







*Tecnologías de Tratamiento  
de Residuos Sólidos  
de Establecimientos de Salud*

*Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud*

---

---

## Ministerio de Salud

Dr. Marino Costa Bauer  
Ministro de Salud

Dr. Alejandro Aguinaga Recuenco  
Vice Ministro de Salud

### Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud (PFSS)

Dr. Augusto Meloni Navarro  
Coordinador General

Dr. Ricardo Corcuera Rodríguez  
Sub Director Técnico

Ing. Fernando Ferrero Pavía  
Sub Director Administrativo

Ing. Percy Iribarren Ibáñez  
Coordinador  
Area de Residuos Sólidos Hospitalarios

---

**Colaboración:** Ing. Javier Y. Falcón Sánchez  
Ing. Eugenio Bellido Mamani

**Cuidado de edición:** Eduardo Arenas Silvera

Diciembre de 1998

© **MINISTERIO DE SALUD**

**Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud**  
**Area de Residuos Sólidos Hospitalarios**

Av. Salaverry, cuadra 8 s/n, Jesús María, Lima-Perú

Teléfono 433-0245, Fax 433-0194

postmaster@minsa.gob.pe

<http://www.minsa.gob.pe>

<http://www.digesa.sld.pe>

**DISTRIBUCIÓN GRATUITA**

## ÍNDICE

PRESENTACIÓN	7
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ANTECEDENTES	11
a) Ambito extranosocomial	11
i. Recolección y transporte	12
ii. Disposición final	12
b) Ambito intranosocomial	13
3. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO	17
3.1. INCINERACIÓN	18
3.1.1. Descripción del sistema	18
3.1.2. Características técnicas del equipo	19
3.1.3. Aspectos técnico-operativos	21
3.1.4. Ventajas y desventajas	23
3.2. ESTERILIZACIÓN A VAPOR	24
3.2.1. Descripción del sistema	24
3.2.2. Características técnicas del equipo	24
3.2.3. Aspectos técnico-operativos	26
3.2.4. Ventajas y desventajas	27
3.3. DESINFECCIÓN POR MICROONDAS	28
3.3.1. Descripción del sistema	28
3.3.2. Características técnicas del equipo	29
3.3.3. Aspectos técnicos operativos	30
3.3.4. Ventajas y desventajas	30

3.4. ESTERILIZACIÓN POR IRRADIACIÓN CON HAZ DE ELECTRONES	31
3.4.1. Descripción del sistema	31
3.4.2. Aspectos técnico-operativos	32
3.4.3. Ventajas y desventajas	33
3.5. TRATAMIENTO QUÍMICO	33
3.5.1. Descripción del sistema	33
3.5.2. Características del proceso	34
3.5.3. Aspectos técnico-operativos	35
3.5.4. Ventajas y desventajas	35
3.6. OTRAS TECNOLOGÍAS EMERGENTES	35
3.6.1. Pirólisis	35
3.6.2. Detoxificación sintética	36
3.6.3. Piroxidación	37
3.6.4. Plasma	38
4. ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA	39
4.1. OBJETIVO	39
4.2. FINALIDAD	39
4.3. TRABAJO DESARROLLADO	39
4.4. RESULTADOS OBTENIDOS	40
4.4.1. Incineración de doble cámara	41
4.4.2. Esterilización con vapor: Autoclaves	43
4.4.3. Sistema de desinfección con microondas	44
4.4.4. Irradiación con haz de electrones	46
4.4.5. Desinfección química	47
4.4.6. Enterramiento controlado	47
ANEXO 1: Cuadros	49
ANEXO 2: Bibliografía	57

## *PRESENTACIÓN*

El presente documento resume el Enfoque de las Tecnologías de Tratamiento de Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud, estudio elaborado por el Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud de Ministerio de Salud en el marco del Proyecto de Manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios, ejecutado a través de DIGESA, que será de gran utilidad para los directivos de los establecimientos de salud y del MINSA, el cual les permitirá identificar, seleccionar y organizar sistemas de tratamiento de desechos sólidos generados en los establecimientos de salud del país.

Los establecimientos de salud del Perú no cuentan con sistemas adecuados de tratamiento de desechos sólidos biomédicos o biocontaminados, sin considerar los centros de salud y postas médicas; se estima que el 60% de éstos cuentan con sistemas de tratamiento “quemadores” mal llamados incineradores, de los cuales aproximadamente el 10% se encuentran en operación; el resto de los establecimientos disponen sus desechos en rellenos sanitarios, botaderos o inclusive son arrojados a los ríos causando problemas a la población que utiliza el agua de esta fuente para su consumo diario, así como la contaminación y deterioro ambiental. Por otro lado, existe un desconocimiento de las técnicas de tratamiento actuales, sus ventajas técnicas, económicas y ambientales, sus costos por parte de los funcionarios de salud, quienes toman la decisión final en la selección, adquisición y puesta en operación de los sistemas de tratamiento.

El estudio se plantea en la necesidad de determinar cuál es la tecnología de tratamiento más adecuada para los establecimientos de salud del país, dada la situación económica, de salud y ambiente actual. Este cuenta con varios productos, el primero identifica las tecnologías de tratamiento más empleadas en el ámbito mundial, el segundo producto consiste en determinar la viabilidad técnica y operativa de poder ser implementadas en el país y el tercero y más importante es el estudio de viabilidad económica, donde se toman en cuenta los costos de inversión, operación y mantenimiento.

Los resultados del estudio han identificado cuatro tecnologías más empleadas en el ámbito mundial, Incineración, Esterilización a vapor (Autoclaves), Desinfección por microondas y Tratamiento químico. El presente documento describe las tecnologías identificadas, detallando sus características técnicas y

operativas, su modo de empleo, identifica las ventajas y desventajas más importantes, y detalla los costos de inversión, operación y mantenimiento de cada tecnología.

El estudio permitirá la planificación del tratamiento de estos residuos, mediante un sistema eficiente y seguro que se diseñará como Componente del Saneamiento Ambiental Hospitalario, que es condición previa al desarrollo de la atención médica en estas instituciones; acción que contribuirá a elevar la calidad del servicio brindado a la comunidad.

**Dr. Augusto Meloni Navarro**  
Coordinador General  
PFSS-MINSA

## *1. INTRODUCCIÓN*

El cuidado del Medio Ambiente es una necesidad y un requerimiento del desarrollo sustentable, el mismo que se ha constituido en uno de los paradigmas de la sociedad moderna.

La pobreza, los altos índices de mortalidad y las condiciones insalubres están correlacionadas con el subdesarrollo. La falta de políticas definidas de gestión ambiental, así como la carencia de sistemas de tratamiento de residuos sólidos y de efluentes han propiciado que las campañas de emergencia efectuadas para reducir la propagación de enfermedades y epidemias, no hallan sido del todo efectivas.

Dentro del alcance de los lineamientos planteados en la Agenda 21 (CNUMAD 92, Río, 1992) para reducir la contaminación y mejorar las condiciones de salubridad de la población está el tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios.

En el marco del componente de Residuos Sólidos Hospitalarios (MARSH) del Programa de Fortalecimiento de los Servicios de Salud (PFSS), del Ministerio de Salud de la República del Perú, se ejecutó un Diagnóstico Situacional del Manejo de estos Residuos en los hospitales administrados por el Ministerio de Salud (MINSa). Dicho estudio evidenció la precariedad del Saneamiento Ambiental en su componente Residuos Sólidos en el ámbito nacional.

Al no contar el país con normas legales adecuadas, la informalidad en el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos hospitalarios es una práctica común, con los riesgos epidemiológicos asociados a este manejo inadecuado.

En un país donde las tasas de mortalidad infantil son altas, donde hay riesgos epidemiológicos igualmente latentes y donde la pobreza guarda una correlación directa con los niveles de contaminación del ambiente, se deben incorporar programas de salud que mitiguen los riesgos para contraer enfermedades.

La ausencia de programas para un manejo de estos residuos hace que el peligro de contaminación intra y extrahospitalaria sea un problema primario a tratar.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha puesto el mayor interés para apoyar finalmente los esfuerzos del Ministerio de Salud de la República del

Perú a través del Programa de Fortalecimiento de los Servicios de Salud, entre cuyos fines están los encaminados a reducir los riesgos epidemiológicos y mejorar la salud de la población del país. Así bajo el Programa de Fortalecimiento de los Servicios de Salud (PFSS), el Ministerio de Salud asume la responsabilidad de realizar el presente estudio con carácter prioritario.

## 2. ANTECEDENTES

El manejo de los residuos sólidos hospitalarios (RSH) en el Perú desde hace varias décadas es muy precario, con serias deficiencias tanto en ámbito interno como externo del nosocomio, lo que estaría ocasionado importantes consecuencias en la salud de las personas (M. Miguel, 1987, Empresa de Servicios Municipales de Lima).

Reporta P. Tello (1991) que el 85% de los centros hospitalarios (tanto públicos como privados) tienen un servicio de limpieza propio, sin embargo usualmente el personal de éstos no cuentan con la adecuada capacitación. La carencia de materiales, equipos de limpieza y de protección del personal es marcada, situación que en la actualidad continúa en la mayoría de los centros hospitalarios. Así mismo, el almacenamiento final en el 71% de los establecimientos se realiza al aire libre, sin contar con las condiciones de infraestructura adecuada y frecuentemente contaminando suelos, agua y aire.

La información sobre las características epidemiológicas del manejo de los residuos sólidos hospitalarios en el Perú es insuficiente. La información más reciente es la proporcionada por el Ministerio de Salud (MINSA) a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) sobre el Diagnóstico situacional del manejo de residuos sólidos de hospitales administrados por el MINSA (Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud- PFSS del Ministerio de Salud, 1995, pp.23-28). Este estudio se realizó en Hospitales de Tumbes, Trujillo, Ica, Cuzco, Huancayo e Iquitos, en el marco del proyecto de Manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios componente del PFSS.

### a) *Ámbito extranosocomial*

El Reglamento de Aseo Urbano (D.S. 037/83 SA) en el artículo 61°, especifica el manejo de los desechos hospitalarios con ciertas orientaciones para desarrollar la actividad, sin embargo, en el ámbito extranosocomial la norma no aborda claramente quién tiene la responsabilidad para ejecutar la recolección, transporte, disposición final y las acciones de vigilancia sanitaria.

La Autoridad de Salud generadora de estas normas demostró preocu-

pación por el problema, sin embargo no profundiza en aspectos técnicos, además de no haber coordinación entre los sectores vinculados en este rubro, como salud, municipalidad, administradores de los centros hospitalarios y responsables directos de los manejos de estos residuos. Según las fuentes revisadas, en relación al manejo de los residuos sólidos en establecimientos de salud en provincias, y de diagnósticos situacionales de algunos hospitales en Lima. Se ha podido apreciar lo siguiente:

#### *i. Recolección y transporte*

La mayoría de los hospitales administrados por el MINSA realizan coordinaciones con las municipalidades de su jurisdicción para ser atendida. El gobierno local realiza esta tarea como parte de su programa de recolección de residuos domiciliarios, sin tener una estrategia especial para los residuos generados por estas instituciones. En muchas ciudades incluyendo Lima, la Municipalidad realiza este servicio en forma irregular; el almacenamiento es prolongado en el ámbito hospitalario. Las municipalidades para realizar esta actividad no utilizan unidades especiales para el transporte de estos residuos hospitalarios; algunos disponen camiones compactadores, camiones baranda, el personal no utiliza uniformes especiales, y en ningún caso han recibido capacitación mínima ni han sido sometidos a ningún tipo de inmunización. En la ciudad de Lima actualmente se utilizan bolsas de polietileno en algunos hospitales, sin diferenciación de colores y no existiendo ningún tipo de segregación.

#### *ii. Disposición final*

Se destina un lugar especial en algunos casos para el enterramiento de los residuos hospitalarios, en muy pocos lugares son objeto de una operación adecuada. La mayoría de las ciudades prácticamente administran botaderos, lugares donde son tirados al aire libre los desperdicios de la ciudad así como los de origen nosocomial; mayormente dichos botaderos se ubican a poca distancia de poblados, además en estos lugares convergen personas que encuentran allí una fuente de recursos económicos en los residuos que recuperan para su posterior comercialización, y de animales que son llevados para ser alimentados.

*b) **Ámbito Intranosocomial***

Los establecimientos de salud asumen este manejo a través de la Unidad de Servicios Generales, Mantenimiento, la Oficina de Conservación y Vigilancia o empresas privadas y mixtas dedicadas a este rubro.

La generación de los residuos sólidos en estas instituciones obedece a las características operativas en cada una de sus unidades o servicios, además el tamaño de éstas es función de la variable de número de camas de internamiento.

En el país en general, no está sistematizada la vigilancia epidemiológica de las infecciones intrahospitalarias, de los accidentes que ocurren por las actividades desarrolladas durante el manejo de los residuos sólidos hospitalarios en el nosocomio y de las enfermedades ocupacionales que pueden desarrollar los encargados de la limpieza y manejo de los residuos, quienes además no cuentan con controles médicos periódicos.

En las unidades o servicios de estas instituciones, el manejo de los residuos se inicia desde el momento en que son generados, donde no se implementa nprocedimientos para la separación de los residuos de mayor riesgo para ser manejados en forma especial, no se utilizan envolturas adecuadas para el embalaje, los existentes en su mayoría son de cartón, madera, metálicos y plásticos sin sus correspondientes tapas.

El almacenamiento de los desperdicios generados en estas unidades se ubica en los lugares más inapropiados para este fin, donde permanecen por horas y luego son transportados a una habitación donde pueden permanecer incluso días.

Todas estas actividades las realiza el personal en forma manual con el mínimo de equipos de protección, en rutas y horarios críticos por la afluencia de pacientes que acuden al hospital a esas horas. No existe en ningún hospital del país la práctica formal de reciclaje con la posibilidad de seleccionar residuos comunes que tendrían un gran potencial de comercialización y generación de ingreso económico.

El Ministerio de Salud aún no posee una norma específica para el manejo de los residuos sólidos de establecimientos de salud, sin embargo a

través del Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud ha desarrollado el Proyecto de Reglamento de Manejo de Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud donde se detalla en forma precisa la segregación, almacenamiento, recolección, transporte interno, manejo, tratamiento, transporte externo y disposición final de los residuos sólidos producidos por los establecimientos de salud.

Los desechos sólidos hospitalarios con algunas raras excepciones, son recogidos por los servicios municipales, cuando los hay, o son dispuestos a campo abierto.

Los hospitales generan, en su operación una gran cantidad de residuos biocontaminados que infectan el entorno: suelo, cursos de agua y aire.

Como antecedente hay que mencionar que el personal que mayor énfasis ha tenido dentro de su preparación curricular sobre el manejo y tratamiento de basuras es el de menor nivel: Técnicos de Saneamiento Ambiental, Auxiliares Sanitarios y de Enfermería y Promotores Comunitarios de Salud; en su formación se incluyen capítulos para el tratamiento higiénico de los residuos, tanto los producidos por sus centros de labor, como los provenientes de la comunidad (hogar familiar y hogar comunal).



**Gráfico 1. Tipos de Residuos Biocontaminados generados en los establecimientos de salud**

Es también cierto que nuestra legislación trata este tema en forma genérica a través del Código Sanitario y con alguna profundidad en el Reglamento de Aseo Urbano. Sin embargo, se ha elaborado el Reglamento de Manejo de Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud en el que se consideran aspectos operativos del manejo de estos desechos, desde la generación hasta su disposición final.

Hay deficiente racionalización de los recursos, que se agrava con la casi inexistente capacitación del personal en todos sus niveles, sin exceptuar a los profesionales preparados por las universidades para un escenario diferente al peruano.

Así mismo contribuye al retraso en el desarrollo, la preferente atención recuperativa y de rehabilitación sobre la de mayor impacto real preventivo - promocional. Un ejemplo de lo dicho, es el campo relativo al tratamiento de los residuos hospitalarios.

Los esfuerzos del gobierno para mejorar la calidad, eficiencia y equidad de los servicios de salud se han plasmado en el Programa de Fortalecimiento de los Servicios de Salud, que está orientado a sentar las bases para un nuevo rol de la salud pública hacia su modernidad en el siglo veintiuno como acción futura de mediano y largo plazo.

Una de las metas es lograr un sistema capaz de reducir y controlar los riesgos sanitarios ocupacionales, comunitarios y ambientales asociados al manejo de materiales y sustancias potencialmente peligrosas. Este sistema interactuando con sus pares de la gestión, tiende a modificar la situación de Salud, al incidir directamente en el control de una de los más importantes factores condicionantes de la contaminación del medio ambiente.

El sistema de manejo de residuos hospitalarios a implementar deberá ser capaz de funcionar en los niveles nacional, regional, departamental y local en un modelo integrado, funcional, eficiente y económico, en un justo equilibrio de costo - beneficio.

Tendrá en cuenta la realidad local, la tecnología aplicable, las distancias, la facilidad de transporte seguro y la factibilidad del reciclaje.

Enmarcándose en el proceso de cambio, sin descuidar la incidencia medio ambiental mediante la utilización de procedimientos y/o tecnología intermedia.

### 3. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO

El estudio “Desarrollo del Enfoque de las Tecnologías de Tratamiento de Residuos Sólidos Hospitalarios” identifica las tecnologías de tratamiento disponibles en el ámbito mundial. Asimismo, se han analizado y discutido tanto técnica como económicamente las alternativas de tratamiento, basándose en las cualidades y capacidades de cada tecnología, así como sus costos de inversión, operación y de mantenimiento.

Por otro lado, se plantea el tratamiento de los residuos biocontaminados en la fuente de generación (tratamiento *in situ*) y se propone la tecnología disponible para ello. Se estableció la alternativa de un solo tratamiento global en el establecimiento de salud, para ciertos establecimientos de salud con capacidades y recursos limitados.

Igualmente se hace mención a la alternativa de tratamiento centralizado para establecimientos de salud, ubicados en una determinada área geográfica, tanto en su versión de unidad de tratamiento fija, como en la versión de unidad móvil.

Las ventajas y desventajas de cada una son planteadas, incluyendo análisis de riesgos, requerimiento de recursos e impacto ambiental que implica la operación de cada una.

Para llevar a la práctica la propuesta de gestión integral del manejo de residuos sólidos hospitalarios, se plantea la implementación de un sistema de organización articulado con la actual organización del establecimiento de salud. Esta propuesta se realiza bajo el esquema moderno de participación de la empresa privada en apoyo a los servicios de salud.

Cabe mencionar que la propuesta planteada en el presente documento requiere el complemento de un marco legal apropiado, que propicie al interior de los establecimientos de salud la adopción de las tecnologías aquí vertidos, a fin de reducir los riesgos actuales asociados al manejo de los residuos sólidos hospitalarios.

El objetivo es evaluar los sistemas de tratamiento de residuos sólidos de establecimientos de salud, considerando el aspecto sanitario, técnico - operativo,

económico y organizacional, que garantice eficacia, seguridad y eficiencia para el mejor control de los riesgos de salud ocupacional, pública y ambiental que están asociados a éstos.

La finalidad es de identificar y caracterizar las metodologías y técnicas de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios, evaluando la viabilidad técnica, operativa, organizacional y económica de ellas, el contexto de la red de los establecimientos de salud administrados por el Ministerio de Salud.

### 3.1. INCINERACIÓN

#### 3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Proceso de oxidación química en el cual los residuos son quemados bajo condiciones controladas para oxidar el carbón e hidrógeno presentes en ellos, destruyendo con ello cualquier material con contenido de carbón, incluyendo los patógenos.

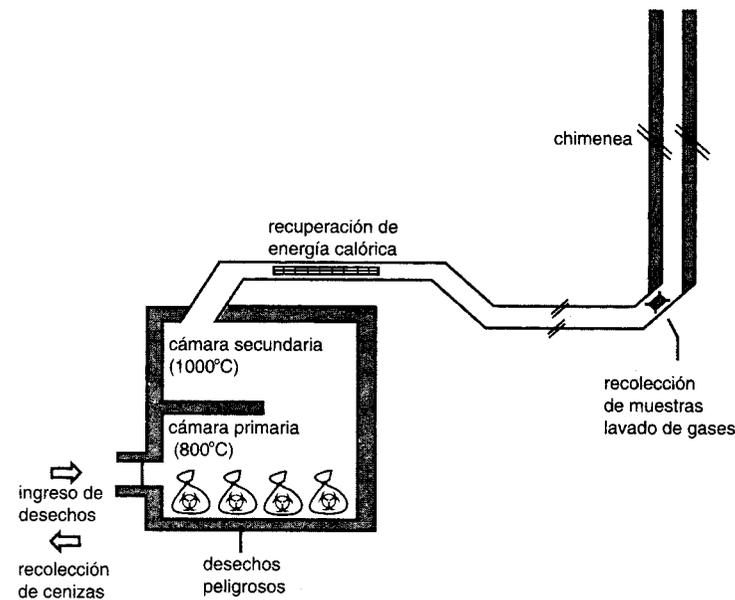


Gráfico 2. Diagrama de un Incinerador

Los gases de combustión son venteados a través de una chimenea, mientras que los residuos convertidos en cenizas son removidos periódicamente para su disposición final en el relleno sanitario.

Para tratar los residuos biocontaminados por este método, los parámetros que se deben tener en cuenta y que tienen influencia en la eficacia del tratamiento son: en primer lugar el dispositivo debe contar con dos cámaras o más de incineración, la primera cámara debe alcanzar temperaturas entre 600°C y 850°C, temperatura a la cual combustionarán los desechos con contenido de carbono e hidrógeno, la cámara secundaria y subsecuentes deben alcanzar temperaturas superiores a 1200°C, donde los gases provenientes de la cámara primaria con contenido de gases tóxicos de la quema de plásticos (Dioxinas, PCBs, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> entre otros) romperán sus cadenas químicas logrando un efluente con un mínimo de emanaciones peligrosas. Los niveles máximos de las emisiones que rigen en la actualidad, según parámetros internacionales son los que se muestran en la tabla siguiente.

**Niveles máximos de emisiones a la atmósfera de los equipos de incineración**

<b>Niveles Máximos Permisibles de</b>	<b>mg /m<sup>3</sup></b>
Partículas	30,0
Mónóxido de carbono	50,0
Acido clorhídrico	30,0
Bióxido de azufre	100,0
Compuestos orgánicos (carbón total)	20,0
Pb	1,0
Cd más Hg	0,1
Cr6	0,5
As	0,5
Dioxinas y Furanos	1 ng / m <sup>3</sup> TEQ*

\*Equivalente tóxico para cada tipo de compuesto

### **3.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO**

Los equipos de incineración cuentan con una cámara principal de acero, con resistencia a las temperaturas altas, esta cámara se encuentra re-

vestida con ladrillos refractarios, cuya finalidad es la de retener el calor producido por los quemadores. Los quemadores, de los que pueden existir uno o más según el tamaño de la cámara o las temperaturas que se desean alcanzar, consisten en unas boquillas donde se pulveriza el combustible en una mezcla con aire a presión, el cual se encenderá mediante una chispa producida por un sistema eléctrico parte del equipo.

Algunas cámaras primarias cuentan con sistemas para insuflar aire con la finalidad de mantener una combustión completa de los productos que se están incinerando y mantener la temperatura de operación adecuada sin el uso de combustible, únicamente con la quema de los mismos desechos sólidos. Las temperaturas de operación de la cámara primaria deben oscilar entre 600 y 850°C.

La cámara secundaria, de menor tamaño que la primera, consiste también en una estructura de acero, la cual se encuentra revestida de ladrillo refractario que soporta mayores temperaturas, en ésta, los gases producto de la combustión de material sólido de la primera cámara son incinerados mediante un quemador adicional. Las temperaturas que deben alcanzar son superiores a los 1,200°C.



**Gráfico 3. Incinerador de doble cámara convencional**

Los gases de combustión de la cámara secundaria pasan finalmente a través de un sistema "lavador de gases", el consiste en duchas cuya función es la de retener las partículas en suspensión y enfriar los gases de combustión. Los gases ya limpios de partículas y enfriados pasan a través de un filtro antes de ser eliminados al ambiente.



**Gráfico 4. Incinerador de doble cámara con sistema de recuperación de calor**

Sin embargo, existen otros sistemas similares que previo al lavador de gases recuperan el calor generado pasando los gases a través de un intercambiador de calor para calentar agua, generar vapor, agua sobrecalentada, aceite térmico, entre otros, elevando considerablemente su rendimiento.

### **3.1.3. ASPECTOS TÉCNICO-OPERATIVOS**

La incineración de residuos biocontaminados requiere de temperaturas y tiempos de exposición mínimas para asegurar la destrucción de todos los microorganismos presentes. Temperaturas del orden de los 1200°C en la cámara de combustión secundaria con tiempos de residencia del orden de un (1) segundo permitirá obtener una adecuada incineración de los elementos tóxicos generados en la cámara primaria.

La composición de los residuos y la tasa de alimentación de los residuos al incinerador, son aspectos fundamentales para una correcta operación y una adecuada protección de la unidad de incineración. La regulación del contenido de humedad y de la proporción de plástico resulta necesaria para evitar variaciones excesivas de la temperatura que pudieran derivar en un tratamiento inadecuado o en daños al equipo.

Cuando no sea posible practicar el tratamiento *in-situ*, en especial cuando se trata de pequeños establecimientos de salud, es posible adoptar soluciones conjunta para dos o más de ellos. Si bien una solución conjunta usualmente significa menores costos y mayor eficiencia, debe prestarse especial atención a los riesgos sanitarios y ambientales asociados al transporte de residuos biocontaminados. Cabe señalar que una solución conjunta no sólo incluye la incineración como método de tratamiento, sino también otras alternativas como por ejemplo el enterramiento controlado.

Los residuos comunes, cuando una buena práctica de segregación asegure que ellos están exentos de residuos biocontaminados, pueden derivarse directamente al recolector municipal, sin tratamiento adicional.

Su utilización para el tratamiento de residuos sólidos biocontaminados resulta eficaz por la destrucción de los materiales orgánicos, incluyendo patógenos, además de reducir el volumen y masa de los residuos en un 80 a 95%, haciendo irreconocibles los residuos, para ser llevados a su disposición final en el área habilitada especialmente en el relleno sanitario. El hecho de que con este tratamiento se haga irreconocibles los residuos, es particularmente relevante en nuestro país, donde la segregación informal de los residuos en los rellenos sanitarios y botaderos es una práctica común.

Sin embargo, se debe contemplar el impacto ambiental que representa la operación de los incineradores. La protección al medio ambiente que se exige en un esquema universalmente aceptado en nuestro tiempo de desarrollo sostenible, implica el implementar incineradores eficientes y que posean un equipo complementario para la “limpieza de los gases de combustión”, como factor determinante para su aplicación actual en los establecimientos de salud.

Además de poseer la capacidad adecuada para tratar la generación de residuos biocontaminados del establecimiento, se deben tener en cuenta otros factores al implementar los incineradores. Debieran ser instalados alejados de los servicios de hospitalización, vivienda, consultorios, comedor y cocina principalmente; separados del edificio del establecimiento de salud, pero además teniendo en consideración la dirección de los vientos que prevalecen en la zona.

Algunos inconvenientes operativos de su aplicación están en la posibilidad de supervivencia de contaminantes en las cenizas y en el líquido residual, en la presencia de compuestos químicos que al quemarse puedan emitir gases tóxicos y partículas que puedan causar una polución atmosférica severa en el entorno; asimismo, la presencia de elementos clorinados puede causar daños al incinerador por corrosión.

Otro inconveniente son los riesgos ocupacionales en las operaciones de manipulación y transporte de los residuos biocontaminados hacia el incinerador.

#### **3.1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

##### **3.1.4.1. Ventajas**

- Reduce el volumen en un 90%
- Destrucción total de patógenos, si opera a las temperaturas requeridas
- No hay necesidad de acondicionar los residuos previamente al proceso
- Se puede contar con sistemas móviles de incineración
- Se pueden tratar los residuos comunes y biocontaminados

##### **3.1.4.2. Desventajas**

- Emisiones gaseosas peligrosas, con contenido de dioxinas, PCBs, SOx, NOx entre otros.
- Riesgos en la operación, se pueden provocar fogonazos, incendios y quemaduras al operador
- Se requiere de personal entrenado y capacitado para su operación y mantenimiento

- Altos costos de operación (combustibles) y mantenimiento.

## **3.2. ESTERILIZACIÓN A VAPOR**

### **3.2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

Proceso que utiliza vapor saturado a presión en una cámara, más conocido como autoclave o retorta, dentro del cual se someten los residuos sólidos a altas temperatura con la finalidad de destruir los agentes patogénicos que están presentes en los residuos.

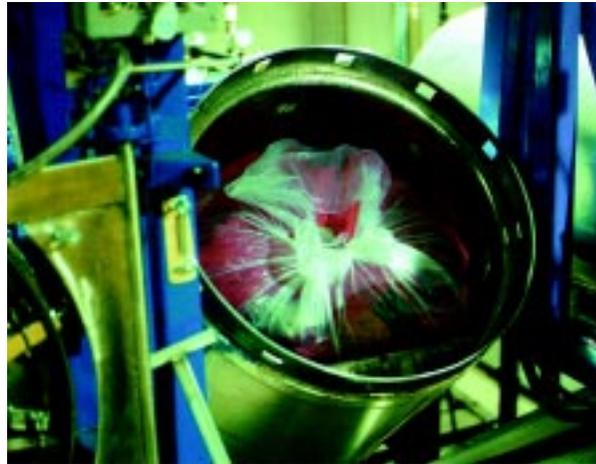
El autoclavado es el método más conocido de esterilización a vapor, se caracteriza por tener una chaqueta de vapor, que rodea a la cámara de presión (cámara de esterilización); la chaqueta es abastecida con vapor luego de cargar los residuos biocontaminados, una vez que la autoclave está cargada y cerrada, se hace ingresar vapor a la cámara de esterilización.

La temperatura y el tiempo son igualmente los parámetros fundamentales para la eficacia de este tratamiento. Las temperaturas de operación deben estar entre 135 a 137° C, por un tiempo de 30 minutos como mínimo.

### **3.2.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO**

El equipo consiste una cámara hermética, de acero inoxidable, dentro de la cual se colocarán los desechos, esta cámara puede resistir altas presiones y vacíos, también de acero inoxidable. En esta cámara se colocan los residuos a ser esterilizados; en primer lugar se produce vacío para extraer el aire de la cámara, luego se inyecta vapor de agua en el interior, a fin de evitar la formación de burbujas de aire donde la temperatura no alcanza la adecuada; nuevamente se realiza un segundo vacío extrayendo el contenido de aire y vapor de la cámara. Se prevé que en este momento la cámara no tendrá bolsas de aire, inmediatamente después se inyecta vapor. Un sistema controla el incremento de la temperatura hasta 137°C, momento en el cual comienza a contar el tiempo de tratamiento de 30 minutos.

Si por algún motivo la temperatura decae de 137°C el tiempo se inicia nuevamente en cero. Una vez que el tiempo de 30 minutos ha transcurrido se inicia un último vacío extrayendo el vapor contenido en la cámara bajo la forma de condensados por un lapso de 15 minutos. En este instante, a altas temperaturas, y bajas presiones se produce un proceso físico químico que consiste en la evaporación súbita y sublimación del agua contenida en los residuos sólidos. La humedad final de los desechos se recomienda sea del 5%. Una vez finalizada esta parte del proceso se extraerán los residuos de la cámara totalmente esterilizados.



**Gráfico 5. Esterilizador a vapor para residuos sólidos de establecimientos de salud**

Los esterilizadores a vapor convencionales son estáticos, lo que provoca que en el interior de las cámara de esterilización se puedan formar bolsas de aire, en éstas las temperaturas en ocasiones no llegan a las adecuadas, sin embargo existen equipos rotativos que efectúan el mismo proceso que además de homogenizar los desechos, evitan que se formen estas bolsas de aire.



**Gráfico 6. Autoclave rotativa para Residuos Sólidos**

### **3.2.3. ASPECTOS TÉCNICO-OPERATIVOS**

Su utilización es aconsejable en los servicios donde se halla un potencial de generación de residuos sólidos biocontaminados. Sin embargo, las restricciones técnico económicas de su aplicación orientaría su uso a los establecimientos de salud que cuenten con red de vapor (calderas) o energía eléctrica disponible dada la alta demanda de potencia eléctrica requerida para la operación de las calderas eléctricas incorporadas en los modelos de autoclave de operación autónoma.



**Gráfico 7. Autoclave de Residuos Sólidos implementado en Hospitales Regionales de Iquitos, Trujillo y Cusco**

Con esta aplicación al no reducirse ni destruirse la masa, se recomienda utilizar un tratamiento posterior que haga irreconocible los residuos que salen de la autoclave (particularmente aplicable a jeringas, agujas e hipodérmicas), a fin de evitar su reuso ilegal propiciado por la segregación informal existente en los rellenos sanitarios.



**Gráfico 8. Triturador de Residuos Sólidos post tratamiento implementado en Hospitales Regionales de Iquitos, Trujillo y Cusco**

Los parámetros que se deben tener en cuenta para este tipo de tratamiento son la temperatura y tiempo, a fin de garantizar la esterilización completa de los residuos biocontaminados. Parámetros que se fijarán en función a las características operativas y a los tipos de patógenos que se desea esterilizar.

#### **3.2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

##### **3.2.4.1. Ventajas**

- Reduce el volumen en un 40%, con un sistema complementario de trituración de desechos se alcanza hasta un 70%.
- Destrucción total de patógenos si se opera a las temperaturas, presiones y tiempos adecuados

- No hay necesidad de acondicionar los residuos previamente al proceso
- Se puede contar con sistemas móviles de esterilización vapor
- Bajo costo de inversión, operación y mantenimiento
- Tiene efluentes estériles
- Fácil operación

#### 3.2.4.2. *Desventajas*

- Riesgos de quemaduras en caso de mala operación
- Requiere de una línea de vapor o casa fuerza para que sus costos de operación sean convenientemente bajos
- El sistema requiere de un sistema complementario de destrucción de desechos (trituración)
- Luego de ser procesados, los residuos quedan reconocibles por tanto hay el peligro de reuso

### 3.3. *DESINFECCIÓN POR MICROONDAS*

#### 3.3.1. *DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA*

Proceso por el cual se aplica una radiación electromagnética de corta longitud de onda a una frecuencia característica. La energía irradiada a dicha frecuencia afecta exclusivamente a las moléculas de agua que contiene la materia orgánica, provocando cambio en sus niveles de energía manifestados a través de oscilaciones a alta frecuencia, las moléculas de agua al chocar entre sí friccionan y producen calor elevando la temperatura del agua contenida en la materia, causando la desinfección de los desechos.

La aplicación de esta tecnología implica una trituración y desmenuzamiento previo de los residuos biocontaminados, a fin de mejorar la eficiencia del tratamiento, a continuación al material granulado se le inyecta vapor de agua y es transportado automáticamente hacia la cámara de tratamiento, donde cada partícula es expuesta a una serie de generadores de microondas convencionales que producen el efecto mencionado anteriormente.

El producto final tratado está preparado para ser depositado en el relleno sanitario o ser enviado a plantas de reciclaje y aprovechamiento de residuos. El volumen de los residuos se reduce en un 60%.

### **3.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO**

El equipo está conformado por cuatro elementos, el primero consiste en un sistema de carga automático que permite que el operador no entre en contacto con los desechos. Este elemento levanta los residuos sólidos hasta una cámara en la parte superior del equipo, donde los desechos son triturados previamente al proceso de manera de tener una masa homogénea de residuos.

Debido al principio de funcionamiento del microondas explicado anteriormente, luego de la trituración se inyecta vapor de agua al desecho con la finalidad de elevar la humedad de los mismos de 50% a 60% hasta 90% aproximadamente.

Logrado esto los desechos son transportados mediante un tornillo sin fin hasta los generadores de microondas; éstos se irradiarán con ondas de alta frecuencia durante 30 minutos. Las temperaturas de operación son de 95°C. En estas condiciones los residuos quedarán desinfectados.

Finalmente, los residuos ya tratados son colocados en un contenedor para ser evacuados por un camión recolector municipal y listos para ser enterrados.



**Gráfico 9. Desinfección por Microondas para el tratamiento de Residuos Sólidos**

### **3.3.3. ASPECTOS TÉCNICO-OPERATIVOS**

Este nuevo sistema de tratamiento reduce los volúmenes de los residuos biocontaminados mediante un triturador a un 60%. Hay ausencia de emisiones peligrosas, sin embargo podrían liberarse de la cámara de tratamiento materiales volátiles durante la operación. Hay ausencia de vertidos líquidos y el producto final es irreconocible. En general el impacto ambiental que ofrece este tratamiento es relativamente bajo.

Sin embargo, posee complejidad operativa, requiere de un triturador y de una batería de generadores de microondas, de un elevador, de un transportador sin fin, y de altas demandas de energía eléctrica (60 Kw para un tratamiento de 100 Kg/hora). Dada la capacidad mínima de tratamiento de esta tecnología, técnicamente tendría su aplicación para un solo establecimiento, pues en las capacidades que actualmente se fabrican (de 100 a 250 Kg/hora) quedan subdimensionados.

### **3.3.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

#### **3.3.4.1. Ventajas**

- Reduce el volumen en un 60%
- No hay necesidad de acondicionar los residuos previamente al proceso

- Se puede contar con sistemas móviles
- Se pueden tratar los residuos comunes y biocontaminados
- Bajo riesgo en su operación
- No hay efluentes ni emisiones gaseosas peligrosas
- No usa productos químicos
- El producto final es irreconocible
- Olor y niveles de ruido muy reducidos
- Su operación implica un bajo impacto ambiental por ausencia de emisiones peligrosas, asimismo, no hay sobrecarga de los vertedores municipales, hay una mejora en las relaciones públicas con los vecinos del hospital

#### **3.3.4.2. Desventajas**

- Se requiere de personal entrenado y capacitado para la operación y mantenimiento.
- Altos costos de inversión y mantenimiento
- Las temperaturas de tratamiento (95°C) no eliminan todo el espectro de patógenos presentes en los residuos

### **3.4. ESTERILIZACIÓN POR IRRADIACIÓN CON HAZ DE ELECTRONES**

#### **3.4.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

Proceso de destrucción de los patógenos por disociación química y ruptura de sus células causadas por el flujo de electrones.

En esta tecnología emergente los electrones son generados por un acelerador similar a aquellos usados para administrar radioterapia. El sistema consiste en una fuente de alto voltaje, con modulador de radio frecuencia controlado por un procesador que opera el acelerador de electrones enfriado por agua y encapsulado en paredes de concreto para contener la radiación. Un sistema de transporte mecanizado conduce los residuos biocontaminados debajo de los haces de electrones a un ritmo de 180 kg/hora aproximadamente.

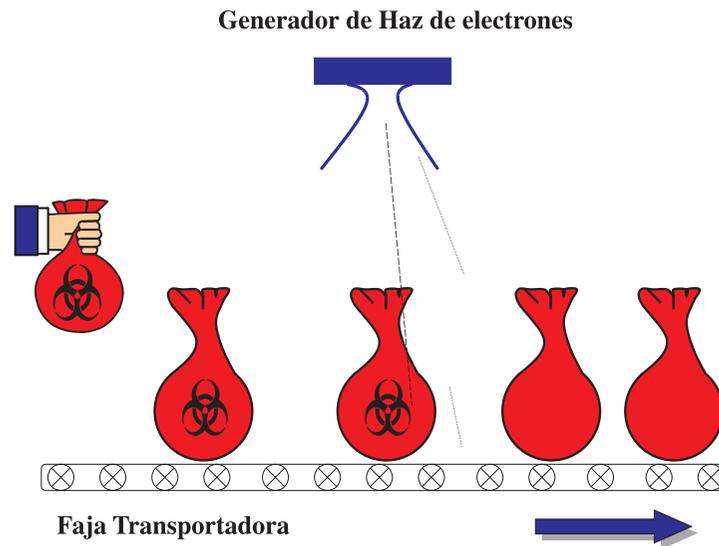
Los residuos biocontaminados, incluyendo plásticos, vidrios, papel, látex (guantes, vendas), van dentro de contenedores conteniendo cada uno

aproximadamente 5 kg. de residuos que se transportan a la cámara de irradiación a través de un sistema motorizado. El flujo de electrones emitidos por un filamento y acelerado por un campo eléctrico de alto voltaje, destruye los microorganismos (patógenos) al ocasionar una disociación química y ruptura de la pared celular de los microorganismos.

### 3.4.2. ASPECTOS TÉCNICO-OPERATIVOS

Esta tecnología requiere de un equipo bastante sofisticado, consistente en un generador de electrones, un gabinete aislado con un acelerador de electrones por campo magnético de alto voltaje y requiere personal altamente calificado.

Los residuos se trasladan por la cámara de radiación en contenedores individuales movidos por un sistema motorizado. Durante el proceso de irradiación, la temperatura de los residuos sólo sube unos 15°C, permitiendo que los desperdicios irradiados puedan ser manejados inmediatamente después de haber sido esterilizados.



**Gráfico10. Diagrama del equipo de irradiación de electrones**

El consumo de energía es estimado en 0.0386 Kwh/Kg de residuo biocontaminado tratado.

Apenas se apaga el equipo la radiación residual cesa, asimismo al no operar por combustión la polución atmosférica que produce es mínima. A pesar de que hay emisiones de gas ozono, éstas son reducidas por una destrucción catalítica.

### **3.4.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

#### **3.4.3.1. Ventajas**

- Destrucción total de patógenos
- Se necesita acondicionar los residuos previamente al proceso, el haz de electrones puede ser retenido por vidrio y otros materiales de mayor densidad
- Se pueden tratar los residuos comunes y biocontaminados
- No tiene efluentes ni emisiones gaseosas peligrosas

#### **3.4.3.2. Desventajas**

- No reduce el volumen de los residuos, no tiene alteración de forma física ni química
- Se tiene formación de ozono durante la operación del equipo (efecto corona)
- Se requiere de personal capacitado para la operación y mantenimiento del equipo
- Aunque mínimo, existe riesgo de radiación
- Altos costos de inversión, operación (energía) y mantenimiento

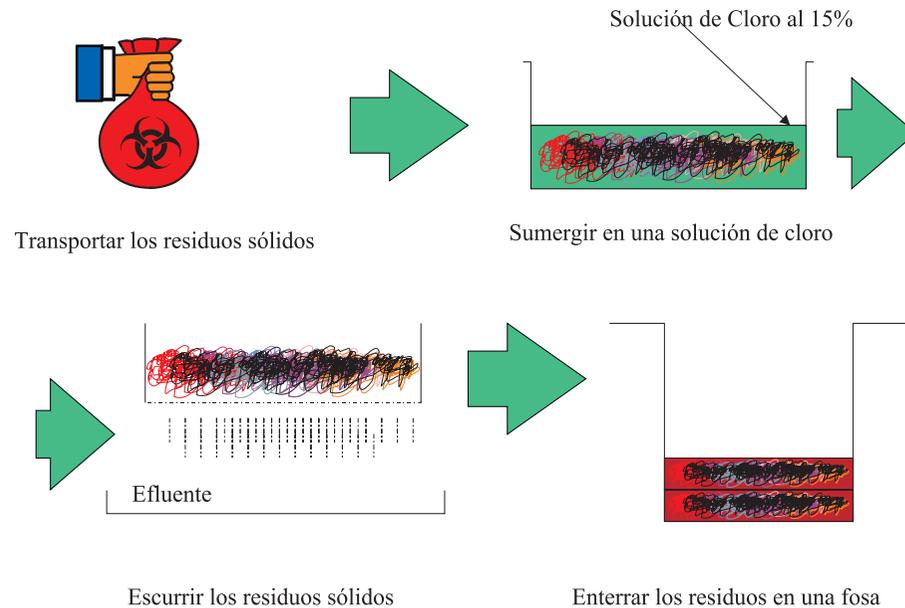
### **3.5. TRATAMIENTO QUÍMICO**

#### **3.5.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

Proceso de destrucción de los patógenos provocada por la acción química de ciertos compuestos. Esta tecnología es útil para centros de salud y puestos de salud, establecimientos cuya generación no excede de 10 kilogramos diarios.

Con esta técnica se logra la desinfección del residuo por contacto del mismo con un producto químico líquido desinfectante, que inactiva y mata a los agentes infecciosos.

Los residuos biocontaminados se depositan en un recipiente donde son mezclados con el desinfectante líquido, posteriormente, luego de un periodo de contacto con el agente químico, estos son retirados y escurridos para luego ser transportados a un relleno sanitario.



**Gráfico11. Diagrama del proceso del tratamiento químico de Residuos Sólidos**

### 3.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

Con este método de tratamiento, normalmente se tratan los desechos líquidos, sin embargo, pueden tratarse los residuos sólidos. El proceso consiste en sumergir los residuos sólidos en una solución química, esta puede ser cloro al 15%.

Los residuos estarán en contacto con la solución por un tiempo aproximado de 20 minutos, luego estos serán escurridos antes de colocarlos en una fosa para su enterramiento. La solución química restante podrá ser eliminada en la red pública o en la misma poza donde se han enterrado los desechos.

### **3.5.3. ASPECTOS TÉCNICO-OPERATIVOS**

Si bien este tipo de tratamiento es más apropiado para líquidos, es también utilizado para tratar residuos sólidos biocontaminados.

La eficacia del tratamiento depende del tipo de patógenos a inactivar o desinfectar, del grado de contaminación, de la cantidad de material proteínico presente, del tipo de producto químico a utilizar y de su concentración, del tiempo de contacto y de otros factores como son la temperatura, pH, grado de agitación requerido y de las características biológicas de los microorganismos patógenos.

### **3.5.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

#### **3.5.4.1. Ventajas**

- Destrucción de patógenos mediante proceso químico
- Se pueden tratar residuos biocontaminados y comunes
- Tecnología útil para establecimientos de salud como puestos de salud

#### **3.5.4.2. Desventajas**

- Efluentes con soluciones químicas activas
- Riesgos en la operación, se pueden provocar emisiones gaseosas con algunas soluciones químicas
- Efluentes químicos probablemente activos con riesgo en su manipulación
- Es necesario acondicionar los residuos antes del proceso
- Se requiere tiempo de contacto entre el residuo y la solución química, dependiendo del producto que se emplee.

## **3.6. OTRAS TECNOLOGÍAS EMERGENTES**

### **3.6.1. PIRÓLISIS**

#### **3.6.1.1. Descripción del sistema**

Proceso de inactivación de los microorganismos infecciosos por la descomposición química de sus moléculas, al ser sometidos los residuos biocontaminados a intenso calor en un ambiente controlado.

Es una tecnología emergente donde se aplica calor sin oxidación de los residuos sólidos biocontaminados, para lograr una descomposición química de las moléculas orgánicas de los residuos a elementos simples (carbón, hidrogeno, etc.). En la cámara de acero inoxidable donde se realiza la pirólisis el calor es generado por resistencia eléctrica y las paredes de la cámara son enfriadas con agua.

#### **3.6.1.2. Aspectos técnicos operativos**

Tecnología compleja en la que las moléculas de los residuos sólidos biocontaminados son descompuestas en elementos simples por acción del calor. El sistema procesa hasta 60 kg/hora de residuos biocontaminados.

El monitoreo y control operativo del sistema es realizado por un PLC, incluyendo la lectura del código de barras de las etiquetas que identifican a los contenedores con residuos biocontaminados, así como el control del variador de velocidad del motor del transportador y el control de la temperatura del proceso.

### **3.6.2. DETOXIFICACIÓN SINTÉTICA**

#### **3.6.2.1. Descripción del sistema**

Esta tecnología utiliza vapor sobrecalentado para convertir los residuos biocontaminados en vapor no tóxico y en residuos secos inocuos. Los residuos biocontaminados, que pueden ser vidrios, metales, papel o madera, son triturados en una primera etapa y reducidos a dimensiones de 1/4".

Los residuos triturados fluyen a un evaporador donde son trasladados por un transportador tipo gusano hacia la puerta de descarga; en su recorrido los residuos son expuestos a un flujo de vapor sobrecalentado que está a una temperatura entre 590°C a 650°C. Las partículas del residuo biocontaminado triturado fluyen en dirección opuesta a la del vapor, siendo en este proceso convertidas en vapor orgánico no tóxico (dióxido de carbono y agua) y en residuos secos inorgánicos inocuos.

### **3.6.2.2. Aspectos técnicos operativos**

Esta tecnología que utiliza vapor sobrecalentado puede tratar entre 200 a 1,200 kg de residuos sólidos biocontaminados por día.

Los residuos previamente triturados y tratados con vapor sobrecalentado circulan en la cámara de tratamiento mediante un transportador de tipo tornillo en contraflujo al vapor sobrecalentado.

El gas resultante de este proceso fluye a un reactor de detoxificación donde se produce una reacción endotérmica que reduce la toxicidad del gas en más de un 99.99%.

De aquí el gas pasa a un intercambiador de calor siendo enfriado a una temperatura de 140°C, pasando luego a un proceso de absorción, llevando a continuación a un convertidor catalítico donde el gas se transforma en dióxido de carbono y agua, siendo así liberado a la atmósfera. Mientras que los residuos sólidos secos e inoos son dispuestos en el relleno sanitario.

### **3.6.3. PIROXIDACIÓN**

#### **3.6.3.1. Descripción del sistema**

Esta tecnología combina el proceso de descomposición química de los residuos biocontaminados logrados con la pirólisis, con la oxidación en una segunda etapa mediante un flujo controlado de aire a la cámara.

#### **3.6.3.2. Aspectos técnico-operativos**

Con esta tecnología la descomposición química de los residuos biocontaminados lograda en un proceso de pirólisis, se combina con una oxidación mediante un flujo de aire controlado a través de un sistema basado en microprocesador, que recibe señales de termocuplas y de un medidor de flujo de aire, para con ello mantener el proceso bajo control. Asimismo, se lleva un control de la eficiencia a través del monitoreo computarizado de las emisiones de los gases emitidos a la atmósfera.

### 3.6.4. PLASMA

#### 3.6.4.1. Descripción del sistema

Proceso en el cual se destruyen los patógenos por la alta temperatura que se genera al ionizar un gas en la cámara de tratamiento.

Esta tecnología emergente que comúnmente se viene aplicando en la industria del acero (soldadura), se ha incorporado recientemente al tratamiento de los residuos biocontaminados.

Un arco eléctrico se produce entre dos electrodos que ionizan un gas inerte, suministrado a través de una boquilla, formando así el plasma (el gas ionizado es definido como plasma). El arco calienta el gas a una temperatura a la que resulta ionizado.

Con este proceso el plasma llega a temperaturas muy altas con las que se destruyen los patógenos de los residuos biocontaminados.

#### 3.6.4.2. Aspectos técnico-operativos

La aplicación de esta tecnología emergente implica disponer de una fuente de electricidad con un generador de alta frecuencia para el arco eléctrico. Asimismo, se debe contar con una batería de cilindros de gas inerte (nitrógeno o argón) en la capacidad requerida para abastecer de gas al sistema.

Un controlador basado en microprocesador se encarga de proveer las condiciones operativas adecuadas en función a las señales de control recibidas del sistema (temperatura, flujo de gas).

Dado las altas temperaturas que se logran en la cámara para la destrucción de los patógenos en los residuos biocontaminados se dispone de un sistema de enfriamiento, controlado también por el mismo sistema basado en microprocesador.

## **4. ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA**

En esta parte del documento se realiza una evaluación Técnico-Económica de la viabilidad de implementación en el país de las diversas tecnologías disponibles en el mercado, las mismas que han sido presentadas y caracterizadas en este documento, en el cual se analizó exclusivamente la viabilidad técnica de cada tecnología de tratamiento.

La viabilidad de implementación de las tecnologías de tratamiento ha sido planteada en forma diferenciada, según la capacidad de los establecimientos de salud y de su infraestructura.

### **4.1. OBJETIVO**

Es determinar la viabilidad técnico-económica para la implementación de los sistemas de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados en los establecimientos de salud del país, diferenciando las tecnologías y sistemas de tratamiento a implementar sobre la base de las capacidades de los establecimientos de salud, a su infraestructura organizacional y a la disponibilidad de recursos para la operación del sistema de tratamiento propuesto.

### **4.2. FINALIDAD**

La finalidad de este producto es definir los sistemas de tratamiento de residuos sólidos hospitalarios biocontaminados que podrían instalarse en los establecimientos de salud del país, a fin de mejorar las condiciones de salubridad en que se desarrollan tales actividades hospitalarias en el país.

### **4.3. TRABAJO DESARROLLADO**

Se realiza un estudio detallado de la “Evaluación técnico-económica de las tecnologías de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados”, abordando los criterios de aplicación de los sistemas de tratamiento, se prosigue con el análisis de los aspectos operativos y económicos de las tecnologías de tratamiento tales como:

- Incineración de dos cámaras de combustión
- Incineración móvil – sistema centralizado
- Esterilización con vapor – autoclave
- Esterilización con vapor – autoclave con caldera eléctrica
- Esterilización con vapor – autoclave rotativa
- Esterilización con vapor – centralizada
- Microondas sistema centralizado fijo y móvil
- Irradiación con haz de electrones – sistema centralizado fijo y móvil
- Desinfección química

Finalmente se realiza un consolidado de costos de las tecnologías.

#### **4.4. RESULTADOS OBTENIDOS**

- Para facilitar la evaluación técnico-económica de las tecnologías de tratamiento, se elaboró un formato que incluía las necesidades de información para realizar el estudio. Se identificó a los principales suministradores mundiales y nacional de las tecnologías y se les solicitó el remitir la información diferenciada por capacidades en los rangos identificados para los establecimientos de salud.
- Basándose en la información detallada recibida, se realizó un estudio comparativo de los costos de inversión de operación y de mantenimiento, así como de otros parámetros económicos determinantes para la selección de la tecnología, como son la vida útil esperada, complejidad operativa, el respaldo técnico y logístico en el mercado, su eficacia, eficiencia y efectividad de operación en un escenario como el que se dará en los diversos establecimiento de salud del país. Luego de realizar la evaluación técnico-económica se definen las tecnologías viables de implementarse en el país.
- Tradicionalmente la incineración y la esterilización con vapor (autoclave) han sido y son los sistemas de tratamiento tradicionales en el ámbito mundial para los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados. Sin embargo el avance de la tecnología en las últimas décadas ha propiciado la aplicación de nuevos sistemas de tratamiento que incorporan conceptos físicos y modernos para destruir los patógenos.

- No se debe descartar la futura aplicación de tecnologías de tratamiento emergente, sobre todo teniendo en cuenta sus reducidos impactos ambientales y las futuras regulaciones medio ambientales para reducir tanto la polución atmosférica como la minimización de consumo de recursos. Basados en éstos lineamientos se espera que la oferta comercial de los equipos de tratamiento en una economía de escala, reduzca los precios actuales, permitiendo en un futuro cercano su implementación.
- La definición de las tecnologías viables de ser implementadas en el país por sus aspectos tanto técnicos como económicos es el resultado de un análisis comparativo mostrado en los Gráficos 1, 2 y 3; derivado de la elaboración de un formato donde se evalúan parámetros económicos como son los costos de inversión, de operación y de mantenimiento, aspectos operativos, comerciales, de infraestructura organizativa y de recursos entre otros. Esto se ha efectuado con el apoyo de ciertos indicadores, propuestos para permitir un mejor análisis comparativo de los aspectos de inversión, operación y mantenimiento de las tecnologías:

- Indicador de Inversión : US\$/kg-día
- Indicador de Operación : US\$/kg
- Indicador de Mantenimiento : US\$/kg

#### **4.4.1. INCINERACIÓN DE DOBLE CÁMARA**

Es un sistema de tratamiento efectivo, técnica y operativamente viable, que viene utilizándose en el país, con una relación costo/beneficio baja, pues se logra altas eficiencias de tratamiento con una destrucción total de los patógenos, así como una reducción notable en la masa y volúmenes de los mismos, con costos de inversión reducidos, que están en el orden de 206 a 240 US\$/kg-día, costos operativos de 0.372 US\$/kg y de mantenimiento de 0.198 US\$/kg. (Ver anexo 1, Cuadro N°1)

Resulta ser una solución técnico-económica viable. En los incineradores de 2 cámaras de combustión, esto es con cámara de descomposición de residuos con defecto de aire y cámara de postcombustión, se logra a

través del proceso de pirólisis la completa destrucción de los patógenos y la quema completa de los residuos biocontaminados, con un mínimo de emisiones gaseosas con humo y olor, y con cenizas inocuas. Para que la solución sea “ambientalmente sostenible” y compatible con los requerimientos de la futura legislación ambiental, los incineradores deberán implementarse con un “equipo lavador de gases”.

Este tratamiento muestra ser técnica y económicamente viable para ser aplicado como tratamiento central en los hospitales.

El tratamiento con incinerador móvil es una solución que resulta muy ventajosa para el tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados, con la posibilidad de tratar los residuos en cada establecimiento. Con la capacidad de tratamiento de 25 kg/hora disponibles a la escala comercial de estas unidades, operando 8 horas diarias con una flota mediana de estas unidades móviles se podría dar solución al tratamiento de residuos sólidos hospitalarios biocontaminados a partir de la operación de empresas de servicios mixtas –de participación estatal y privada- y de modo que se pueda exigir responsabilidad por la disposición final a los directores de los establecimientos de salud.



**Gráfico12. Incineración móvil dentro de una unidad especialmente acondicionada**

Los costos de inversión del incinerador móvil están en el rango de 1,750 a 3,000 US\$/kg-día; los costos operativos en el orden de los 0.490 US\$/kg y los costos de mantenimiento son de 0.173 US\$/kg. (Ver anexo 1, Cuadro N°3)

El incinerador móvil disponible a escala comercial, realiza su operación con una emisión de gases con niveles de polutantes que –según los fabricantes- están debajo de los límites permisibles.

#### **4.4.2. ESTERILIZACIÓN CON VAPOR: AUTOCLAVES**

Luego del análisis técnico-económico realizado, esta tecnología resulta ser la más apropiada para el tratamiento en la fuente. Las razones que soportan esta conclusión son su sencilla implementación en los establecimientos de salud, requiriendo poco espacio, su presencia en el mercado en diversas capacidades, compatibles con los volúmenes de tratamiento típico demandados en la fuente por cada servicio del establecimiento de salud, por no existir a la fecha en el mercado una alternativa de tratamiento con menores costos de inversión, operación y mantenimiento, en las reducidas capacidades requeridas para tratar los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados su aplicación en el país es viable.

Los costos de inversión en rangos de 190 US\$/kg. son relativamente bajos. Asimismo los costos operativos de 0.1108 US\$/kg. son razonablemente bajos, no representando una carga onerosa para el establecimiento, lo que permitirá la regularidad y continuidad operativa que se requiere. Igualmente los costos de mantenimiento son mínimos con valores de 0.0812 US\$/kg. (Ver anexo 1, Cuadro N°5)

La versión fija, se plantea para tratar los residuos biocontaminados en cada servicio. Dentro de esta versión, existe un tipo de autoclave rotativa con costos de inversión de aproximadamente 1113.75 US\$/kg-día, costos operativos de 0.0913 US\$/kg, y de mantenimiento de 0.030 US\$/kg. (Ver anexo 1, Cuadro N°6)

Esta tecnología de esterilización con vapor mejora la eficiencia de tratamiento por el mayor contacto del vapor con los residuos, debido a la agitación provocada por la rotación. Es posible plantear el desarrollo de

una tecnología de autoclave rotativa con una modificación en el sistema de agitación de los residuos y con un sistema constructivo y de control a costos que representen una opción económica de implementación para los establecimientos de salud.

El sistema centralizado de tratamiento mediante la esterilización con vapor, a pesar de su relativo alto costo de inversión con valores de 278 US\$/kg-día, representa una solución técnico-operativa viable con beneficio a los establecimientos salud de zonas rurales, donde no se cuentan con recursos para operar sistemas convencionales de tratamiento. (Ver anexo 1, Cuadro N°7)

#### **4.4.3. SISTEMA DE DESINFECCIÓN CON MICROONDAS**

Es una tecnología de tratamiento técnicamente viable. Las capacidades de tratamiento que se ofrecen actualmente en el mercado exceden largamente los volúmenes de tratamiento que requieren los establecimientos de salud.

##### **4.4.3.1. Tratamiento Individual**

Se plantea la alternativa de utilizar esta tecnología para tratar volúmenes de residuos biocontaminados en menores rangos, esto es en capacidades de 10 y 20 kg/hora para tratamiento individual en el ámbito de cada establecimiento. La propuesta es la adaptar esta tecnología construyendo los equipos en el país, con kits básicos.

Unidad de microondas compuesta de una serie de generadores de microondas convencionales, una unidad de trituración, un transportador tipo gusano, una unidad para carga de contenedores con una tolva de recepción, una unidad generadora de vapor con un sistema de inyección, un tablero conteniendo el sistema de control de parámetros operativos y una unidad de descarga de los residuos tratados.

##### **4.4.3.2. Tratamiento Centralizado**

En el mercado hay sistemas de tratamiento centralizado en su versión fija y móvil, en capacidades de tratamiento de 100 y 250 kg/hora. Si bien

los montos de inversión son relativamente altos, los beneficios que se logran con este sistema compensan la inversión.

Entre los beneficios tenemos el de tener bajos costos operativos y de mantenimiento, el de ser una tecnología ambientalmente sustentable con un impacto ambiental muy bajo, además poseer una eficiencia de tratamiento muy alta con reducción del volumen de residuos en un 60%.

- *Tratamiento Centralizado fijo*

Técnica y económicamente viable y eficiente, pero con un mayor riesgo de contaminación por la manipulación y tránsito de residuos biocontaminados por la vía pública hasta el Centro de Tratamiento, que sirve a un área geográfica determinada. (Ver anexo 1, Cuadro N°8)

- *Tratamiento Centralizado Móvil*

Técnica viable y eficiente que además no implica mayor riesgo de contaminación por tratar los residuos biocontaminados en el mismo establecimiento de salud. (Ver anexo 1, Cuadro N°8)



**Gráfico13. Unidad móvil de Desinfección por microondas**

Con los sistemas comerciales disponibles actualmente las capacidades de tratamiento permiten que una unidad móvil pueda operar con varios establecimientos de salud diariamente, dependiendo de la capacidad de generación de residuos de los establecimientos de salud.

#### **4.4.4. IRRADIACIÓN CON HAZ DE ELECTRONES**

Este sistema de tratamiento corresponde a una tecnología de punta, emergente en el ámbito mundial, que promete ser una solución sostenible y con futuro en el tratamiento de residuos sólidos biocontaminados. La destrucción de los patógenos se efectúa por disociación química y ruptura de sus células causadas por el flujo de electrones sobre los residuos biocontaminados, el consumo de energía eléctrica es bastante baja, al igual que los costos operativos que para una unidad fija de tratamiento están en el rango de 0.424 US\$/kg, al igual que los de mantenimiento de 0.0075 US\$/kg. (Ver anexo 1, Cuadro N°9)

Con costos de inversión relativamente elevados, de 3,281.85 US\$/kg-día, se prevé que en pocos años con el avance de la tecnología de los superconductores, la investigación espacial de nuevos materiales y el criterio de inversión reduzcan a valores que hagan económicamente viable la aplicación de esta tecnología de tratamiento.

Se alcanzan altas eficiencias de tratamiento con un mínimo impacto ambiental al generarse un mínimo de emisiones gaseosas al no producirse efluentes. Los residuos sólidos producidos no poseen radiación residual, son estériles y pueden ser tratados como basura municipal.

Dado los altos volúmenes de tratamiento, este sistema en su versión fija podría considerarse para operar como tratamiento central para hospitales, con capacidades mayores a 400 camas.

La unidad móvil de tratamiento representa una alternativa viable técnico económica, ambientalmente sostenible para tratar los residuos en cada establecimiento de salud, con costos de inversión de 103.50 US\$/kg-día, costos operativos de 0.10 US\$/kg y costos de mantenimiento de 0.0098 US\$/kg.

#### 4.4.5. DESINFECCIÓN QUÍMICA

La viabilidad de su aplicación se ha definido para establecimientos de salud básicamente del área rural y donde los sistemas de tratamiento alternativos recomendados para establecimientos urbanos no puedan ser implementados por carencia de infraestructura y/o recursos operativos (vapor, electricidad, combustibles, etc.). Con costos operativos del orden de los 0.70 US\$/kg, es una opción a considerar para los casos en que no se disponga de las facilidades para optar por sistemas de tratamiento de mayor alcance y eficiencia, así como para los puestos de salud con una accesibilidad restringida, debido a su ubicación geográfica. (Ver anexo 1, Cuadro N°10)

#### 4.4.6. ENTERRAMIENTO CONTROLADO

Esta alternativa de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados, se presenta como una opción económica para los casos en que el establecimiento de salud –refiriéndose específicamente a Puestos de Salud del área rural -, no disponga de ninguna de las alternativas de tratamiento aquí definidas, con accesibilidad restringida y geográficamente de difícil acceso y por lo que su operación se realiza en un escenario con carencia de facilidades para optar por otros sistemas de tratamiento.

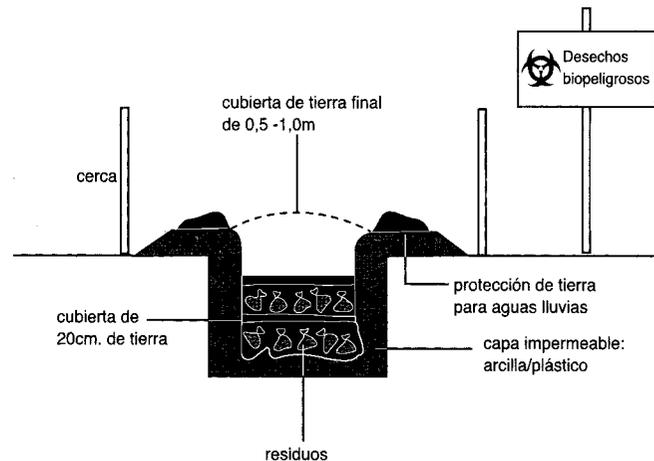


Gráfico 14. Diagrama de enterramiento controlado

Sería conveniente que la disposición final de estos residuos contemple medidas técnico-sanitarias para el diseño y uso de rellenos sanitarios, en caso de no ser posible se exige un mínimo de condiciones para que el enterramiento controlado como opción de tratamiento no se constituya en un foco infeccioso, ni en un potencial de riesgo de contaminación al medio ambiente. Asimismo, se debe identificar y definir una zona aislada para el enterramiento controlado en áreas donde no haya tránsito de personas, animales o vehículos, alejados de características impermeables, habilitando celdas de confinación de residuos y efectuando el enterramiento a cierta profundidad.

*ANEXO 1*

*CUADROS*



CUADRO N° 01  
 COSTOS ASOCIADOS SEGUN TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 INCINERACION DE DOS CAMARAS DE COMBUSTION

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (1) (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	I	< 50	X	X	Incineración de dos Cámaras de Combustión	247,50	0,524	0,256	Amplio	Si
	II	> 50 y <150	X			206,25	0,372	0,198		
	III	> 150 y <400	X			151,25	0,277	0,161		
	IV	> 400	X							

Nota:

- (1) Considerar 20 a 25% de inversión complementaria por el equipo opcional para el lavador de gases

CUADRO N° 02  
 COSTOS ASOCIADOS A LAS TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 INCINERACION DE DOS CAMARAS DE COMBUSTION

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	IV	> 400	X		Incineración de dos Cámaras de Combustión	230	0,358	0,10	Si	Si
02	IV	> 400	X		Incineración de dos Cámaras de Combustión	161	0,232	0,06	Si	Si

CUADRO N° 03  
 COSTOS ASOCIADOS A LAS TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 INCINERACION - SISTEMA CENTRALIZADO

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (1) (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	I	< 50	X	X	a) Incineración Móvil: Sin vehículo	1755	0,472	0,157	Si	Si
	II	> 50 y <150	X							
	III	> 150 y <400	X							
	IV	> 400	X							
02	I	< 50	X	X	b) Incineración Móvil: Con vehículo	2925	0,49	0,173	Si	Si
	II	> 50 y <150	X							
	III	> 150 y <400	X							
	IV	> 400	X							

Nota:

(1) Costos en almacén de Perú

CUADRO N° 04  
 COSTOS ASOCIADOS A LAS TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 ESTERILIZACION CON VAPOR - AUTOCLAVE PARA TRATAMIENTO *in situ*

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (2) (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	I	< 50	X	X	Esterilización con vapor: Autoclave	149	0,305	0,27	Amplio	Si
	II	> 50 y <150	X			104	0,210	0,17		
	III	> 150 y <400	X			104	0,210	0,17		
	IV	> 400	X			86	0,151	0,11		

Nota:

(1) 30 litros. 7,50 kg.  
 48 litros. 12,00 kg.  
 75 litros. 18,75 kg  
 (2) Precios de almacén Perú

CUADRO N° 05  
 COSTOS ASOCIADOS A LAS TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 ESTERILIZACION CON VAPOR : A AUTOCLAVE C/S CALDERA ELECTRICA

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	III	> 150 y < 400	X		Esterilización con Vapor con Caldera Eléctrica Incorporada	190,2	0,1108	0,0812	Amplio	Si
02	III	> 150 y < 400	X		Esterilización con Vapor sin Caldera Eléctrica	107,90	0,0972	0,0650	Amplio	Si

CUADRO N° 06  
 COSTOS ASOCIADOS SEGUN TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 ESTERILIZACION CON VAPOR : AUTOCLAVE ROTATIVA

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (1) (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	IV	> 400	X		Esterilización con Vapor: Autoclave Rotativa	1113,75	0,0913	0,030	No	Si
						391,05	0,0913	0,030		
						385,35	0,0913	0,030		

CUADRO N° 07  
 COSTOS ASOCIADOS SEGUN TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 ESTERILIZACION CON VAPOR : CENTRALIZADA

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	I	< 50		X	Esterilización con Vapor (Centralizado)	278	1,125	0,077	Importadores y de Fabricación Nacional	Si (1)

Nota:

- (1) Si bien los costos de inversión son altos, sus aplicación en el sector rural es recomendado en los casos donde hay escasez de recursos energéticos. Los mayores costos de inversión por la unidad de tratamiento están en el costo del vehículo, por ello una solución sugerida para salvar este inconveniente es acudir a la colaboración de la Cooperación Internacional y de otras entidades y gobiernos para lograr la donación de los vehículos a la luz de los que con ello se alcanzará a la población rural del país.
- (2) Por día podrá efectuarse de 3 a 5 ciclos de trabajo, dependiendo de la distancia entre los puestos de salud-rural.

CUADRO N° 08  
 COSTOS ASOCIADOS A LAS TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 MICROONDAS: SISTEMA CENTRALIZADO

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	I	< 50	X		Microondas Sistema Centralizado Fijo	1470 (1)	0,1038	0,169	Si	No (2)
	II	> 50 y <150	X	X						
	III	> 150 y <400	X							
	IV	> 400	X							
02	I	< 50	X		Microondas Sistema Centralizado Móvil	2508	0,49	0,173	Si	Si (3)
	II	> 50 y <150	X	X						
	III	> 150 y <400	X							
	IV	> 400	X							
03					Microondas	1340 (4)	0,06	0,2		Si

Nota:

- (1) Costos de almacén Perú
- (2) Se definió que no era lo más conveniente trasladar residuos biocontaminados por la ciudad
- (3) Considerando 5 horas netas de operación/día, pues debe movilizarse la unidad de establecimiento en establecimiento
- (4) En versión como unidad fija los costos de inversión son menores en un 30% aproximadamente

CUADRO N° 09  
 COSTOS ASOCIADOS A LAS TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 IRRADICION CON HAZ DE ELECTRONES FIJO - MOVIL

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	IV	> 400	X		Irradiación con Haz de Electrones	3281,85	0,424	0,0075	No	Si
02	IV	> 400	X		Irradiación con Haz de Electrones	Información no disponible	Información no disponible	Información no disponible	No	No
03	I	< 50	X		Irradiación con Haz de Electrones Sistema Centralizado Fijo	87,85	0,08	0,0089	No	Si
	II	> 50 y <150	X							
	III	> 150 y <400	X							
	IV	> 400	X							
04	I	< 50	X		Irradiación con Haz de Electrones Sistema Centralizado Móvil	103,50	0,10	0,0098	No	Si
	II	> 50 y <150	X							
	III	> 150 y <400	X							
	IV	> 400	X							

CUADRO N° 10  
 COSTOS ASOCIADOS A LAS TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO  
 DESINFECCION QUIMICA

ITEM	Establecimiento de Salud		Calificación		Tecnología de Tratamiento	Costos			Soporte Técnico Comercial y Logístico	Viabilidad Técnico Económico
	Modelo	N° de Camas	Urbano	Rural		Costos de Inversión (US\$/kg-día)	Costos Operativos (US\$/kg)	Costos de Mantenimiento (US\$/kg)		
01	I	< 50		X	Desinfección Química	No aplicable	0,706	No aplicable	Fabricantes e Importadores de productos Químicos	Si



*ANEXO 2*  
*BIBLIOGRAFÍA*



- 1) Informe sobre manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios en Buenos Aires.  
Por: Dietrich Hueber  
Código: 6103/H87/25237  
50336-CEPIS  
Buenos Aires 1989
- 2) Diagnóstico de la Situación de los Residuos Sólidos de Hospitales en la ciudad de Lima Metropolitana.  
Por: Ing. Carmen del Pilar Tello Espinoza.  
Código: 6103/T35/25070  
8715-CEPIS  
Agosto 1991
- 3) Guía para el Manejo Interno de Residuos Sólidos Hospitalarios  
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS / OPS – Lima,  
Perú 1993
- 4) Diagnóstico Situacional del Manejo de los Residuos Sólidos de Hospitales Administrados por el Ministerio de Salud  
Por: DIGESA  
Lima – Perú 1995
- 5) Diagnóstico de Necesidades de Capacitación para el Manejo de los Residuos Sólidos en los Hospitales Administrados por el MINSA  
Por: DIGESA-MINSA  
Setiembre – 1995
- 6) Enfoque de las Tecnologías de Tratamiento de Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud del Ministerio de Salud  
Por: Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud  
Lima – Perú 1996
- 7) Manual para el manejo de desechos en establecimientos de salud  
Por: Fundación Natura  
Quito, Ecuador – Octubre 1997

- 8) Incineration of Clinical Waste  
Por: Dr. Dennis C B Saw  
Código: 6103/S26/2379  
26984-CEPIS
- 9) Managing Medical Wastes  
Innovative Treatment Alternatives  
Código: ESET, July 1991-CEPIS
- 10) Management of Waste from Hospitals  
Código: 6203/049/19150-CEPIS
- 11) AIR & WASTE- October 1994  
(Environmental Magazines)



**MINISTERIO DE SALUD**  
**Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud**

---

**Publicaciones 1998**

---

***SERIE: DOCUMENTOS DE GESTIÓN***

---

**Gestión de la Capacitación en las Organizaciones, Conceptos básicos.**

MINSA, PFSS, Área de Capacitación y Apoyo a la Gestión. Lima. Junio 1998. 72 pp.

*Compilación de artículos sobre el tema de la capacitación en las organizaciones.*

**Asistencia Técnica en Sistemas Administrativos.**

MINSA, PFSS, Área de Capacitación y Apoyo a la Gestión. Lima. Julio 1998. 112 pp.

*Experiencia del Programa de Asistencia Técnica aplicado a los sistemas administrativos de personal, logística, tesorería y contabilidad, en 27 Regiones y Subregiones de Salud, durante los meses de setiembre de 1995 a enero de 1996.*

***SERIE: MÓDULOS DE GESTIÓN***

---

**1. Módulo Plan Operativo Institucional**

MINSA, PFSS, Área de Capacitación y Apoyo a la Gestión. Lima. Setiembre 1998. 429 pp.

*Este módulo forma parte del «Curso de Gestión en Redes de Establecimientos y Servicios de Salud», orientado a contribuir al desarrollo de la capacidad de gestión interna de los niveles directivos de establecimientos y servicios de salud, fortaleciendo especialmente su capacidad para formular un Plan Operativo*

Institucional con enfoque estratégico. El módulo está basado en una metodología de autoaprendizaje.

## **2. Módulo Gestión Logística**

MINSA, PFSS, Área de Capacitación y Apoyo a la Gestión. Lima. Setiembre 1998. 280 pp.

*Este módulo forma parte del «Curso de Gestión en Redes de Establecimientos y Servicios de Salud», orientado a contribuir al desarrollo de la capacidad de gestión interna de los niveles directivos de establecimientos y servicios de salud, fortaleciendo su capacidad para realizar una gestión logística eficiente.*

## **3. Módulo Gestión Financiera**

MINSA, PFSS, Área de Capacitación y Apoyo a la Gestión. Lima. Setiembre 1998. 335 pp.

*Este módulo forma parte del «Curso de Gestión en Redes de Establecimientos y Servicios de Salud», orientado a contribuir al desarrollo de la capacidad de gestión interna de los niveles directivos de establecimientos y servicios de salud, fortaleciendo su capacidad para realizar una gestión financiera eficiente.*

## **4. Módulo Supervisión, Monitoreo y Evaluación**

MINSA, PFSS, Área de Capacitación y Apoyo a la Gestión. Lima. Noviembre 1998. 380 pp.

*Este módulo forma parte del «Curso de Gestión en Redes de Establecimientos y Servicios de Salud», y está orientado a contribuir al desarrollo de la capacidad de gestión interna de los niveles directivos de establecimientos y servicios de salud, fortaleciendo su capacidad para realizar una adecuada gestión de supervisión, monitoreo y evaluación.*

## **SERIE: INFORMES TÉCNICOS**

### **1. Diagnóstico del Sistema de Mantenimiento**

MINSA, PFSS, Subcomponente de Sistemas Operativos. Lima. Octubre 1998. 128 pp.

*Esta publicación reseña las líneas principales del Diagnóstico del Sistema de Mantenimiento elaborado para el MINSA por la Asociación Consultora CESEL S.A. - EMEX S.A. - INTERSALUS S.A.*

## **2. Diagnóstico de los Sistemas de Logística**

MINSA, PFSS, Subcomponente de Sistemas Operativos. Lima. Diciembre 1998. 100 pp.

*Esta publicación sintetiza los aspectos más importantes del Diagnóstico de los Sistemas de Logística elaborado para el MINSA por la Firma Consultora SANIPLAN.*

### ***SERIE: DOCUMENTOS TÉCNICOS***

#### **1. Tecnologías de Tratamiento de Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud**

MINSA, PFSS, Area de Residuos Sólidos Hospitalarios. Lima. Diciembre 1998. 64 pp.

*Este documento resume el Enfoque de las Tecnologías de Tratamiento de Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud, que será de gran utilidad para los directivos de los establecimientos de salud, permitirá identificar, seleccionar y organizar sistemas de tratamiento de desechos sólidos generados en los establecimientos de salud del país.*

