



## Proyección cuantitativa de termoplásticos generados en el municipio de Oruro, utilizables para la producción de Bio-diesel (año de estudio 2022)

### Quantitative projection of thermoplastics generated in the municipality of Oruro, usable for the production of bio-diesel (year of study 2022).

M.Sc. Ing. Paniagua Ayaviri Andrés Miguel <sup>1</sup>.

#### Resumen

La carrera de Ingeniería Industrial y la Universidad Técnica de Oruro tienen como fin el dar solución a problemas coyunturales de la sociedad, actualmente en nuestro país Bolivia la subvención a los hidrocarburos genera un incremento en el gasto público muy significativo. Por otra parte la búsqueda de nuevas energías alternativas es una tendencia a nivel mundial que está siendo fuertemente apoyada y financiada por organismos externos e internos. El poder generar Diesel a partir de productos reciclados en específico termoplásticos que se encuentran en los residuos comerciales y urbanos representa una oportunidad de poder contribuir a aplacar la problemática actual; la economía en el país que se ve afectada por la subvención a los hidrocarburos y a el fortalecimiento del cuidado y preservación del medio ambiente. Esta producción ya es una realidad en países como Brasil y Colombia. En el presente artículo se estudia y se proyecta la cantidad de plásticos generados en el municipio de Oruro que son utilizables para generar bio – Diesel mediante un planta de degradación térmica catalítica de residuos termoplásticos, para este fin se analizará el tipo de basura generada, se hará un clasificación de la misma entre material utilizable y no utilizable para la producción de Bio-Diesel y se proyectaran los datos hasta el año 2030 para verificar la sostenibilidad de esta generación de residuos.

#### Abstract

The Industrial Engineering career and the Technical University of Oruro have as a goal to provide solutions to current problems of the society, currently in our country Bolivia the subsidy to hydrocarbon fuels generates a significant increase in public spending. On the other hand, the search for new alternative energies is a worldwide tendency that is being strongly supported and financed by external and internal organizations. Being able to produce diesel from recycled products, specifically thermoplastics found in commercial and urban waste represents an opportunity to contribute to alleviate the current problem; the country's economy which is affected by the hydrocarbon subsidy and the strengthening of the care and preservation of the environment. This production is already a reality in countries such as Brazil and Colombia. This article studies and the amount of plastics generated in the municipality of Oruro that can be used to generate bio-diesel by means of a plant of thermal catalytic degradation of thermoplastic wastes. To this end, the type of waste generated will be analyzed, a classification will be made between usable and non-usable material for the production of Bio-Diesel, and the data will be projected until the year 2030 to verify the sustainability of this waste generation.

#### INFORMACIÓN DE ARTÍCULO:

##### Palabras clave:

Selección del tipo de basura producida, producción de bio-diesel. Reciclaje de plásticos

##### Keywords:

Quality Control, Certification, Cardboard Boxes

##### Citar como:

Paniagua A. (2024). Proyección cuantitativa de termoplásticos generados en el municipio de Oruro, utilizables para la producción de Bio-diesel (año de estudio 2022)

Revista de Ciencia y Tecnología en Ingeniería Industrial, 6(1).

pág – pág

<sup>1</sup>Docente - Carrera de Ingeniería Industrial Facultad Nacional de Ingeniería Universidad Técnica de Oruro  
ampaniagua22@hotmail.com

## 1. Introducción

En la actualidad el panorama energético muestra una futura escasez en las fuentes de petróleo, sin embargo el fuerte impacto de éste sobre el medio ambiente en la producción de sus derivados ha generado una corriente de investigación para poder sustituir este tipo de energía, y a su vez el uso de materiales reciclados también ha surgido como estudio paralelo de alternativas de nuevas energías.

En Bolivia la mayor parte de vehículos funcionan a combustión interna, esto se ve reflejado en que una forma de clasificación estadística del INE que presenta los vehículos del parque automotor se lo hace en función de su cilindrada, la cual es propia de los carros a combustión, se cuenta para el año 2022 con 2.226.662 vehículos de transporte entre público y privado. Un porcentaje de este parque automotor funciona con el derivado petrolífero Diesel y esto ha hecho que en Bolivia se denote una creciente demanda del combustible en los últimos años, debido a que el parque automotor se ha ido incrementando a lo largo de los años en base al Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT), el Instituto Nacional de Estadística (INE) reportó que a 2021, el parque automotor en Oruro alcanzó a 111 707 vehículos y la evolución de esto se puede apreciar en la tabla 1.1.

**Tabla 1.** Tipo de servicio según el vehículo  
Fuente: Instituto Nacional de Estadística

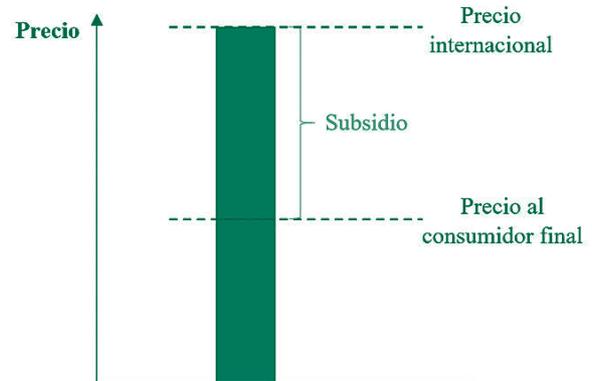
DEPARTAMENTO/TIPO DE SERVICIO <sup>(a)</sup>	2017	2018	2019	2020	2021
Oruro	94.799	99.392	103.299	106.644	111.767
Particular	89.960	94.158	97.521	100.397	104.771
Público	3.268	3.639	4.124	4.560	5.246
Oficial	1.571	1.595	1.654	1.687	1.750

Fuente: Instituto Nacional de Estadística 2021

Según Globalpetrolprices.com con una última actualización el 5 de septiembre del 2022, el precio del diésel en Bolivia es 3,72 Bs/L o 0,539 USD/L (al cambio oficial del dólar), precio que se ha mantenido desde el 2004, este es un precio bajo a comparación del promedio de los países del mundo que es de 13,38 Bs/L. El precio es económico debido a la subvención que tienen los combustibles en el país desde el 2004 lo cual ha ocasionado fuertes distorsiones en la economía del país, el tema de la nivelación de los precios de combustible respecto al precio internacional no ha podido llevarse a cabo a pesar de que se ha intentado, por las fuertes

repercusiones y protestas sociales que conllevan a la desestabilización del funcionamiento estatal.

**Figura 1.** Representación del subsidio de combustibles. Elaboración propia en base a manuscrito publicado de Vacaflares D



Fuente: Elaboración propia.

El precio internacional del Diésel Oil (precio final) en los últimos meses del año 2022 y la diferencia de precios respecto al precio en Bolivia de 3,72 Bs/L. a partir del mes de agosto de 2022 puede evidenciar un aumento en el precio internacional, para el mes de octubre se presenta un incremento del 6,82 % respecto a principios de año mencionado.

## 2. Alternativa de solución

En varios países del mundo se ha empezado a producir Diesel en base a residuos plásticos generados en la basura de las ciudades. El producto consiste en un combustible específico "Diésel" fabricado a partir de degradación térmica y catalítica de residuos plásticos (termoplásticos) que tiene características similares al diésel producido a partir de la destilación del petróleo. Bolivia actualmente produce entre un 30 a un 45% del diésel total, no se cuenta con una planta industrial que realice este mismo proceso de producción de diésel por degradación térmica de plásticos, sin embargo, existen proyectos como el que se está desarrollando en Santa Cruz para la producción de biodiesel a partir de soya y otras plantas oleaginosas con el objetivo de reducir las importaciones de combustibles.

El objeto de estudio del presente artículo está orientado como ya se mencionó a determinar la cantidad de plásticos utilizables para producir biodiesel y de esta manera dar solución a dos problemas presentes en la sociedad, la primera la escasez de combustible y segunda el acopio y tratamiento de basura no degradables.

### 3. Generación de residuos plásticos en el municipio de Oruro

Se presentan los datos históricos de generación de residuos sólidos municipales en la ciudad de Oruro desde el año 2005 hasta el 2021 de acuerdo a los datos estadísticos del INE proporcionados por la Empresa Municipal de Aseo de Oruro (EMAO) y se muestran en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Generación de residuos sólidos en el municipio de Oruro en Toneladas por Periodo. Fuente: Instituto Nacional de Estadística

AÑO	Tn de residuos Sólidos	AÑO	T de residuos sólidos	AÑO	T de residuos sólidos
2005	34,769	2011	44,473	2017	60,512
2006	37,845	2012	47,996	2018	61,492
2007	38,794	2013	49,389	2019	64,781
2008	38,631	2014	55,855	2020	62,923
2009	42,810	2015	53,710	2021	72,680
2010	44,277	2016	57,044		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.2. se muestra los últimos datos de composición de residuos sólidos obtenidos para el proyecto Gestión Ambiental de Residuos Sólidos G.A.R.S.U. (FNDR y GAMO) proporcionados por la Empresa Municipal de Aseo Oruro (EMAO). Actualmente se manejan esas composiciones en EMAO para realizar cálculos y no se han actualizado los datos de la composición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

**Tabla 3.2** Composición de Residuos Sólidos caracterizados en el municipio de Oruro Fuente: Instituto Nacional de Estadística

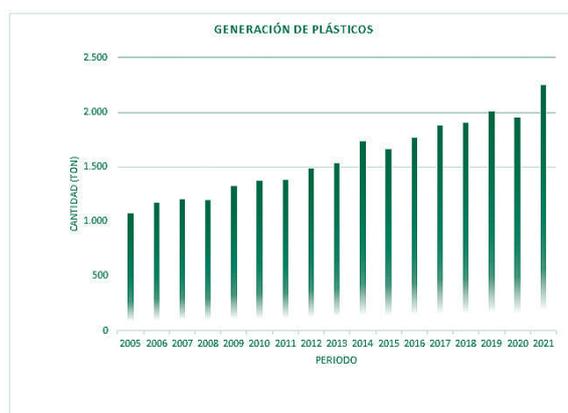
Materia	Porcentaje (%)
Residuos orgánicos	49,87
Materia inerte y otros	31,22
Papel y cartón	7,03

Metales	5,01
Plástico	3,1
Vidrio	2,02
Textiles Y Cuero	1,75
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la composición de plásticos de la tabla 3.2. y los datos de generación de residuos sólidos, puede estimarse la cantidad de plásticos generados en cada año, desde el último censo realizado el año 2012 se observa que se tiene un crecimiento del 34 % en la generación de plásticos en la ciudad de Oruro como puede apreciarse en la siguiente Figura 3.1.

**Figura 3.1.** Generación de Residuos Plásticos en el Municipio de Oruro. Fuente: elaboración propia a partir de datos estimados a partir de la cantidad de residuos sólidos y su composición



Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la proyección mediante la herramienta IBM SPSS Statistics, a partir de los datos de la figura 3.1., se verifica que modelo presenta un mejor ajuste:

**Tabla 3.3.** Parámetros estadísticos según el tipo de ajuste a los datos de toneladas de residuos plásticos recolectados por EMAO desde el periodo 2005 hasta el 2021 mediante el programa IBM SPSS Statistics

Modelo	R cuadrado	Ecuación
Lineal	0,97088	$67,2051 \cdot x - 133701,1572$
Logarítmico	0,97073	$-1027488,7165 + 135272,8161 \cdot \log(x)$
Inverso	0,97058	$136844,4806 - 272280167,9889/x$
Cuadrático	0,97103	$-66064,7521 + 0,016694 \cdot x^2$
Cúbico	0,97118	$-43519,2856 + 5,5291 \cdot 10^{-6} \cdot x^3$
Compuesto	0,98004	$4,2048 \cdot 10^{-35} \cdot 1,0439^x$
Potencia	0,98008	$2,5486 \cdot 10^{-283} \cdot x^{86,5003}$
Crecimiento	0,98004	$\exp(-79,1542 + 0,042970 \cdot x)$
Exponencial	0,98004	$4,2048 \cdot 10^{-35} \cdot \exp(0,042970 \cdot x)$

La variable independiente es el periodo

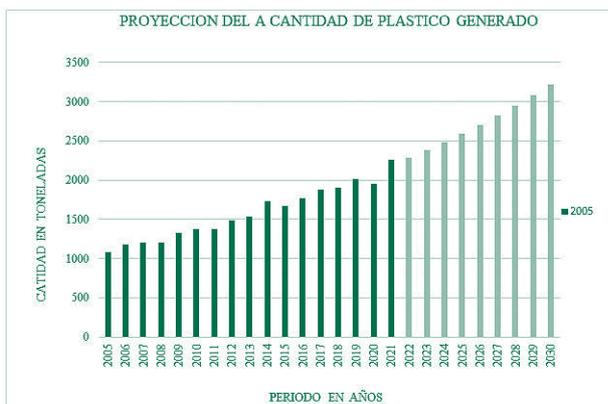
*Fuente: Elaboración propia.*

Se selecciona el modelo potencial debido a que presenta el mayor coeficiente de determinación:

$$\text{Cantidad de residuos plásticos recogidos por EMAO} = 2,5486 \cdot 10^{-283} \cdot \text{Periodo}^{86,5003} \left(\frac{T}{\text{año}}\right)$$

A partir de la información de cantidad de plásticos generados anualmente se realiza una proyección con el modelo potencial hasta el año 2030. Se puede proyectar que en el año 2030 se tendrá un incremento del 29.7 % desde el 2021.

**Figura 3.2.** Proyección del plástico generado hasta el año 2030 en el municipio de Oruro



*Fuente: Elaboración propia.*

La siguiente tabla nos muestra la recuperación actual de residuos sólidos por EMAO que son recolectados, acopiados y vendidos en la Base Bolívar de la Empresa de Aseo Municipal de Oruro, actualmente solamente se recupera un total de 0,14 % de la basura total y en cuanto a la basura plástica se recupera el 3,75%.

**Tabla 3.4.** Cantidad y proporción de material para reciclaje de EMAO

No	Material reciclado	Cantidad anual (kg)	Porcentaje (%)
1	PAPEL	4.040,00	4
2	CARTÓN	0,00	0
3	PLÁSTICO DURO Y BLANDO	20.930,00	21
4	BOTELLAS PET	58.050,00	58
5	NYLON	5.460,15	5
6	ALUMINIO	3.230,00	3
7	CHATARRA	9.440,00	9
<b>TOTAL</b>		<b>100.754,15</b>	<b>100</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

En la siguiente tabla se presenta la composición de residuos de plásticos más comunes que se presentan como referencia en ausencia de datos de parte de la Empresa de Aseo Municipal de Oruro, es importante denotar que no se considerara la variación de la composición de plásticos respecto al tiempo debido a que no se cuenta con los datos necesarios:

**Tabla 3.5.** Composición de residuos plásticos según su tipo

Tipo de plástico	Residuos residenciales (%)	Residuos comerciales (%)	Promedio (%)
PET	14.37	11.32	12.85
PEAD/HDPE	9.41	3.32	6.37
PVC	2.68	1.9	2.29
PEBD/LDPE	41.33	45.87	43.60
PP	9.32	4.79	7.06
PS	14.17	28.56	21.37
OTROS	8.72	4.24	6.48

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos calculados se hará el análisis para poder calcular el material específico que es utilizable para producir bio Diesel a partir de residuos termoplásticos.

#### 4. Cálculo de material utilizable para la producción de biodiesel

La proyección de residuos plásticos para el año 2030, donde se estima que la generación de residuos plásticos alcanzara un máximo de 32.04,072 toneladas anuales cubiertas por EMAO, sin embargo no todo el plástico puede ser utilizado, plásticos como el PVC que son halogenados pueden llegar a generar gases tóxicos que contaminarían el producto final y pueden llegar a ser un peligro para la salud pública, el PET si bien puede ser utilizado en el proceso ya cuenta con otro mercado que es la empresa Empacar que lo recicla y los otros tipos de plástico de composición mixta no se consideraran ya que se desconoce la forma en la que puede afectar al proceso, el porcentaje que representa los plásticos de interés puede verse reflejado en la Tabla 3.5. con un porcentaje de 78.4 % lo que representa 2.511,992 toneladas anuales. En el presente año 2022 por el mes de octubre empezara a operar una planta de reciclaje y compostaje cerca del relleno sanitario en Huajara, que permitirá una mayor recuperación de residuos sólidos siendo que EMAO solamente cuenta con 13 carros compactadores de los 37 necesarios y por cuestiones de dificultades en el transporte, como calles no asfaltadas por las que pueda pasar el servicio

se veía limitada la recuperación de plásticos que solamente llegaba a ser del 35.13% , con la nueva planta de reciclaje compostaje y considerando a proveedores secundarios que vendrían a ser sindicatos de recolectores o acopiadores se espera que la cantidad aprovechable de plásticos de interés alcance 7.150,561 toneladas anuales.

#### 5. Referencias

- 📖 Calderón, F. (2016). *La Producción de Combustibles Vehiculares a partir de Plásticos de Deshecho. Compendio de Investigaciones.* Bogotá, Colombia.
- 📖 Rejas, L.; Carreón, B.; Ortiz, M., *et al.* (2015). *Generación de combustibles Líquidos a partir deresiduos plásticos.* En Scielo.
- 📖 Scheirs, J.; Kaminsky, W. (2006). *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics.* Reino Unido: Ediciones John Wiley & Sons.
- 📖 INE (2022). RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR CIUDADES, SEGÚN AÑO MES 2005 – 2022. Instituto Nacional de Estadística.
- 📖 EMAO (2022). Empresa Municipal de Aseo Oruro.
- 📖 CEPA (2022). EL APOORTE DE LOS RECICLADORES A LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS. Centro de Ecología y Pueblos Andinos.
- 📖 Escudero J. (2011). *Evaluación de Prefactibilidad de una Planta de Elaboración de Diesel Sintético a partir de Desechos de Plásticos y Neumáticos.* Proyecto de grado para optar el título de ingeniero civil industrial, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.