

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias
Sociales y Humanidades, Asunción, Paraguay.**

ISSN en línea: 2789-3855, 2025, Volumen VI

Propuesta de mezcla óptima para incinerar residuos hospitalarios (RPBI'S) y de manejo especial

Proposal for an optimal mixture to incinerate hospital waste (RPBI'S)
and special management

Saúl Hernández Islas

shernandez@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4952-5206>

Instituto Politécnico Nacional (UPIBI)

Ciudad de México – México

Fabián Robles Martínez

froblesm@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8110-7819>

Instituto Politécnico Nacional (UPIBI)

Ciudad de México – México

Asher Chable Pérez

achablep1800@alumno.ipn.mx

<https://orcid.org/0009-0006-1219-2558>

Instituto Politécnico Nacional (UPIBI)

Ciudad de México – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4824>

Artículo recibido: 16 de julio de 2025

Aceptado para publicación: 15 de noviembre
de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.



NÚMERO

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4824>

Propuesta de mezcla óptima para incinerar residuos hospitalarios (RPBI'S) y de manejo especial

Proposal for an optimal mixture to incinerate hospital waste (RPBI'S) and special management

Saúl Hernández Islas¹

shernandez@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4952-5206>

Instituto Politécnico Nacional (UPIBI)

Ciudad de México – México

Fabián Robles Martínez

froblesm@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8110-7819>

Instituto Politécnico Nacional (UPIBI)

Ciudad de México – México

Asher Chable Pérez

achablep1800@alumno.ipn.mx

<https://orcid.org/0009-0006-1219-2558>

Instituto Politécnico Nacional (UPIBI)

Ciudad de México – México

Artículo recibido: 16 de julio de 2025. Aceptado para publicación: 15 de noviembre de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

En el presente trabajo se contempla el tratamiento térmico por incineración de una “Mezcla Óptima” de residuos peligrosos y de manejo especial, como una opción viable desde el punto de vista ambiental y socioeconómico. Para determinar la “Mezcla Óptima” de residuos a incinerar se consideró en primera instancia que los residuos estuvieran libres de metales pesados y de compuestos organoclorados; en segunda instancia, el volumen de generación, la similitud en las características de los materiales que los componen, el porcentaje de humedad y su poder calorífico (solos o impregnados-mezclados con otros residuos o sustancias presentes en los mismos). En laboratorio se determinó el poder calorífico de los residuos peligrosos y de manejo especial a incinerar bajo el concepto “Mezcla Óptima”. Se determinó que la “mezcla óptima” a incinerar de residuos peligrosos y de manejo especial, es la compuesta por: un 80% de RPBI'S, un 15% RME'S (residuos de las operaciones de transporte) y un 5% de RP'S (fármacos caducos); mezcla que proporciona 485,468.6 kcal en 100 kg de residuos. Los resultados obtenidos de los muestreos y análisis efectuados (por un laboratorio acreditado) en la chimenea de salida del incinerador, estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles de emisiones de contaminantes a la atmósfera, y el resultado del análisis CRETIB caracterizó a las cenizas como “No Peligrosas”. Datos que permiten comprobar la eficiencia de la mezcla propuesta y del sistema de incineración utilizado.

Palabras clave: incineración, mezcla óptima, análisis CRETIB, residuos peligrosos, residuos de manejo especial

¹ Autor de correspondencia.

Abstract

In this work, the thermal treatment by incineration of an "Optimal Mixture" of hazardous waste and special handling is considered as a viable option from an environmental and socioeconomic point of view. To determine the "Optimal Mixture" of waste to be incinerated, it was first considered that the waste was free of heavy metals and organochlorine compounds; secondly, the volume of generation, the similarity in the characteristics of the materials that compose them, the percentage of humidity and their calorific value (alone or impregnated-mixed with other waste or substances present in them). In the laboratory, the calorific value of the hazardous waste and special handling waste to be incinerated was determined under the "Optimal Mixture" concept. It was determined that the "optimal mix" of hazardous waste and special handling waste to be incinerated is composed of: 80% RPBI'S, 15% RME'S (waste from transportation operations) and 5% RP'S (expired drugs); mixture that provides 485,468.6 kcal in 100 kg of waste. The results obtained from the sampling and analysis carried out (by an accredited laboratory) in the incinerator outlet chimney were below the maximum permissible limits of emissions of pollutants into the atmosphere, and the result of the CRETIB analysis characterized the ashes as "Non-Hazardous". Data that allows checking the efficiency of the proposed mixture and the incineration system used.

Keywords: incineration, optimal mixing, CRETIB analysis, hazardous waste, special management waste

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons.



Cómo citar: Hernández Islas, S., Robles Martínez, F., & Chable Pérez, A. (2025). Propuesta de mezcla óptima para incinerar residuos hospitalarios (RPBI'S) y de manejo especial. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (5), 3440 – 3453.
<https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4824>

INTRODUCCIÓN

La incineración es un proceso térmico que permite reducir el volumen y peso de los residuos sólidos mediante su combustión controlada en presencia de oxígeno, transformando los desechos en gases que se liberan a la atmósfera y en cenizas relativamente inertes. Este proceso puede disminuir el volumen de los residuos hasta en un 90 % y genera energía térmica que puede ser aprovechada para la producción de vapor, calefacción o electricidad (Medina Delgado, 2016). Existen dos sistemas principales de incineración de residuos sólidos urbanos: uno que requiere tratamiento previo, como la separación de materiales no combustibles y la reducción del tamaño de las partículas, y otro conocido como incineración en masa, en el que los residuos se procesan directamente sin ninguna preparación (Medina Delgado, 2016). Aunque este método presenta ventajas energéticas y de reducción de residuos, también implica la generación de emisiones contaminantes y cenizas que, conforme a la legislación ambiental mexicana, deben considerarse residuos peligrosos y tratarse adecuadamente (Greenpeace México, 2018; SEMARNAT, 2015). En el alcance de esta definición se consideran incluidos los procesos de pirólisis, gasificación y tratamiento por plasma, siempre y cuando los productos intermedios o subproductos generados, tales como gases combustibles o aceites pirolíticos, sean posteriormente sometidos a un proceso de combustión controlada en presencia de un exceso de oxígeno (ambiente oxigenado o de combustión completa). Esto implica que dichos procesos sólo se contemplan cuando forman parte de un esquema integral de valorización energética que culmina en la oxidación térmica de los compuestos generados, asegurando así la conversión completa de la energía química contenida en los residuos en energía térmica o eléctrica utilizable (SEMARNAT, 2015).

La incineración en masa representa una tecnología altamente desarrollada y ampliamente utilizada para el tratamiento de residuos sólidos urbanos. En teoría, un incinerador típico está compuesto por seis secciones fundamentales: la primera es el sistema de alimentación, donde los residuos se introducen al proceso; la segunda incluye el horno de combustión primaria, donde los residuos son quemados, y el de combustión secundaria, que completa la oxidación de los gases generados; la tercera es la cámara de enfriamiento, que reduce la temperatura de los gases para proteger los equipos de tratamiento posteriores; la cuarta sección corresponde al sistema de depuración de gases, que emplea tecnologías como filtros de mangas o lavadores para eliminar contaminantes; la quinta es la unidad de evacuación de escorias y cenizas, residuos sólidos que deben ser adecuadamente gestionados; y la sexta es la sección de recuperación de calor, donde la energía térmica se transforma en vapor o electricidad, mejorando la eficiencia energética del sistema (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015; Elastec, 2023).

Los incineradores de horno rotatorio son dispositivos avanzados para el tratamiento de residuos sólidos, caracterizados por una cámara de combustión cilíndrica que gira lentamente para garantizar una mezcla homogénea y una combustión eficiente de los desechos. Estos hornos pueden alcanzar temperaturas de operación que oscilan entre 850 °C y 1,450 °C, dependiendo del tipo de residuo a tratar. El tiempo de residencia de los sólidos en el horno varía generalmente entre 30 y 90 minutos, lo que permite una descomposición efectiva de los materiales. Los gases generados durante la combustión se dirigen a una cámara secundaria donde se completa la oxidación de los compuestos restantes, asegurando una emisión más limpia. Este tipo de incineradores es ampliamente utilizado para el manejo de residuos peligrosos, médicos y químicos debido a su eficacia y versatilidad (United Nations Environment Programme, 2006; Igniss Energy, 2015).

La incineración de residuos se presenta como una tecnología con beneficios significativos, como la drástica reducción del volumen de desechos, la destrucción de materiales tóxicos y patógenos, y la posibilidad de recuperar energía. No obstante, esta técnica también conlleva importantes desafíos, entre los que destacan sus elevados costos de inversión y operación, la necesidad de mano de obra altamente calificada, la sensibilidad a variaciones en la composición de los residuos y la constante

preocupación por controlar las emisiones de contaminantes como dioxinas y furanos (Compromiso Empresarial para el Reciclaje, 1998). No obstante, investigaciones recientes en China han demostrado que es posible reducir la generación de dioxinas en más del 50% durante la incineración de residuos sólidos mediante tecnologías de inhibición basadas en el control de la cloración de compuestos aromáticos (Xinhua, 2019). Esta transición refleja un cambio de enfoque hacia una gestión más sostenible de los residuos sólidos urbanos.

En México, aunque se han realizado avances en la cuantificación de residuos, aún persisten desafíos en el manejo integral de los residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI). Según el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2025-2030, la presidenta Claudia Sheinbaum Pardo reconoce la necesidad de fortalecer la gestión de residuos para reducir impactos ambientales y sanitarios, además de promover un modelo de economía circular. En sus propios datos: México genera 43.8 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos al año incluyendo un incremento en residuos hospitalarios debido a la pandemia de COVID-19 (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, 2022) pero solo el 31.6% tiene potencial de aprovechamiento. Aunque la incineración ha sido una alternativa histórica para reducir volúmenes de residuos peligrosos, su uso se ha regulado más estrictamente debido a preocupaciones por emisiones de dioxinas y furanos (NOM-098-SEMARNAT-2002). La NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 sigue vigente, pero se han impulsado tecnologías alternativas, como el tratamiento térmico con recuperación de energía y autoclaves, para cumplir con estándares ambientales más rigurosos.

La incineración con cogeneración ha alcanzado su mayor desarrollo en Europa, especialmente en los países nórdicos, donde se ha integrado exitosamente a los sistemas de gestión energética. Suecia, Dinamarca y Finlandia destacan por sus avanzados sistemas de calefacción urbana basados en plantas "waste-to-energy", como la emblemática Amager Bakke en Copenhague, que abastece a miles de hogares (European Environment Agency, 2022).

En Asia, Japón lidera con tasas del 80% de residuos urbanos tratados mediante incineración (Ministry of the Environment Japan, 2024), mientras China ha expandido rápidamente su infraestructura superando las 700 plantas, aunque con desafíos en estandarización ambiental (China Association of Urban Environmental Sanitation, 2023). Norteamérica muestra un enfoque más conservador, con EE. UU. procesando el 12% de sus residuos en 86 plantas (U.S. Environmental Protection Agency., 2023).

En contraste, América Latina enfrenta retos significativos para adoptar esta tecnología, con desarrollo incipiente en México, Brasil y Chile debido a barreras económicas, regulatorias y sociales (United Nations Environment Programme, 2018). África mantiene una situación similar, con proyectos piloto solo en algunos países como Sudáfrica y Egipto (United Nations Environment Programme, 2023). Esta disparidad regional refleja las diferentes capacidades tecnológicas, marcos normativos y prioridades en la gestión sostenible de residuos.

En este contexto, el presente trabajo propone una "mezcla óptima" de RPBI y RME para incineración, considerando las normas actualizadas (como la NOM-098-SEMARNAT-2002 sobre emisiones térmicas) y buscando maximizar la eficiencia energética sin rebasar los límites de contaminantes. Esta alternativa se evalúa como técnicamente viable, ambientalmente sostenible y económicamente factible, en línea con los objetivos del PND 2019-2024 en materia de economía circular y reducción de residuos (DOF, 2019).

METODOLOGÍA

Investigación documental

Se recopiló y analizó información documental sobre: el tema de la incineración de residuos tanto en México como en Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón; la formación de contaminantes en el proceso de incineración de residuos que pudieran ser ocasionados por un nulo o deficiente tratamiento de las emisiones de contaminantes provenientes del proceso de incineración de residuos.

Acerca de los residuos peligrosos y de manejo especial, se investigaron las características principales de los materiales que los integran y los volúmenes de generación tanto a nivel nacional como estatal, así como las empresas autorizadas por la SEMARNAT para el Tratamiento por Incineración de residuos peligrosos y de manejo especial.

Investigación de campo

Se analizaron los resultados obtenidos de los muestreos de emisiones de contaminantes a la atmósfera, aguas residuales y análisis CRITB a las cenizas producto de la incineración de la mezcla seleccionada de residuos peligrosos y de manejo especial.

Investigación experimental

Se cuantificó el poder calorífico (calor de combustión) de los residuos hospitalarios y de manejo especial destinados a incineración, empleando una bomba calorimétrica Parr modelo 1341 (calorímetro adiabático).

Posteriormente, se definió el tipo de incinerador y los equipos auxiliares necesarios para asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental mexicana (NOM-098-SEMARNAT-2002). Asimismo, se establecieron procedimientos operativos basados en buenas prácticas, abarcando todas las etapas del proceso: 1) Recepción de residuos en planta, 2) Tratamiento térmico, 3) Disposición final de cenizas no peligrosas en sitios autorizados.

El procedimiento para impregnar y/o mezclar las sustancias y materiales presentes comúnmente en los Residuos Hospitalarios y de Manejo Especial, fue el siguiente:

Pesado: 5 g de cada material (cartón, estopa, gasa, trapo industrial).

Impregnación:

Inmersión en 40 mL de sustancias específicas (alcohol, sangre, aceite, aguarrás, solvente alcohólico).

Reposo por 24 horas.

Secado: Escurrido durante 24 horas adicionales.

Análisis: Determinación del peso final y poder calorífico.

Nota: Para residuos patológicos (ej. carne/pellejo de pollo), se mezclaron directamente 0.5 g de gasa con 0.5 g del residuo.

Finalmente se obtuvo la “mezcla óptima” de residuos a alimentar al incinerador, tomando en cuenta su Poder Calorífico y su volumen de generación y composición

El cumplimiento de los límites máximos permisibles de contaminantes (aire-agua-cenizas) durante el proceso de incineración de residuos, está ligado fundamentalmente al tipo, características y cantidad

de los residuos que se alimenten y a las buenas prácticas de combustión que proporcione y logre mantener el equipo de incineración utilizado. Por lo anteriormente expuesto en la Tabla 1 se presentan los parámetros a calificar en la selección del tipo de incinerador a utilizar en el presente trabajo.

Tabla 1

Calificación/selección del incinerador (oxidador térmico)

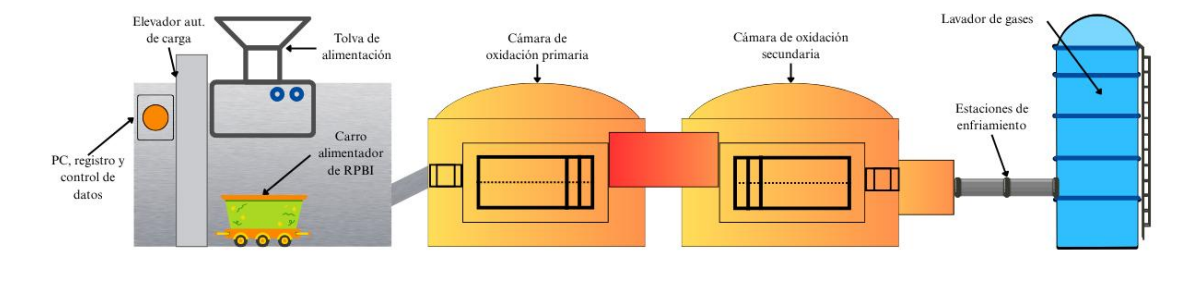
Parámetro	Rango de Operación EnviroClean 500MR	Calificación (valor)
Temperatura en Cámara de Combustión 1 (CC1)	Regulable (800 – 1000oC)	2 (excelente) operación adecuada
Temperatura en Cámara de Combustión 2 (CC2)	Regulable (800 – 1200oC)	2 (excelente) operación adecuada
Tiempo de retención en CC2	Mayor a 2 segundos	2 (excelente) suficiente
Pérdida de materia volátil de las cenizas	Menor a 5%	2 (excelente) garantiza la mejor combustión
Control de partículas y gases ácidos	Avanzado (lavador de gases, neutralización, filtros)	2 (excelente) hay remoción de partículas y gases ácidos
Temperatura de salida de los gases	Menor a 200oC	2 (excelente) generación de dioxinas y furanos casi nula
Manejo de cenizas	Separación y estabilización	2 (excelente) manejo adecuado
Tratamiento de aguas	Fisicoquímico (neutralización, sedimentación, enfriamiento)	2 (excelente) provee tratamiento adecuado
Almacenamiento de residuos	Adecuado (cámara de refrigeración, contenedores)	2 (excelente) existe un buen manejo de los residuos

Fuente: elaboración propia.

Para esta investigación, el sistema de incineración utilizado fue el sistema EnviroClean 500MR, que utiliza altas temperaturas de combustión (800 a 1000°C), generadas por quemadores de gas, las cuales combinadas con aire en exceso crean condiciones que hacen posible que los residuos se eliminen eficientemente, a través de un proceso conocido como oxidación térmica (Ilustración 1). Mediante sus dos cámaras de combustión (oxidación), el sistema proporciona un ambiente extremadamente favorable para la eliminación de los residuos, además evita la exposición de los residuos al rango de temperaturas que favorecen la formación de dioxinas y furanos.

Figura 1

Oxidador térmico utilizado para incinerar las mezclas óptimas basado en el sistema EnviroClean 500MR



Fuente: elaboración propia.

Para determinar la mezcla óptima de residuos a incinerar, fue fundamental caracterizar los diferentes tipos de desechos considerados en este estudio.

La Tabla 2 presenta un desglose detallado de los componentes principales de los residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI) y de manejo especial (RME), incluyendo su estado físico al ingresar al incinerador, porcentajes de generación a nivel nacional y los materiales predominantes que los constituyen. Esta caracterización permite comprender las propiedades fisicoquímicas de cada residuo y su potencial contribución al poder calorífico de la mezcla final.

Tabla 2

Componentes de los residuos a incinerar bajo el concepto mezcla óptima

Tipo de Residuo	Estado físico en el que se alimenta al incinerador	Participación del total generado en el país en el año 2008. INE-SEMARNAT	Principales materiales que los componen, en orden de importancia
RPBI'S		23,283 ton/año	
No anatómico	Sólido	54%	* Gasas y Telas; Papel y cartón; Plástico; M. Orgánica
Patológico	Sólido (principalmente) con aprox. el 50% de humedad	40%	* Tejidos; Órganos; Miembros amputados; Sangre
Punzocortante	Sólido	4.8%	* Plástico; Metal-acero
Sangre	Líquido	0.9%	* Sangre y Componentes
Cultivos y cepas	Sólido y líquido en igual proporción, con aprox. el 50% de humedad	0.3%	* M. Orgánica; Plástico; Papel y cartón
Residuos de manejo especial de las operaciones de transporte	Sólidos principalmente	Aprox. 500 ton/día No hay información sobre composición (%) de estos residuos	* Plásticos, trapos, estopas, papel, cartón; impregnados con: aceite lubricante automotriz., grasa, thinner, aguarrás, solventes base alcohol.
Residuos de manejo especial de los servicios de salud	Sólidos principalmente	Aprox. 300 ton/día No hay información sobre composición (%) de estos residuos	* Gasas y Telas; Papel y cartón; Plástico; Madera; M. Orgánica
Residuos Peligrosos: Fármacos caducos	Sólidos y Líquidos en igual proporción, con aprox. el 50% de humedad	No hay información disponible	* Suspensiones, jarabes; Pastillas; Soluciones inyectables; Papel y cartón; Plástico; Metal-aluminio, otros

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al alimentar al incinerador residuos con un alto poder calorífico (Tablas 2 y 3), con un nivel de humedad inferior al 50% y una composición fisicoquímica libre (o con baja presencia) de metales pesados y

compuestos organoclorados —principalmente—, se garantiza un proceso de combustión eficiente y, en consecuencia, una reducción significativa en las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

El cumplimiento de los límites máximos permisibles de contaminantes (aire, agua, cenizas) durante la incineración depende fundamentalmente de:

El tipo, características y cantidad de los residuos procesados.

Las buenas prácticas de combustión que el equipo de incineración pueda proporcionar y mantener.

En la Tabla 3 se detallan los parámetros evaluados para seleccionar el tipo de incinerador utilizado en este estudio.

Tabla 3

Análisis de los resultados obtenidos en laboratorio del poder calorífico de los materiales y residuos que conforman la mezcla óptima

Muestra	Poder Calorífico (P.C.) determinado en laboratorio. Kcal / Kg	Observaciones
Algodón (sólo)	3873	
Cartón (sólo)	3242	
Cartón impregnado con alcohol	2943	El alcohol disminuye en pequeña proporción el P.C. del cartón un 9.22%
Cartón impregnado con sangre	3299	La sangre incrementa en pequeña proporción el P.C. del cartón (incremento del 1.76%)
Estopa (solo)	4485	
Estopa impregnada con aceite	8868	El aceite incrementa considerablemente el P.C. de la estopa (en un 97.73%).
Gasa (sólo)	3880	
Gasa impregnada con alcohol	4016	El alcohol incrementa en pequeña proporción el P.C. de la gasa (en un 3.51%).
Gasa impregnada con residuo patológico	4577	El residuo patológico incrementa medianamente el P.C. de la gasa (en un 17.97%).
Gasa impregnada con sangre	2487	La sangre disminuye considerablemente el P.C. de la gasa (en un 35.9%)
Residuo patológico (sólo)	4608	
Plástico (Polietileno alta o baja densidad)	10635	
Recipiente de plástico impregnado con aceite	11376	* El aceite incrementa en pequeña proporción el P.C. del plástico (en un 6.97%)
Recipiente de plástico impregnado con aguarrás	10804	* El aguarrás incrementa en pequeña proporción el P.C. del plástico (en un 1.59%)
Recipiente de plástico impregnado con sangre	10078	* La sangre disminuye en pequeña proporción el P.C. (en un 5.23%)
Recipiente de plástico impregnado con alcohol	11018	* El alcohol incrementa en pequeña proporción el P.C. del plástico (3.61%)
Trapo industrial	3760	

Trapo industrial impregnado con aguarrás	5839	El aguarrás incrementa considerablemente el P.C. del trapo industrial (en un 55.3%).
Trapo industrial impregnado con solvente base alcohol	3613	El solvente base alcohol disminuye en pequeña proporción el P.C. del trapo industrial (en un 3.91%)

Fuente: elaboración propia.

En función de las características de cada uno de los materiales y del calor de combustión, posteriormente se propusieron cuatro mezclas a evaluar (como se muestra en el Tabla 4) con diferentes proporciones de los residuos de manejo especial y residuos peligrosos biológico-infecciosos mostrados en la Tabla 2, y especificados en la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002.

Tabla 4

Mezclas óptimas de residuos propuestas

Mezclas propuestas	Componentes de las mezclas
Mezcla óptima 1 (100% RPBI'S)	Patológico 20 kg No anatómico 50 kg Punzocortante 20 kg Sangre 5kg Cepas y cultivos 5 kg
Mezcla óptima 2 (90% RPBI'S y 10% RME'S de operaciones de transporte)	Patológico 20 kg No anatómico 50 kg Punzocortante 10 kg Sangre 5kg Cepas y cultivos 5 kg RME'S de las operaciones de transporte 10 kg
Mezcla óptima 3 (80% RPBI'S y 10% RME'S de operaciones de transporte y 10% RME'S servicios de salud)	Patológico 20 kg No anatómico 40 kg Punzocortante 10 kg Sangre 5kg Cepas y cultivos 5 kg RME'S de las operaciones de transporte 10 kg RME'S de los servicios de salud 10 kg
Mezcla óptima 4 (80% RPBI'S y 15% RME'S de operaciones de transporte y 5% RP'S fármacos caducos)	Patológico 15 kg No anatómico 45 kg Punzocortante 10 kg Sangre 5kg Cepas y cultivos 5 kg RME'S de las operaciones de transporte 15 kg Fármacos caducos 5 kg

Fuente: elaboración propia.

Las mezclas se alimentaron al Sistema de Oxidación Térmica EnviroClean 500MR y durante este proceso se efectuaron los muestreos de emisiones de contaminantes a la atmósfera y a las aguas residuales del sistema, a las cenizas producto de la incineración de dichas mezclas, se les efectuó el análisis CRETIB señalado en la NOM-053-SEMARNAT-2005 y la NOM-098-SEMARNAT-2002. En la Tabla 5, se muestran los resultados de la energía liberada por el calor de combustión de cada mezcla incinerada.

Tabla 5

Mezclas óptimas de residuos y energía proporcionada

Mezclas de residuos	Energía proporcionada (en 100 kg de residuos)
Mezcla óptima 1 (100% RPBI'S)	467,411 kcal
Mezcla óptima 2 (90% RPBI'S y 10% RME'S de operaciones de transporte)	479,579 kcal
Mezcla óptima 3 (80% RPBI'S y 10% RME'S de operaciones de transporte y 10% RME'S servicios de salud)	479,579 kcal
Mezcla óptima 4 (80% RPBI'S y 15% RME'S de operaciones de transporte y 5% RP'S fármacos caducos)	485,469 kcal

Fuente: elaboración propia.

Se determinó que la mezcla más adecuada para ser incinerada es la mezcla número cuatro, compuesta por un 80% de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI), un 15% de Residuos de Manejo Especial provenientes de operaciones de transporte (RME), y un 5% de Residuos Peligrosos (RP), específicamente fármacos caducos. Esta combinación proporciona un poder calorífico de 485,468.6 kilocalorías por cada 100 kilogramos de residuos, lo cual permite mantener las temperaturas de operación de las cámaras de combustión dentro de los rangos establecidos por las buenas prácticas para este tipo de procesos.

En las Tablas 6, 7 y 8 se presentan los resultados correspondientes a los muestreos y análisis realizados en tres áreas clave: emisiones a la atmósfera, descargas a aguas residuales y el análisis CRETIB aplicado a las cenizas resultantes de la incineración de mezclas óptimas de residuos peligrosos y de manejo especial. Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la legislación ambiental vigente en nuestro país.

Estos hallazgos evidencian no solo la viabilidad ambiental del proceso, sino también su eficiencia desde una perspectiva económica, al utilizar residuos clasificados como "mezcla óptima" para alimentar el incinerador, asegurando así un tratamiento más controlado y sustentable de los residuos peligrosos.

Tabla 6

Resultados de Muestreos y Análisis de Emisiones a la Atmósfera del Sistema EnviroClean 500MR utilizando la Mezcla Óptima 4

Contaminante	Límite de emisión NOM-098-SEMARNAT- 2002	Resultados de Muestreo y Análisis	Observaciones
CO (mg/m3)	63	6.10	Cumple
HCl (mg/m3)	15	0.00	Cumple
NOX (mg/m3)	300	46.624	Cumple
SO2 (mg/m3)	80	0.00	Cumple
PARTÍCULAS (mg/m3)	50	37.567	Cumple
ARSENICO SELENIO COBALTO NIQUEL MANGANESO ESTAÑO (mg/m3)	0.7	0.0165	Cumple

CADMIO (mg/m3)	.07	0.0078	Cumple
PLOMO, CROMO total, COBRE, ZINC (mg/m3)	0.7	0.4412	Cumple
MERCURIO (mg/m3)	.07	0.0118	Cumple
DIOXINAS Y FURANOS EQT (ng/m3)	0.5	0.02	Cumple

Fuente: elaboración propia.

Todos los valores medidos se encuentran muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-098-SEMARNAT-2002, lo que indica un cumplimiento total de la normativa ambiental mexicana en materia de emisiones atmosféricas.

El sistema de incineración EnviroClean 500MR, al operar con la mezcla óptima de residuos (mayoritariamente RPBI), demuestra una alta eficiencia de combustión y un excelente control de emisiones contaminantes. Esto es fundamental para minimizar el impacto ambiental y sanitario asociado a la incineración de residuos hospitalarios.Estos resultados indican que el proceso de incineración está bien controlado térmica y químicamente, además de que el equipo cuenta con sistemas de control de emisiones efectivos (como filtros o lavadores de gases). Y finalmente, que se está utilizando una mezcla de residuos cuidadosamente diseñada, lo cual contribuye tanto a una combustión más limpia como a un mejor aprovechamiento energético, aunado a que las cenizas no resultaron toxicas, como se puede observar en la tabla 8.

Tabla 7

Comparativo de resultados de los muestreos de aguas residuales provenientes de la incineración de una “Mezcla Óptima” de residuos peligrosos y de manejo especial en el Sistema EnviroClean 500MR

Parámetros (mg/L, excepto cuando se indique otra) NOM-002-SEMARNAT-1996	Límites Máximos Permisibles Promedio Mensual	Resultados
Grasas y Aceites	50	22.4 prom. ponderado
Sólidos Sedimentables (mL/L))	5	2
Arsénico total	0.5	Menor a 0.008
Cadmio total	0.5	Menor a 0.005
Cianuro total	1	Menor a 0.004
Cobre total	10	Menor a 0.001
Cromo hexavalente	0.5	0.112
Mercurio total	0.01	Menor a 0.001
Níquel total	4	Menor a 0.02
Plomo total	1	Menor a 0.001
Zinc total	6	0.412
Contaminantes Básicos NOM-001-SEMARNAT-2021 Ríos: Uso Público (B)	Sin datos	Sin datos
Sólidos Suspendedidos Totales	65	con adecuaciones 62
DBO5	75	10
Otros	Límite M.P.	
Temperatura	Máximo 40oC	36.5oC
pH	Rango 10 a 5.5	8.65

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8

Resultados de análisis CRETIB a cenizas producto de la incineración de mezclas óptimas de residuos peligrosos y de manejo especial

Características	Resultados
Corrosividad	No Corrosivo
Reactividad	No Reactivo
Explosividad	No Explosivo
Toxicidad	No Tóxico
Inflamabilidad	No Inflamable
Biológico Infeccioso	Sin dictamen debido a que no existen valores con que comparar

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos de los muestreos y análisis estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles de emisiones de contaminantes y caracterizaron a las cenizas como “no peligrosas”, resultados que permitieron comprobar la eficiencia del equipo y proceso de incineración utilizado, pero sobre todo la importante relación entre dichos resultados y el tipo, cantidad y características de los residuos alimentados.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se determinó que la mezcla más adecuada para ser incinerada es la mezcla número cuatro, compuesta por un 80% de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI), un 15% de Residuos de Manejo Especial provenientes de operaciones de transporte (RME), y un 5% de Residuos Peligrosos (RP), específicamente fármacos caducos. Esta combinación proporciona un poder calorífico de 485,468.6 kilocalorías por cada 100 kilogramos de residuos. El tratamiento mediante incineración de Residuos Hospitalarios y de Manejo Especial, bajo el enfoque de una “Mezcla Óptima”, representa una alternativa técnicamente viable y sustentable tanto desde el punto de vista ambiental como socioeconómico. Este enfoque permite maximizar la eficiencia del proceso al combinar residuos con características complementarias en cuanto a su poder calorífico y composición, optimizando así la operación del incinerador y reduciendo significativamente los impactos negativos al medio ambiente.

Los avances tecnológicos en los sistemas de incineración han posibilitado el desarrollo de procesos más eficientes, seguros y controlados, equipados con modernos dispositivos de reducción y tratamiento de emisiones contaminantes. Asimismo, la integración de tecnologías para la recuperación de energía generada durante la combustión (cogeneración), ya sea en forma de vapor, electricidad o calor utilizable; transforma a la incineración en un proceso con valor agregado, alineado con los principios de la economía circular. Esta capacidad de recuperación energética invita a reconsiderar, desde una perspectiva más informada y moderna, el papel de la incineración como método de tratamiento de residuos, no solo en el sector industrial, sino también entre los tomadores de decisiones y la sociedad en general.

En este contexto, se hace necesario promover mayores estudios e investigaciones que profundicen en la evaluación de diversas combinaciones de Residuos Peligrosos, de Manejo Especial y Sólidos Urbanos, con el objetivo de identificar nuevas “mezclas óptimas” que puedan ser tratadas térmicamente de manera eficiente, segura y con potencial de recuperación energética. Esta línea de investigación contribuirá al desarrollo de estrategias integrales para la gestión de residuos, orientadas a la sustentabilidad y al aprovechamiento racional de los recursos disponibles.

REFERENCIAS

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Diario Oficial de la Federación, 8 de octubre de 2003.

China Association of Urban Environmental Sanitation. (2024). China Waste to Energy Industry Analysis 2025 and Forecasts 2033. <https://www.archivemarketresearch.com/reports/china-waste-to-energy-industry-862270>

Compromiso Empresarial para el Reciclaje. (1998). Residuos sólidos urbanos: Manual de gestión integral. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Disponible en: https://cempre.org.uy/wp-content/uploads/2025/03/Manual_GIRSU.pdf

Elastec. (2023). Incinerador de residuos municipales. <https://www.elastec.com/es/productos/incineradores-port%C3%A1tiles/incinerador-de-residuos/>

European Environment Agency. (2022). Circular economy. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/circular-economy>

Eurostat. (2023). Energy statistics - an overview. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview

Gobierno de México. (2025). Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <https://www.gob.mx/presidencia/documentos/plan-nacional-de-desarrollo-2025-2030-391771>

Greenpeace México. (2018). La incineración de residuos en la Ciudad de México. <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2018/11/9e5e6f2f-9e5e6f2f-incineracion-de-residuos-en-ciudad-de-mexico.pdf>

Igniss Energy. (2015). Horno rotatorio. <https://www.igniss.com/es/horno-rotatorio>

Liu, G., Zhan, J., Zheng, M., Li, L., Li, C., Jiang, X., Wang, M., Zhao, Y., & Jin, R. (2015). Field pilot study on emissions, formations and distributions of PCDD/Fs from cement kiln co-processing fly ash from municipal solid waste incinerations. *Journal of Hazardous Materials*, 299, 447–478. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389415005890>

Medina Delgado, R. (2016). El reciclaje es la solución. Sindicato Nacional de Trabajadores de la Educación. Disponible en: <https://www.movimientostem.org/wp-content/uploads/2021/03/El-reciclaje-es-la-soluci%C3%B3n.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Instalaciones de incineración de desechos. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Mejores_tecnicas_disponibles_y_las_mejores_practicas_ambientales_-_Instalaciones_de_incineracion_de_desechos.pdf

Ministry of the Environment Japan. (2024). Annual Report on the Environment in Japan 2024. https://www.env.go.jp/en/index_00003.html

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2022). RPBI en tiempos de pandemia. Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/profepa/articulos/rpbi-en-tiempos-de-pandemia>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Secretaría de Salud. (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Diario Oficial de la Federación, 17 de febrero de 2003.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004). Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: https://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/guia_integral_residuos_solidos.pdf

U.S. Environmental Protection Agency. (2023). Energy recovery from the combustion of municipal solid waste. <https://www.epa.gov/smm/energy-recovery-combustion-municipal-solid-waste>

United Nations Environment Programme. (2006). Categoría de fuentes (a) de la Parte II: Incineradoras de desechos. Disponible en: https://www.pops.int/Portals/0/Repository/batbep_guidelines/UNEP-POPS-BATBEP-GUIDE-08-SP-2.Spanish.PDF

United Nations Environment Programme. (2018). Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. Disponible en: <https://www.unep.org/resources/report/waste-management-outlook-latin-america-and-caribbean>

United Nations Environment Programme. (2023). Africa waste management outlook. Disponible en: <https://www.unep.org/ietc/resources/publication/africa-waste-management-outlook>

Windfeld, E. S., & Brooks, M. S.-L. (2015). Medical waste management – A review. *Journal of Environmental Management*, 163, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.013>

Xinhua. (2019). Chinese scientists develop new tech in waste incineration. Xinhua News Agency. http://www.xinhuanet.com/english/2019-05/30/c_138103102.htm

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons 