factor de corrección de metano.

F = Factor de ajuste por incendios.

Debido a que el relleno no cuenta con todo el monitoreo específico del relleno de Chiltepeque se opta por la primer ecuación, aunque esta no considera ciertas pérdidas y parámetros importantes.

En la siguiente grafica se muestra como es la estimación teórica de un relleno sanitario en Barranquilla. Este gráfico muestra en el eje x los años desde que se abrió hasta el tiempo que se considera seguirá produciendo biogás (de 1985-2025). En el eje y se presenta la cantidad de metano en metros cúbicos por año. Además, se muestra la cantidad calculada de forma teórica obtenida de metano y la obtención real incluyendo en ambos el pico más alto de producción de este biogás. [10] Esto puede ser útil para estimaciones posteriores para potencial de producción de Biogás. Más investigación debe ser desarrollada al respecto.

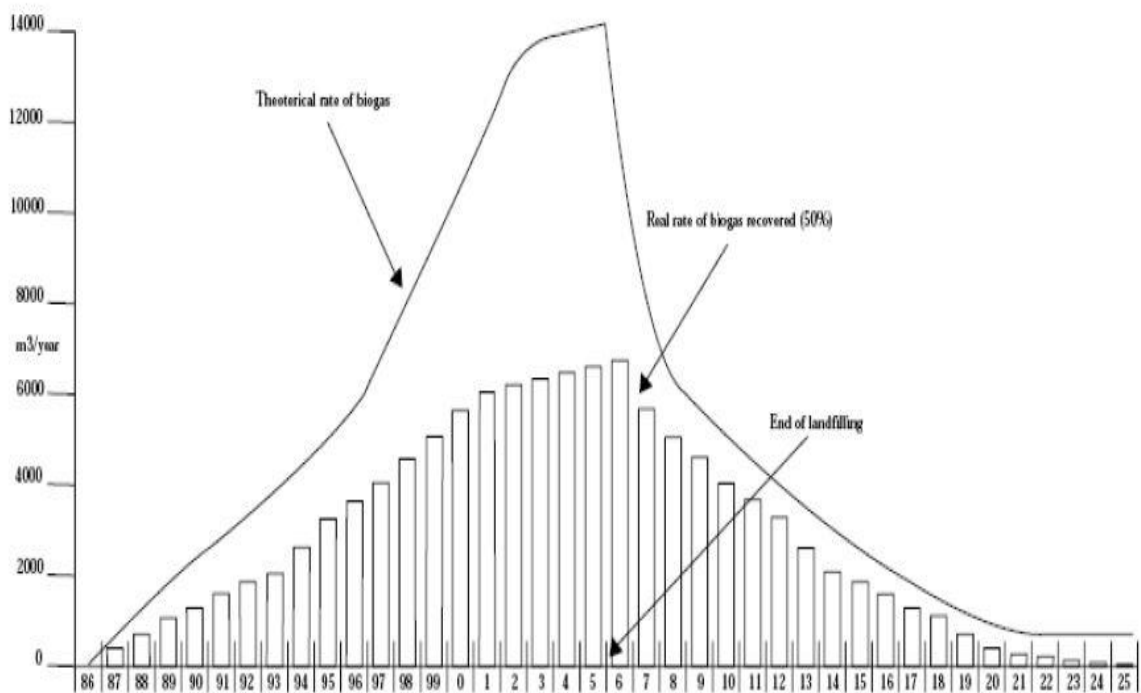


Figura 12.- Gráfica de las estimaciones de biogás producido en un relleno sanitario.

## VIII. Conclusiones

El manejo de residuos sólidos urbanos es un proceso que tiene un gran impacto en el medio ambiente, y los diferentes procesos involucrados en el. Desde la construcción, a la recepción de los residuos sólidos urbanos para su disposición en el, también toda la logística que esta involucrada para transportar los diferentes residuos acopiados, así como también su termino de ciclo de vida, todos estos impactan en todo el análisis de ciclo de vida de este proceso industrial.

De los principales procesos que identificamos un impacto significativo, fue el de el almacenamiento de los residuos sólidos urbanos ya que, en esta fase del relleno sanitario, la descomposición natural de los residuos genera una gran cantidad de contaminantes altamente nocivos para la salud y el medio ambiente del entorno. Por tal motivo, el análisis de impacto ambiental se centró en ciertos parámetros y se desestimaron otros.

Los resultados de comparación muestran un comportamiento similar al de la Cañada y en ocasiones lejano al de Barcelona, las diferencias pueden deberse al clima, pero especialmente a la forma en la que se manejan los Residuos, por lo cual aunque en el presente el Residuo del Chiltepeque parece ser ejemplar se deben considerar las observaciones realizadas para mitigar los efectos del relleno en el ambiente.

También se resalta que la generación de gas metano ( $CH_4$ ), las emisiones que se tienen son elevadas, y debido a que no existe un manejo adecuado para este gas (Como generación de electricidad para autoabastecimiento) se recomienda ampliamente la captación e incineración de este gas de efecto invernadero ya que su impacto es mayor que si se combustionara en  $CO_2$

Por otro lado, se observa que, debido a la falta de separación de residuos, su reciclado es un sector en el que el relleno sanitario podría resultar rentable para la comercialización de materia prima reciclada y que se devuelva a los ciclos productivos de la ciudad.

## Referencias

- [1] Sin medidas, los desechos crecerán un 70%. (n.d.). Retrieved April 21, 2020, from <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- [2] SEMARNAT. (2011). *Residuos* (1st ed., Vol. 1). [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap7\\_residuos.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf)
- [3] Cardenas Jiménez , A. (2004). GUÍA DE CUMPLIMIENTO DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003. *Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. [http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia\\_Cumplimiento\\_NOM\\_083.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_Cumplimiento_NOM_083.pdf)
- [4] Instituto Municipal de Planeación. (2010). . Plan de gestión ambiental para el municipio de Puebla. <http://www.pueblacapital.gob.mx/images/transparencia/obl/vi-planes/plan.gest.amb.pdf>
- [5] Benítez, A. (2011). *El análisis de ciclo de vida: elemento clave para la adecuada gestión de residuos*. Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. <https://www.elpopular.mx/2020/02/24/local/tiradero-de-chiltepeque-piedra-en-el-zapato-ambiental>
- [6] Marcos, J., 2017. *Rellenos sanitarios en Puebla, un estudio descriptivo (tesina)*. Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE).
- [7] Protección civil del estado de México . (2017). *Programa de protección civil para basureros* <http://cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/sites/cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/files/files/programas%20de%20Prevencion/programas%20nuevo%20directorio/PPC%20BASUREROS%202017.pdf>
- [8] Guinee , J. B. (2002). *Impactos ambientales*. <http://rtbioenergia.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/Impactos-definiciones.pdf>
- [9] Stege, G & Dávila, J. 2009. *Modelo matemático para la estimación de biogás*. Pp. 32-47.
- [10] Camargo & Vélez A, GIMSA, INTROPIC. .Barranquilla 25 de septiembre 2009, Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios. <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20biog%C3%A1s%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf>