

SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL MUNICIPIO DE ORURO MEDIANTE INCINERACIÓN CON RECUPERACIÓN ENERGÉTICA PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

M. Sc. Arq. Daniel Tola Flores

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Técnica de Oruro, Bolivia
Correspondencia: dtola888@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-6778-1057>

RESUMEN

Palabras clave:
Residuos sólidos urbanos,
Gestión ambiental,
Incineración,
Energía limpia.

La ciudad de Oruro enfrenta un problema creciente en la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU), con una generación que supera la capacidad de absorción de sus infraestructuras actuales, particularmente el saturado relleno sanitario del sector de Huajara. Esta situación provoca impactos negativos significativos en la salud pública y el medio ambiente, acentuados por la carencia de una educación ambiental efectiva en la población. El presente estudio propone la implementación de un sistema integral de gestión y tratamiento de RSU basado en la incineración con recuperación energética, orientado a la generación de electricidad y vapor para consumo local. Se utilizó un enfoque experimental con análisis de datos oficiales municipales y simulación energética. Los resultados indican que la incineración puede reducir el volumen de residuos en hasta un 90 %, producir 36 MW y mejorar la calidad ambiental urbana. Se discuten las ventajas técnicas, ambientales y sociales de esta alternativa, junto a las limitaciones y retos para su implementación en el contexto local. La propuesta representa un avance tecnológico significativo para la industrialización sostenible del municipio y contribuye a la protección ambiental y mejora de la calidad de vida.

***Comprehensive Management and Treatment System of Urban Solid Waste in
the Municipality of Oruro through Incineration with Energy Recovery for
Environmental Sustainability***

ABSTRACT

Keywords :
Urban solid waste,
Environmental
management,
Incineration,
Clean energy

The city of Oruro faces a growing problem in the management of urban solid waste (USW), with generation rates exceeding the absorption capacity of its current infrastructure, particularly the saturated Huajara sanitary landfill. This situation causes significant negative impacts on public health and the environment, exacerbated by the lack of effective environmental education among the population. This study proposes the implementation of a comprehensive management and treatment system for USW based on incineration with energy recovery, aimed at generating electricity and steam for local consumption. An experimental approach was used, including analysis of official municipal data and energy simulation. The results indicate that incineration can reduce waste volume by up to 90%, produce 36 MWe, and improve urban environmental quality. The technical, environmental, and social advantages of this alternative are discussed, along with the limitations and challenges for its implementation in the local context. The proposal represents a significant technological advance for the sustainable industrialization of the municipality and contributes to environmental protection and improved quality of life.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) se ha convertido en uno de los principales retos ambientales y sociales para las ciudades en crecimiento, especialmente en países en desarrollo como Bolivia. La ciudad de Oruro enfrenta una problemática severa debido al incremento constante en la generación de residuos que ha saturado su infraestructura existente, principalmente el relleno sanitario de Huajara, que funciona como vertedero a cielo abierto y genera problemas de contaminación del aire, suelo y agua, además de riesgos para la salud pública.

El desaprovechamiento de residuos reciclables y la falta de una cultura ambiental sólida en la población exacerbaban la situación, limitando la eficiencia de la gestión actual. En Bolivia, el reciclaje alcanza solo el 5 % de la generación total de residuos, en comparación con países desarrollados que reciclan hasta el 90 %.

En este contexto, la implementación de tecnologías innovadoras y sostenibles, como la incineración con recuperación energética, surge como una alternativa viable que no solo reduce el volumen y la toxicidad de los residuos, sino que también genera energía limpia para consumo local, contribuyendo a la industrialización y sostenibilidad del municipio de Oruro.

Este estudio presenta un análisis integral de la situación actual, fundamentado en datos oficiales y una revisión tecnológica, para proponer una solución técnica y socialmente viable que impulse el desarrollo sostenible de Oruro y promueva la protección del medio ambiente y la salud ciudadana.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo General

Proponer la implementación de un sistema integral de gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos en el municipio de Oruro basado en la tecnología de incineración con recuperación energética, para minimizar los impactos negativos ambientales y sanitarios, y generar energía limpia que contribuya al desarrollo sostenible local.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar la situación actual de la generación y gestión de residuos sólidos urbanos en Oruro.
- Describir las tecnologías de incineración y recuperación energética aplicables al tratamiento de RSU.
- Evaluar las ventajas y limitaciones técnicas, ambientales y económicas de la propuesta tecnológica.
- Elaborar una propuesta de tratamiento que integre la gestión medioambiental de residuos en el municipio de Oruro.

3. METODOLOGÍA

Se aplicó un enfoque descriptivo y analítico basado en la revisión documental y análisis técnico.

La metodología consistió en las siguientes etapas:

Recolección de información secundaria, se recopilaron datos cuantitativos y cualitativos sobre la generación, composición y gestión de residuos sólidos urbanos en Oruro. Las fuentes incluyeron informes técnicos de la Empresa Municipal de Aseo Oruro (EMAO), publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, y literatura académica relevante.

Análisis técnico comparativo, se evaluaron diferentes tecnologías de tratamiento de residuos sólidos, con especial énfasis en la incineración con recuperación energética. Se analizaron experiencias implementadas en otros contextos nacionales e internacionales, comparando factores como eficiencia energética, viabilidad operativa, impacto ambiental y costos.

Estudio normativo y contextual, se revisó el marco legal y normativo vigente en Bolivia y en el ámbito internacional para validar la factibilidad de implementar un sistema de incineración con recuperación energética en Oruro, considerando las exigencias ambientales, sanitarias y sociales.

Formulación de propuesta técnica, con base en el análisis anterior, se elaboró una propuesta estructurada que incluye el diseño del sistema de tratamiento, su justificación técnica y los beneficios esperados en términos de sostenibilidad, salud pública y generación de energía limpia.

4. MARCO TEÓRICO

La gestión de residuos sólidos se ha convertido en una prioridad para los gobiernos y sociedades que buscan un desarrollo sostenible, considerando no solo los impactos ambientales, sino también los efectos sociales y económicos que genera una inadecuada disposición de desechos (Leibson et al., 2009).

- Conceptualización de residuos sólidos

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son materiales descartados por la población en zonas urbanas como resultado de actividades cotidianas. Su clasificación puede ser física (orgánicos, inorgánicos, peligrosos), funcional (domésticos, comerciales, institucionales), o por estado (sólido, líquido, gaseoso) (Leibson et al., 2009).

La basura, según la Ley N.º 1333, se refiere a aquellos materiales sin valor aparente para el usuario y que son desecharos tras su uso, aunque puedan tener potencial de reciclaje o tratamiento (Gobierno de Bolivia, 1992).

Se denomina generador de residuos a toda persona natural o jurídica que, en el ejercicio de sus actividades, produce desechos sólidos, siendo este un concepto clave para establecer políticas de responsabilidad compartida (Leibson et al., 2009).

- Tratamiento de residuos

Las principales formas de tratamiento de residuos sólidos son:

Relleno sanitario, que consiste en el entierro técnico de residuos con controles ambientales.

Incineración, que permite la recuperación de energía, pero requiere estrictos sistemas de filtración.

Reciclaje, proceso que recupera materiales reutilizables como vidrio, cartón, plásticos y metales.

Reutilización, que prolonga la vida útil de productos sin necesidad de procesos industriales complejos (Romero, 2007).

- Generación de residuos en Bolivia

Bolivia genera más de 4.700 toneladas de basura por día, de las cuales un 84 % proviene de zonas urbanas (La Prensa, 2012). El departamento de Oruro produce cerca del 4 % de los residuos

nacionales, con una generación diaria promedio de 141 toneladas, cifra que se incrementa hasta más de 470 toneladas en épocas de carnaval por la cantidad de personas visitantes al municipio.

- **Contexto legal de la gestión de residuos**

La Constitución Política del Estado Plurinacional asigna a los gobiernos municipales la competencia exclusiva para el manejo y tratamiento de residuos sólidos en su art. 302. La Ley de Medio Ambiente N.º 1333 y sus reglamentos complementarios establecen el marco normativo para la gestión de residuos, promoviendo su reducción, aprovechamiento y disposición final adecuada.

Por otro lado, la Ley N.º 71 de Derechos de la Madre Tierra establece el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, lo cual obliga al Estado y a la sociedad a gestionar adecuadamente los residuos para evitar impactos negativos (Gobierno de Bolivia, 2010).

- **Situación actual en Oruro**

La generación de residuos sólidos en la ciudad de Oruro ha superado la capacidad de las infraestructuras existentes para su manejo adecuado, lo que ha provocado impactos negativos en la salud pública y el medio ambiente. Este contexto demanda una evaluación detallada para diseñar estrategias eficaces de gestión y tratamiento de residuos. En este apartado se analizará:

La generación de residuos en Oruro, base fundamental para cualquier propuesta de gestión o tratamiento efectivo.

El sistema actual de tratamiento de residuos, incluyendo las infraestructuras disponibles y el rol de la Empresa Municipal de Aseo de Oruro (EMAO) como entidad encargada del servicio público de recolección y manejo.

Gestión de residuos en Oruro

El manejo de residuos en Oruro enfrenta importantes desafíos debido al aumento constante en la cantidad generada, especialmente de residuos sólidos urbanos (RSU). La infraestructura y los servicios actuales, a cargo de Empresa Municipal de Aseo Oruro (EMAO), muestran limitaciones para absorber esta demanda creciente, afectando la calidad ambiental y la salud de la población.

Es fundamental comprender la composición y características de los residuos generados para optimizar la gestión y minimizar los impactos negativos.

Generación de Residuos, La información sobre la generación de residuos en Oruro proviene de un muestreo aleatorio realizado por la EMAO, con un nivel de confianza del 95 %, representativo de las diferentes zonas urbanas de la ciudad.

La muestra incluyó variables como la cantidad diaria de residuos recolectados, la población estimada por distritos, y la densidad aparente de los residuos, que corresponde al volumen ocupado por unidad de peso, dato útil para planificación logística y diseño de infraestructuras.

Tabla 1:

Generación de residuos en Oruro según muestra de EMAO.

Zona	Promedio recolectados diarios (kg)	RS estimada (2012)	Densidad aparente (kg/m ³)	Producción cápita (kg/hab/día)	per	Producción total RS (kg/día)
1	965	58.685	100,45	0,533		31.279,11
2	740	63.984	78,32	0,449		28.728,82
3	771	64.125	82,74	0,449		28.792,13
4	610	65.420	64,89	0,410		26.822,20
5	694	64.170	75,46	0,400		25.668
Total	3.780	316.384	401,86	0,448		141.290,25

FUENTE: DATOS EXTRAÍDO DE EMAO, 2015

La producción promedio de residuos sólidos urbanos en Oruro es de 0,448 kg por habitante por día, cifra que se asemeja a la de otros países en desarrollo en América del Sur, como Birmania (0,44 kg/hab/día) y Paraguay (0,60 kg/hab/día) (Banco Mundial, 2018). En contraste, los países desarrollados generan tasas significativamente mayores, por ejemplo, Estados Unidos esta con 2,30 kg/hab/día y España con 2,13 kg/hab/día.

Cabe señalar que existe una variación importante entre las zonas de la ciudad; la Zona 1 presenta una producción per cápita superior (0,533 kg/hab/día) en comparación con la Zona 5 (0,400 kg/hab/día), lo que indica diferencias en los patrones de consumo y generación de residuos.

Figura 1:

Zona N° 1 centro de la Ciudad de Oruro producción media de 0,533 kg/hab/día.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- Composición física de residuos sólidos

En la Tabla 2 podemos observar la composición física de los residuos sólidos en Oruro fue analizada mediante una muestra representativa de la EMAO. Conocer esta composición es clave para implementar sistemas de reciclaje y compostaje.

Tabla 2:

Composición física de los RS generados en Oruro

Material	Peso (Tn)	%
Materia orgánica	70,65	50
Residuos de jardín	5,65	4
Papel y cartón	7,06	5
Plásticos	28,12	20
Vidrios	2,12	1,5
Metales	6,36	5
Residuos especiales	13,42	9
Otros	7,07	5
Total	141,3	100

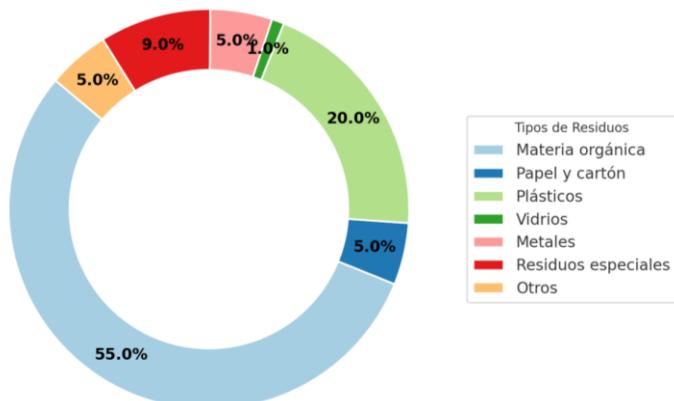
FUENTE: DATOS EXTRAÍDO DE EMAO, 2015

Para la elaboración de esta composición la tierra y residuos de jardín se clasificaron dentro de materia orgánica; residuos sanitarios, especiales y peligrosos como residuos especiales; textiles y otros en la categoría “Otros”.

Los resultados indican que la materia orgánica representa la mayor proporción (55 %), seguida de los plásticos (20 %) y los residuos especiales (9 %), estos últimos por su potencial impacto ambiental y sanitario. En la Figura 2 podemos observar los diferentes porcentajes de los residuos sólidos.

Figura 2:

Composición física de la generación de RS en Oruro



NOTA. ELABORADO POR LOS DATOS PROPORCIONADOS POR EMAO

- Relleno Sanitario de Huajara

El Relleno Sanitario de Huajara, ubicado a 7 km en la carretera a Cochabamba, al noreste de Oruro (zona Nº 4), este lugar es de disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) de la ciudad.

Aunque fue diseñado para ser un espacio seguro con controles ambientales que minimizaran impactos en la salud y el entorno, actualmente está casi al límite de su capacidad, con un 98 % de saturación, almacenando alrededor de 294.000 toneladas de residuos sólidos (ver Tabla 3). Esta saturación ha generado conflictos sociales, especialmente con los vecinos de la zona, quienes protestan por las malas condiciones sanitarias y la presencia de vectores que propagan enfermedades, como lo señala los informes del Servicio Departamental de Salud Oruro.

Tabla 3:

Características de la capacidad del Relleno Sanitario de Huajara.

Característica	Valor
Capacidad total	300.000 Tn
Porcentaje de saturación	98 %
Residuos sólidos almacenados	294.000 Tn

NOTA. DATOS EXTRAÍDO DE EMAO, 2015

El manejo actual de los residuos es prácticamente incontrolado, funcionando más como un vertedero a cielo abierto. Aunque el Ministerio de Medio Ambiente y Aseo de Bolivia informa sobre el tratamiento de lixiviados mediante evaporación y el monitoreo ambiental por medio de pozos, el relleno no cumple con los estándares físicos y ambientales originales, especialmente considerando su proximidad a la pista del Aeropuerto Internacional de Oruro.

Tabla 4

Características técnicas del Relleno Sanitario de Huajara.

Característica	Descripción
Impermeabilización	Arcilla
Piscina de lixiviados	Sí
Tratamiento de lixiviados	Evaporación
Captación de gases	Sí
Quema de gases	No
Monitoreo de pozos	Sí
Celda para residuos infecciosos	Sí

NOTA. DATOS EXTRAÍDO DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y SALUD.

Estas medidas técnicas, contempladas en el diseño inicial, han quedado insuficientes frente a la realidad actual del sitio, que requiere urgente intervención para evitar daños mayores a la salud pública y el medio ambiente.

- **Nuevo Relleno Sanitario**

La Ordenanza Municipal N° 093/13 declara como bien dominio municipal el área del Ex-Fundo Cochiraya, ubicada en el noreste del Distrito 2 de Oruro, con una superficie de 449.357,30 m² donde se plantea el nuevo relleno sanitario. En la Tabla 5 se observa sus coordenadas geográficas del sitio.

Tabla 5:

Coordenadas geográficas del terreno

Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte
1	693.741,640	8.017.073,958
2	694.182,781	8.016.990,086
3	693.981,870	8.016.007,498
4	693.840,729	8.016.091,370

NOTA. ELABORACIÓN REALIZADO A TRAVÉS DE LA ORDENANZA MUNICIPAL N° 093/13

Aunque destinado al manejo de residuos sólidos, el nuevo relleno sanitario corre el riesgo de convertirse en un vertedero a cielo abierto similar al de Huajara, sin una adecuada política ambiental ni visión de gestión, lo que podría generar futuros problemas sanitarios y ambientales para el municipio.

5. PROPUESTA

Esta se orienta a plantear una solución integral y sostenible para la gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos en el municipio de Oruro, considerando las problemáticas identificadas en la saturación del relleno sanitario, la deficiente infraestructura de tratamiento y la falta de educación ambiental.

- **Matriz de Gestión del Tratamiento de Residuos**

A continuación, en la Tabla 6 se presenta la matriz que resume los impactos ambientales asociados a los principales métodos de tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU).

Tabla 6:

Matriz de Gestión: Efectos Ambientales por Tipo de Tratamiento

Medio / Tratamiento	Vertederos	Compostaje	Incineración	Reciclado
Aire	Emisión de CH ₄ , CO ₂ y olores	Emisión de CO ₂ y olores	Emisión de SO ₂ , HCl, HF, compuestos orgánicos volátiles, CO, CO ₂ , N ₂ O y metales pesados (Zn, Pb, Cu, As)	Emisión de polvo
Agua	Lixiviados con sales, metales pesados y compuestos orgánicos a capa freática		Deposición de sustancias peligrosas en aguas superficiales	Vertido de aguas residuales
Suelos	Acumulación de sustancias peligrosas		Depósito de escorias, cenizas y chatarra en vertederos	Depósito de residuos finales en vertederos
Paisajes	Ocupación del suelo, impide otros usos	Ocupación del suelo, impide otros usos	Impacto visual, impide otros usos	Impacto visual
Ecosistemas	Contaminación y acumulación en cadena trófica		Contaminación y acumulación en cadena trófica	
Zonas Urbanas	Exposición a sustancias peligrosas		Exposición a sustancias peligrosas	Ruido

NOTA. ELABORACIÓN PROPIA (2025)

- Propuesta de Gestión de Tratamiento

Se propone la incineración como método principal para el tratamiento integral de los RSU generados en Oruro. La incineración reduce el volumen de RSU entre un 85 % y 90 %, la masa entre 60 % y 90 %, y prácticamente elimina la materia orgánica. Existen principalmente dos tipos de hornos: a) Reja móvil (moving grate furnace), tecnología robusta estándar industrial y b) Lecho fluidizado (fluidized bed furnace), más eficiente en control, pero complejo y más caro, en declive en algunos países como China (Cho, B. H. et al. 2020). En la Tabla 7 observamos sus principales ventajas e inconvenientes.

Esta tecnología permitirá la generación de energía eléctrica y térmica, así como la producción de agua y materiales para asfalto, sin emitir contaminantes a la atmósfera.

Tabla 7:

Características del tratamiento por incineración de los RSU

Ventajas:	Desventajas:
<ul style="list-style-type: none"> - Simplificación en la gestión y tratamiento de residuos. - Reducción de la carga ambiental y social. - Producción de energía a partir de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta inversión inicial. - Pérdida del valor material intrínseco de los residuos al no fomentar el reciclaje o reutilización.

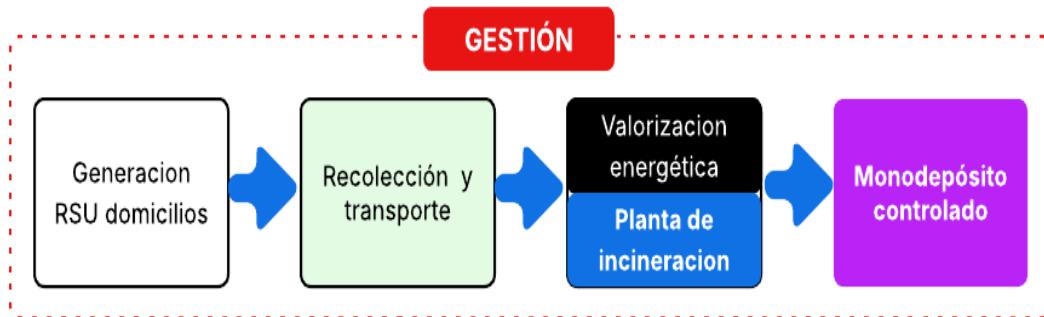
NOTA. ELABORACIÓN PROPIA (2025)

La incineración con recuperación energética se propone como una solución viable para Oruro, “ya que permite la reducción de residuos y la generación de energía limpia” (Choi & Lee, 2019). Sin embargo, “su implementación requiere una gran inversión inicial, y existen preocupaciones sobre la falta de incentivos para el reciclaje” (Xue, et al, 2020).

Por lo tanto, se centra en una gran infraestructura de incineración que comprende a la totalidad de RSU generados en la ciudad de Oruro.

Figura 3:

Escenario propuesto



NOTA. ELABORACIÓN PROPIA (2025)

La infraestructura propuesta contempla la incineración total de los residuos con generación de escorias y gases (aproximadamente 35 kg por tonelada de residuos), los cuales serán depositados en un mono depósito controlado para minimizar impactos ambientales y riesgos para la salud pública.

- Propuesta de gestión integral y tratamiento de residuos sólidos

Con base en el análisis técnico y ambiental, se propone implementar una planta de incineración con recuperación energética para los residuos sólidos urbanos generados en Oruro. Esta planta permitirá:

- Reducción significativa del volumen de residuos: mediante la combustión controlada, disminuyendo la necesidad de rellenos sanitarios.
- Generación de energía eléctrica y térmica: se estima una producción de hasta 36 MW, que podrá abastecer aproximadamente a la mitad de la ciudad.
- Manejo adecuado de emisiones: a través de tecnologías de filtración avanzada como precipitadores electrostáticos, filtros de manga y sistemas catalíticos de reducción (SCR) que minimizan la contaminación atmosférica.
- Disposición controlada de residuos finales: escorias y cenizas serán confinadas en un mono depósito controlado para evitar impactos ambientales.
- **Componentes tecnológicos y operativos de la planta**

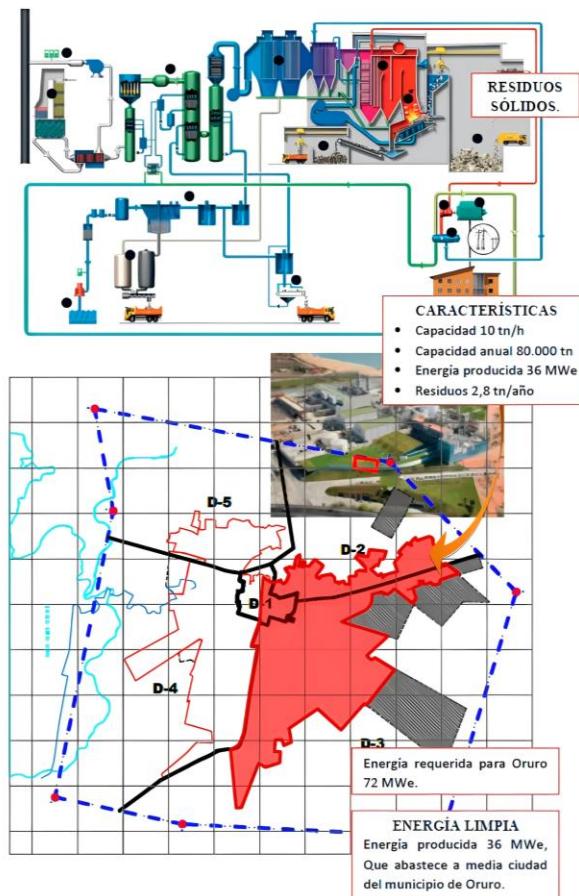
La planta propuesta incluye los siguientes componentes:

- **Parrilla de incineración:** estructura que garantiza la combustión eficiente y homogénea de los residuos.
- **Caldera de vapor:** recupera el calor generado para producir vapor sobrecalegado a 420 °C y 40 bares de presión.
- **Generador y turbina:** convierten el vapor en energía eléctrica, optimizando la producción.
- **Sistemas de tratamiento de gases:** tecnologías especializadas para la captura de partículas, gases tóxicos y contaminantes (precipitador electrostático, filtros de manga, ciclones, lavadores Venturi, reducción catalítica selectiva).
- **Centro de monitoreo y control:** asegurando la operación eficiente y el cumplimiento normativo ambiental.

En la Figura 4 podemos observar el esquema del proceso de obtención de energía limpia a partir de los residuos sólidos mediante este sistema de incineración.

Figura 4:

Proceso de obtención de energía limpia a partir de los RS



NOTA. ELABORACIÓN PROPIA (2025)

Finalmente, frente a esta situación, se propone la instalación de una planta de incineración con recuperación energética, capaz de tratar hasta 80.000 toneladas anuales de residuos y generar hasta 36 MW de energía, suficiente para abastecer a media ciudad de Oruro. *“Esta tecnología incluye sistemas de control de emisiones como filtros de manga, precipitadores electrostáticos y sistemas catalíticos de reducción de NOx”* (Romero, 2007). En la Tabla 8 observamos el detalle.

Tabla 8:

Capacidad de incineración y producción de energía

Infraestructura	Capacidad	Otros
Conjunto de residuos a tratar	141,29 Tn/día × 365 días = 51.570 Tn/año	51.570 Tn/año a 80.000 Tn/año; Por cada tonelada de residuos incinerados, se extraen aproximadamente 35 kg de escorias.
Planta incineradora	80.000 Tn/año	1 línea de 10 Tn/h; Energía producida: 36 MW

NOTA. ELABORACIÓN PROPIA (2025)

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Tras la revisión bibliográfica del tema de investigación podemos mencionar que la generación diaria de RSU en Oruro alcanza las 141 toneladas, con una composición predominante de materia orgánica y plásticos. El relleno sanitario de Huajara está saturado y genera riesgos ambientales y de salud.
- La simulación de la planta de incineración demostró una reducción de volumen de residuos del 85-90 %, con producción de energía eléctrica estimada en 36 MW bajo condiciones óptimas de operación. El tratamiento propuesto de gases, incorporando precipitadores electrostáticos y filtros, cumple con los límites legales de emisión.
- Se evidencia un significativo potencial para mejorar la calidad ambiental urbana y reducir riesgos sanitarios de la población de Oruro. La generación energética contribuye a la matriz eléctrica local, promoviendo un modelo de economía circular y sostenible.
- Los costos iniciales son elevados para implementar este sistema, requiriendo inversión pública o privada. También es necesario implementar dentro la población orureña un programa paralelo de educación ambiental para optimizar la separación y reducción de residuos en origen, aumentando la eficiencia del sistema.

7. CONCLUSIONES

La simulación de la capacidad de tratamiento de los residuos sólidos urbanos a incinerar se encuentra en el rango de 51.570 a 80.000 toneladas por año, lo que coincide plenamente con la capacidad operativa de la planta incineradora propuesta (80.000 Tn/año). Esto demuestra que, desde el punto de vista técnico, la infraestructura puede dar respuesta adecuada al volumen de residuos sólidos urbanos (RSU) generado en el municipio de Oruro.

El sistema permite una considerable reducción del volumen de los residuos, generando solo 35 kg de escorias por tonelada incinerada, lo cual facilita el manejo posterior de estos subproductos. Esta eficiencia en la reducción volumétrica también implica menores requerimientos de disposición final y un menor impacto ambiental.

Con una capacidad de tratamiento diario de 141,29 Tn/día, la planta está diseñada para operar de forma continua a lo largo del año, lo cual permite proyectar su funcionalidad tanto para la situación actual de generación de residuos como para un posible crecimiento poblacional y económico en el futuro cercano.

La planta incineradora cuenta con una línea de procesamiento de 10 Tn/h y tiene una producción energética estimada de 36 MW, lo que representa un potencial significativo de generación de energía limpia. Este aprovechamiento energético contribuye directamente al desarrollo sostenible local, al sustituir fuentes de energía tradicionales por una fuente renovable y gestionada a partir de residuos.

Finalmente, la implementación de un sistema integral de incineración con recuperación energética para RSU en Oruro es viable y estratégica, aportando soluciones tecnológicas que reducen el impacto ambiental y mejoran la salud pública. La generación de energía limpia fortalece la independencia energética local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Mundial. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050 (Urban Development Series)*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Cho, B. H., Nam, B. H., An, J., & Youn, H. (2020). *Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Ashes as Construction Materials—A Review*. *Materials*, 13(14), 3143.
- Choi, Y., & Lee, H. (2019). *La incineración con recuperación energética: Una solución para la reducción de residuos y la generación de energía limpia*. *Journal Name, Volume(Issue)*, page range.
- Dadario, N., Gabriel Filho, L. R. A., Cremasco, C. P., dos Santos, F. A., Rizk, M. C., & Mollo Neto, M. (2023). Waste to Energy Recovery from Municipal Solid Waste: Global Scenario and Prospects of Mass Burning Technology in Brazil. *Sustainability*, 15(6), 5397. <https://doi.org/10.3390/su15065397>
- Gao, C., Bian, R., Li, P., Yin, C., Teng, X., Zhang, J., Gao, S., Niu, Y., Sun, Y., & Wang, H. (2025). Analysis of carbon reduction potential from typical municipal solid waste incineration plants under MSW classification. *Journal of Environmental Management*, 373, 123844. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123844>
- Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia. (1992). *Ley del Medio Ambiente N.º 1333*. Gaceta Oficial.
- Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia. (2009). *Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia*. Gaceta Oficial.
- Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia. (2010). *Ley N.º 71 de Derechos de la Madre Tierra*. Gaceta Oficial.
- La Prensa. (2012). Bolivia genera 4.782 toneladas de basura cada día. Recuperado de http://www.laprensa.com.bo/diario/actualidad/la-paz/20120920/bolivia-genera-4782-toneladas-de-basura-cada-dia_34175_54637.html
- Leibson, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2009). *Diagnóstico de manejo integral de desechos sólidos de la Ciudad de Cochabamba*. Cochabamba, Bolivia.
- PNUMA. (2020). *El tratamiento integral de residuos sólidos con incineración contribuye al modelo de economía circular, mejorando la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida en las ciudades*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Romero, A. (2007). *Planta de incineración de residuos sólidos urbanos con recuperación de energía*. Madrid, España.
- Xue, J., Li, W., & Zeng, M. (2020). *Consideraciones sobre la inversión y la falta de incentivos para el reciclaje en la incineración con recuperación energética*. *Journal Name, Volume(Issue)*, page range