



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN
CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA
USAC FRENTE AL COVID-19
ÁREA CIENTÍFICO TECNOLÓGICA**

**DESARROLLO DE UNA
ESTRATEGIA Y
RECOMENDACIONES PARA
LA GESTIÓN DE RESIDUOS
DE LOS EQUIPOS DE
PROTECCIÓN PERSONAL
PRODUCIDOS DURANTE
LA CRISIS DEL COVID-19
EN GUATEMALA DESDE UN
ENFOQUE DE ECONOMÍA
CIRCULAR**

**ING. MSC. JULIO DAVID VARGAS GARCÍA
HEATHER NICOLE SALAMANCA VILLAGRAN
DÁMARIS SUCELY AGUIRRE MARTÍNEZ
PABLO CÉSAR CARDONA GUTIÉRREZ**

**Guatemala, septiembre 2020
Facultad de Ingeniería**



**ING. MSC. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS
RECTOR**

**ARQ. CARLOS ENRIQUE VALLADARES CEREZO
SECRETARIO GENERAL**

**DR. FÉLIX ALAN DOUGLAS AGUILAR CARRERA
DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACIÓN**

**INGA. LIUBA CABRERA DE VILLAGRAN
DRA. HILDA VALENCIA DE ABRIL
DR. JOSÉ CAL MONTOYA
COMISIÓN DE COORDINADORES DE PROGRAMA
CONVOCATORIA USAC FRENTE AL COVID 19
ACUERDO DE DIRECCIÓN DIGI 14-2020**

**ING. ANABELA CORDOVA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ING. MSC. JULIO DAVID VARGAS GARCÍA
HEATHER NICOLE SALAMANCA VILLAGRAN
DÁMARIS SUCELY AGUIRRE MARTÍNEZ
PABLO CÉSAR CARDONA GUTIÉRREZ**

Índice	3
Índice de figuras	4
Índice de tablas	4
Resumen	5
Palabras clave	5
Introducción	6
Planteamiento del problema	7
Delimitación en tiempo y espacio	8
Objetivos	8
Sección 1. Antecedentes y situación actual	9
Sección 1.1. Análisis de la problemática desde la perspectiva de la economía circular	9
Sección 1.2. MREPP como desechos: la perspectiva tradicional	10
Sección 1.3. Reglamentación nacional en Guatemala y flujos de materiales	12
Sección 1.4. Criterios de disposición de MREPP	14
Sección 2. La propuesta desde la perspectiva de la Economía Circular	16
Sección 2.1. MREPP como materiales con potencial circular: la perspectiva de la economía circular	16
Sección 2.2. Caracterización de los MREPP en el ámbito guatemalteco	17
Sección 2.3. Encuesta del Uso de Equipo de Protección Personal (ENUEPP)	21
Sección 2.4. Flujo de MREPP en el ámbito guatemalteco	23
Sección 3. Alternativas tecnológicas para recuperación o eliminación de MREPP	27
Sección 3.1. Tratamiento de desechos con vapor	29
Sección 3.2. Tratamiento de desechos con microondas	31
Sección 3.3. Tratamiento de desechos por incineración	31
Sección 4. Estrategia y recomendaciones para la gestión de MREPP	31
Conclusiones	36
Referencias bibliográficas	37
Referencias de fichas técnicas	43
Apéndices	45

Figura 1	9
Figura 2	10
Figura 3	12
Figura 4	13
Figura 5	15
Figura 6	16
Figura 7	22
Figura 8	22
Figura 9	22
Figura 10	23
Figura 11	24
Figura 12	24
Figura 13	25
Figura 14	30
Figura 15	31
Figura 16	33
Figura 17	34
Figura 18	35
Figura 19	46
Tabla 1	17
Tabla 2	19
Tabla 3	20
Tabla 4	25
Tabla 5	26
Tabla 6	27
Tabla 7	28
Tabla 8	45

Desarrollo de una estrategia y recomendaciones para la gestión de residuos de los equipos de protección personal producidos durante el brote del COVID-19 en Guatemala desde un enfoque de Economía Circular

Resumen

Se investigó la recuperación de los *materiales relacionados con equipos de protección personal* (MREPP) desechados durante la crisis de Covid-19 en Guatemala durante el período marzo – agosto del año 2020, desde la perspectiva de la Economía Circular. Ello se construyó para poder definir algunos criterios prácticos que permitieran llegar a una estrategia, la cual pueda ser implementada a nivel de organizaciones e instituciones públicas y privadas. La investigación se realizó a través de un modelo de flujo de MREPP durante el periodo de crisis utilizando el registro de compras de EPP para entidades públicas reportado a través del portal Guatecompras y la modelización de un perfil de consumo per cápita. Este perfil se modelizó a través de los datos de la Encuesta de Uso de Equipo de Protección Personal (ENUEPP). Se estimó que la cantidad de MREPPs disponibles para ser recuperados como materias primas de nuevas aplicaciones es de aproximadamente 6.33 kton/año, entre los que se destacan 1.83 kton/año de plásticos, 0.24 kton/año de aluminio y 1.54 kton/año de fibras textiles naturales y sintéticas. Mientras que el costo de incineración de estos desechos se estimó en \$US10.8 millones, se estimó que recuperarlos podría representar ahorros de no menos de \$US4.37 millones. Se determinó además que la etapa clave de la recuperación es la correcta clasificación de los materiales y que la aplicación más inmediata para el uso de los materiales poliméricos es a través de mezclas cementicias para la industria de la construcción. Asimismo, se sugiere que tanto el aluminio como las fibras textiles pueden ser completamente reciclados para aplicaciones tradicionales.

Palabras clave:

economía circular, recuperación de materiales, equipo de protección personal, flujo de materiales, reciclaje

Introducción

El presente documento constituye un compendio de los criterios e información que se lograron obtener al respecto a la recuperación de los llamados *materiales relacionados con el equipo de protección personal* (MREPP) durante la crisis de Covid-19 en Guatemala. Las fuentes de información son diversas y van desde instituciones locales, el Banco de Guatemala (BANGUAT), la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) y el portal público de Guatecompras. Además, se revisaron varios artículos de revistas indexadas, notas periodísticas relevantes y la información compilada por la Encuesta del Uso de Equipo de Protección Personal (ENUEPP), que fue parte de la metodología propuesta por esta investigación. Con ello se logró desarrollar la Estrategia, que pretende ser una guía práctica desde la perspectiva de la economía circular para los tomadores de decisiones, líderes y autoridades nacionales, así como para todos aquellos actores principales en la dinámica social, económica y ambiental suscitada a partir de la crisis de Covid-19.

No está de más pretender que este documento también sea un primer paso para investigaciones posteriores cuyo objetivo sea implementar la estrategia circular a nivel municipal, regional o nacional, así como su aplicabilidad a otros ámbitos en los cuales se generan desechos y se consumen materias primas. Se busca también incentivar a la iniciativa pública y privada a considerar que la recuperación de materiales conlleva ingresos económicos y reduce los costos de eliminación por métodos tradicionales.

Finalmente, con este documento se insta a la reflexión profunda y a la toma de consciencia a todos aquellos que estén en la posibilidad de hacer cambios y a pensar *fuera de la caja* en el contexto de la sociedad guatemalteca, es decir, autoridades, legisladores, empresarios y otros líderes de sus organizaciones en general. Con el producto final obtenido se busca el continuo trabajo científico como un medio efectivo para procurar el cierre de brechas que promuevan el desarrollo sustentable, así como el mejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos.

Planteamiento del problema

Algunos estudios han demostrado la capacidad del virus que produce el Covid-19 (SARS-CoV-2) de permanecer en superficies desde algunas horas hasta varios días (BBC, 2020). Esto representa un grave riesgo para los trabajadores del sector de manejo de desechos que, dada la actual problemática mundial, están en contacto con desechos que podría aún poseer el virus Covid-19. Estos desechos son producidos tanto por hospitales e instituciones de salud, como por la población en general que día a día desecha equipo de protección utilizado. Este equipo de protección personal, comúnmente conocidos como EPP, son todos aquellos utilizados con el fin de minimizar la exposición ante peligros de seguridad y salud. Dentro de estos equipos se pueden incluir lentes, guantes, mascarillas, caretas, batas, zapatos, trajes completos de protección, entre otros (Occupational Health and Safety Advisory Services [OHSAS], 2020). Según la Organización Mundial de la salud, los residuos bio-infecciosos son aquellos contaminados con sangre, fluidos corporales o agentes infecciosos. Por ello, todo equipo de protección personal utilizado, tanto por motivos de precaución en la población en general, como por pacientes infectados con el Covid-19, debe ser considerado como bio-infeccioso (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018).

Aunque en Guatemala existe un reglamento para el manejo de desechos sólidos hospitalarios, dicho reglamento no expone las herramientas y protocolos necesarios que deben seguirse para el manejo apropiado de los desechos no hospitalarios producidos durante y después de la pandemia. Tampoco se toma en cuenta todo el desecho bio-infeccioso producido por la población en general al momento de disponer de su EPP de manera regular. Esta falta de gestión para el manejo de este tipo de desechos ha producido que guantes y mascarillas terminen en las calles sin ningún tipo de empaque de seguridad, siendo estos un posible foco de infección debido a que siempre hay probabilidad de que haya estado en contacto con fluidos corporales de personas infectadas (Payá, 2020). La acumulación e incorrecta disposición de materiales relacionados a EPP (MREPP) potencialmente bio-infecciosos constituye no solo un riesgo a nivel de la salud humana sino un considerable impacto ambiental. Por ello, se pretende desarrollar una estrategia integral para el aprovechamiento de los materiales producto de la crisis del Covid-19 desde un enfoque de economía circular, con el fin de que constituya una herramienta de toma de decisiones y un criterio unificado para poder contestar las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los flujos de materiales que se están usando y desechando en Guatemala producto del consumo de EPP a raíz de la crisis del Covid-19?
- ¿Cuáles son las formas más adecuadas en el contexto guatemalteco para la disposición de MREPP a raíz de la crisis del Covid-19?
- ¿Son la incineración y la autoclave dos procesos en los que se podría invertir a mediano o largo plazo para poder solventar la problemática de manejo de MREPP?
- ¿Qué alternativas tecnológicas y de gestión se pueden proponer para poder reciclar, reusar o aprovechar los MREPP en el contexto guatemalteco a manera de reducir tanto los riesgos para la salud humana como los impactos ambientales de la disposición no controlada?
- ¿Qué oportunidades económicas se presentan a través de la recuperación de MREPP y la creación de nuevos modelos de negocio bajo un enfoque de economía circular?

Delimitación en tiempo y espacio

La presente investigación está delimitada a realizarse durante los meses de julio, agosto y septiembre del año 2020 en el ámbito guatemalteco y con información obtenida a partir de bases de datos nacionales e internacionales.

Objetivos

General

Desarrollar una estrategia integral para el aprovechamiento de los MREPP producto de la crisis del Covid-19 desde un enfoque de economía circular

Específicos

1. Estimar los flujos de MREPP y estimar el potencial de materias primas derivadas de ello.
2. Determinar las diferentes alternativas para la disposición y manejo del MREPP desde el punto de vista técnico y económico y su factibilidad en el contexto guatemalteco.
3. Proponer un conjunto de alternativas para la obtención de beneficios económicos a partir de la utilización de MREPP como materias primas de nuevos procesos desde la perspectiva de la economía circular.

Sección 1. Antecedentes y situación actual

Sección 1.1. Análisis de la problemática desde la perspectiva de la economía circular

Como lo menciona Lacy y Rutqvist (2016), la economía circular es una disciplina relativamente nueva que trata de brindar soluciones tecnológicas, organizativas y económicas para las problemáticas actuales en torno al uso, producción y reutilización de energía, materiales y agua. Gran parte de sus fundamentos teóricos yacen en la producción más limpia, en la ecología industrial y en la simbiosis industrial (Saavedra, 2017). Bajo esta perspectiva, se plantean dos posibles caminos para los llamados *materiales relacionados con equipo de protección personal* (MREPP), los cuales se muestran en la Figura 1 y que son el principal tema de la problemática de la presente investigación:

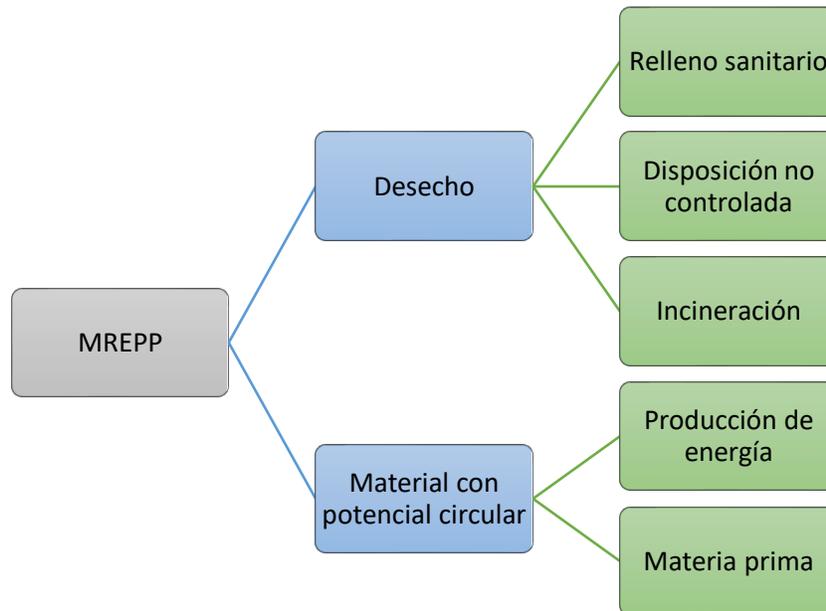


Figura 1 – Las dos perspectivas de cómo puede considerarse un desecho: a) desde la perspectiva tradicional, b) desde la perspectiva de la economía circular.

De esta manera, se muestra que las dos vías que puede tomar el flujo de materiales MREPP son a) como un desecho y b) como un material con un potencial circular, dependiendo del enfoque con que se aborde. Un material con *potencial circular* es aquel el cual tiene la posibilidad de entrar al círculo de funcionalidad y regresar a ser una materia prima útil para un nuevo proceso productivo o para producir energía (Alhola, 2019; Parajuly y Wenzel, 2017; Shevchenko y Kronenberg, 2020; Zeller, Towa, Degrez, Achten, 2018). La Figura 2 muestra el camino natural de los materiales a

través de diferentes etapas en un contexto de economía circular, procurando limitar el uso de los recursos naturales, maximizando el uso de los recursos disponibles y, por ende, disminuyendo los desechos o salidas netas de materiales, recursos y agua del sistema.



Figura 2 – En un contexto de economía circular, el único ingreso de materiales se da idealmente en el inicio del ciclo, limitando la disponibilidad de recursos, pero obligando a que las demás etapas sean específicamente para propiciar el aprovechamiento máximo y minimizar los desechos.

Según como lo plantean varios autores, la propuesta de la economía circular es como considerar al sistema económico y productivo como un sistema termodinámico cerrado (Alhola, 2019; Korhonen, 2018; Shevchenko y Kronenberg, 2020).

Sección 1.2. MREPP como desechos: la perspectiva tradicional

Bajo un esquema tradicional de manejo y disposición, los MREPP consisten en desechos que se disponen finalmente en un relleno sanitario, que pasan por un proceso de incineración o simplemente terminan dispuestos de manera no controlada en algún recurso como el suelo o el agua (Planing, 2015). Con excepción de la incineración, la cual tiene un costo elevado por unidad de desecho incinerado de aproximadamente US\$1,720 por tonelada (Ministerio de Salud Pública

y Asistencia Social [MSPAS], 2020), existen una serie de argumentos ambientales que objetan la idea clásica del relleno sanitario. De esta manera, diversos autores reportan que las estrategias a nivel del *estado del arte* en el tratamiento de desechos ya no consideran a los rellenos sanitarios como una opción viable para la correcta disposición de materiales, y se está convirtiendo gradualmente en una práctica obsoleta alrededor del mundo (Margallo et al, 2019; Sauve y Van Acker, 2020; Vaccari, 2020). Como lo menciona Sauve y Van Acker (2020), esto no solo ocurre por la pérdida del potencial circular que produce ingresos económicos sino por la amplia documentación disponible que confirma sus efectos negativos en el ambiente (Margallo et al, 2019; Vaccari, 2020).

Ello conlleva considerar algunos de los hallazgos importantes de este informe acerca de los MREPP, en el cual se encontró que principalmente están constituidos por polímeros de alta y baja densidad (látex, policarbonato y nitrilo), así como algodón y otras fibras naturales y sintéticas. De esta manera se pueden citar algunos autores como Aragaw (2020), que mencionan que el recurso hídrico puede ser uno de los más afectados, tanto por la presencia de los plásticos en los artículos originales sin ser procesados ni dispuestos correctamente, sino a nivel de los micro y nano plásticos. Estos micro y nano plásticos son tema importante de investigación actualmente debido a sus interacciones biológicas, así como sus conocidos impactos ambientales a los ecosistemas (Aragaw, 2020).

Por otro lado, cabe destacar que la perspectiva económica circular aborda de manera diferente el problema comparado con el reciclaje tradicional. Con excepción de la recuperación de metales, la mayoría de los materiales considerados como reciclables (plásticos, algodón y fibras), se recuperan únicamente de manera parcial, dado que existe una fracción considerable que no puede ser recuperada. Eso ocurre debido a la degradación de las características específicas de los materiales, la irreversibilidad de algunos procesos fisicoquímicos y por la disminución de la pureza de las fuentes. Este enfoque ha sido documentado a través de las diferentes etapas del desarrollo del conocimiento entorno al reciclaje y aparece mencionado ampliamente en la literatura a través de las últimas cuatro décadas (Adhikari y Maiti, 2000; Derksen, 1993; Hopewell, Dvorak y Kosior, 2009; Smith, 1972; Wilson, 2006). Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos, así como el descubrimiento de nuevos principios aplicables a los materiales existentes, ha permitido ampliar las posibilidades e intentar cada vez maximizar más la proporción recuperable

del material original. Esto se hace evidente en trabajos como el de Duchin y Levine (2018), Ragaert, Delva y Van Geem (2017), Santander, Cruz Sánchez, Boudaoud y Camargo (2020) y Wang, Yao, Zhou y Zhang (2016), en el que se reporta el uso de técnicas novedosas que permiten que la fracción finalmente descartada, sea mucho menor a la reportada solo hace algunos años atrás.

Sección 1.3. Reglamentación nacional en Guatemala y flujos de materiales

La crisis de Covid-19 en Guatemala, al igual que en el resto del mundo, ha generado una importante cantidad de MREPP's que, según diversas fuentes bibliográficas, pueden ser considerados peligrosos (Patil y Pokhrel, 2004; Messerle, Mosse y Ustimenko, 2018; Tsakona, Anagnostopoulou y Gidarakos, 2006). Los desechos de particular interés en esta investigación, son la mayoría de los artículos usados como equipos de protección personal y están constituidos no solo por aquellos que se producen a nivel de hospitales e instituciones de salud, sino que, por la naturaleza de la crisis, también son producidos por la población en general. De esta manera, se puede confirmar que una buena parte de los desechos domiciliarios podrían estar constituidos por equipos de protección personal que no han recibido una correcta separación y disposición. Sin embargo, estos desechos domiciliarios no poseen reglamentaciones claras ni explícitas, lo cual si ocurre con los desechos domiciliarios.

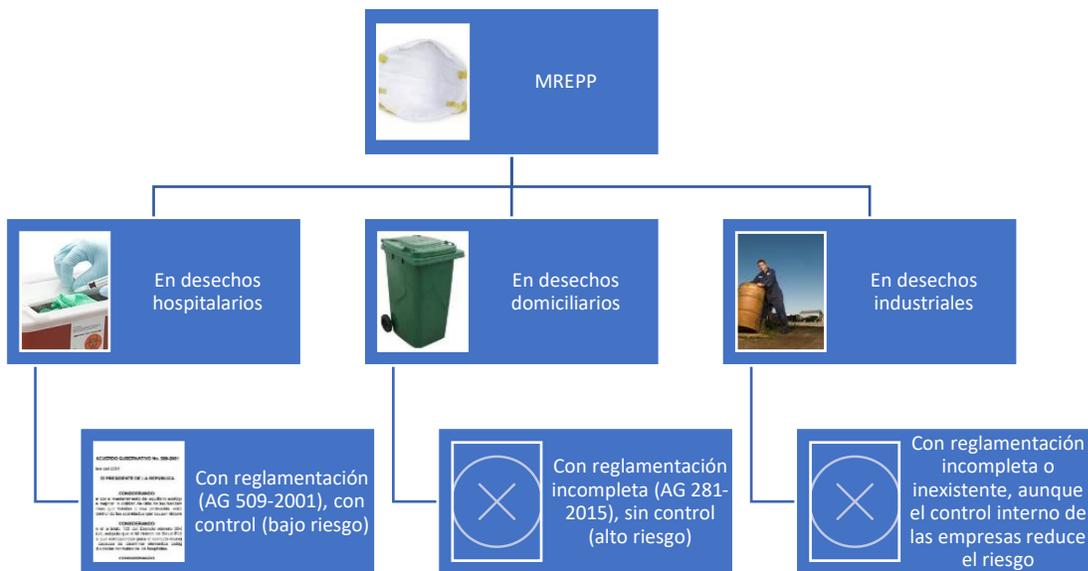


Figura 3 – Esquema que muestra la reglamentación vinculadas a cada uno de los flujos de materiales por sector económico-productivo.

En materia de estas reglamentaciones, el Estado de Guatemala cuenta desde el año 2001 con el Reglamento para el Manejo de Desechos Sólidos y Hospitalarios, Acuerdo Gubernativo 509-2001 (MSPAS, 2001), vigente hasta la fecha. Tal reglamento establece que el MSPAS es el encargado de establecer los mecanismos de control, coordinación y regulación de los desechos sólidos hospitalarios en el país, más no de los desechos domiciliarios potencialmente bioinfecciosos. Como se ve en la Figura 4, el flujo de materiales que ocurre a través de los desechos domiciliarios se convierte en uno de los potenciales focos de infección de enfermedades (no solo de Covid-19) porque la reglamentación existente no define las medidas a tomar de manera clara y concisa.



Figura 4 – Esquema que muestra la posibilidad que se presenta para los MREPP que se desechan de manera domiciliar. A pesar de no tener una reglamentación, el MREPP puede ser clasificado en bioinfeccioso y no bioinfeccioso o hacerlo pasar todo por un proceso de esterilización / desinfección.

Sección 1.4. Criterios de disposición de MREPP

Al igual que en la mayoría de los países del mundo, el escenario actual de los MREPP en Guatemala es que a partir de la crisis de Covid-19, estos se consumieron en grandes cantidades y potencialmente pueden producir grandes cantidades de desechos al final de su ciclo de vida. De la misma forma y como ha sido reportado en otros países, no se tienen estrategias ni políticas claras e integrales para su manejo, reciclaje o disposición final (Ilyas, Srivastaya y Kim, 2020). La puesta en práctica del llamado *principio precaucionario* por la mayoría de los gobiernos a nivel mundial se volcó en un abrupto incremento en la producción, importación y consumo de equipos de protección personal derivado de la crisis, provocado principalmente por una demanda exacerbada y una oferta que no solo logró satisfacer tal demanda, sino que abarrotó los mercados locales (Gereffi, 2020; Greenhalgh, Schmid, Czypionka, Bassler y Gruer, 2020; Sunstein, 2003). El principio precaucionario establece que cualquier medida que se encuentre total o parcialmente comprobada como solución a una problemática, debe ser puesta en marcha cuanto antes sin necesidad de llegar a una comprobación total, a manera de poder evitar que la situación se agudice por no hacer nada (Sunstein, 2003; Sandin, 2012). Es decir, que aunque el uso de MREPPs no esté completamente comprobado que tenga un efecto positivo en la reducción de las tasas de infección, es mucho mejor solución que no hacer nada. Sin embargo, la rapidez con la que se llevó a cabo todo el fenómeno incurrió en flujos de materiales nunca vistos local e internacionalmente, ejerciendo presión sobre los sistemas establecidos de recolección, manejo y disposición final de los desechos (DiMaria, 2020; Gereffi, 2020). Así mismo, se ha evidenciado que no se cuenta con los criterios necesarios para la toma de decisiones en materia del ‘qué hacer’ con todos los materiales resultantes del fenómeno, así como una dirección conjunta por parte de todos los actores. Algunos autores como DiMaria (2020) afirman que el ciclo de disposición de los materiales debe ser completa, mientras que otros como Ilyas et al. (2020) mencionan que la proporción de MREPP con peligrosidad bioinfecciosa no rebasa el 15% del total de desechos generados. La falta de esta dirección conjunta puede repercutir directa e inmediatamente no solo internamente en los sistemas de manejo y disposición, sino que pueden tener un profundo impacto en el ambiente y en la salud de los habitantes. Esto conduce a la necesidad de establecer una estrategia, la cual obedece a ciertos objetivos definidos en este documento y que pretenden no solo identificar soluciones viables a nivel técnico, sino que puedan implicar beneficios económicos, ambientales y sociales para diferentes actores involucrados.

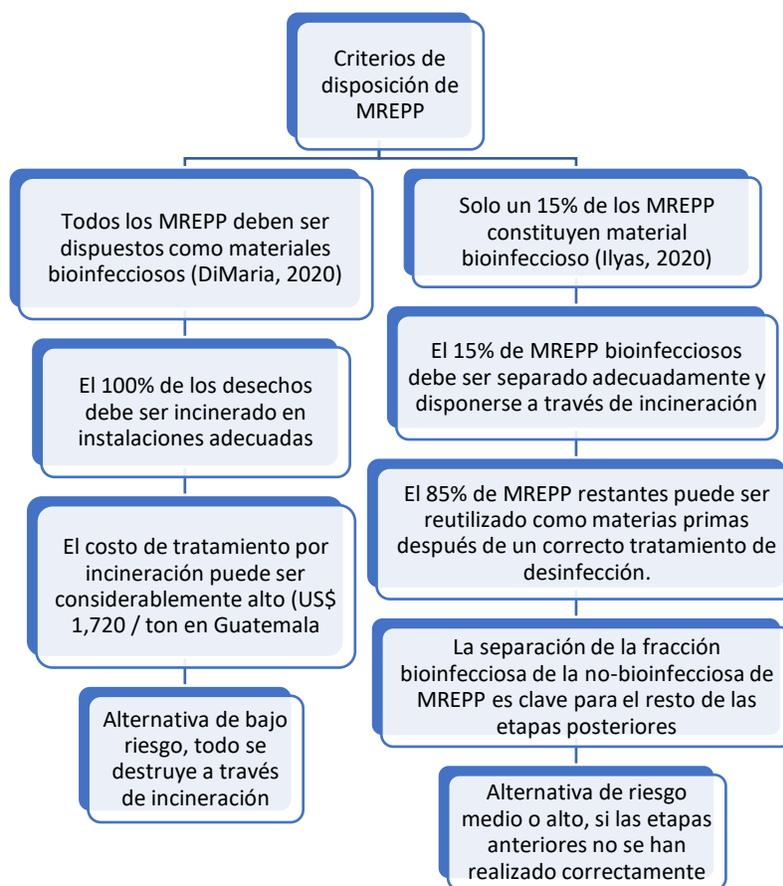


Figura 5 – Criterios de disposición de MREPP según DiMaria (2020) e Ilyas (2020).

La Figura 5 tipifica los dos criterios que se pueden adoptar respecto a la disposición de MREPP, reportados por DiMaria (2020) e Ilyas et al. (2020). Cada caso presenta una serie de retos económicos, tecnológicos y de gestión, que deben ser discutidos a detalle. La alternativa de incineración hace uso de los mismos principios del principio precaucionario comentados por Gereffi (2020) y Sunstein (2003), puesto que no toma la decisión de recuperar los materiales a costa del riesgo de infección que puede representar el proceso de recuperación de materiales. Con un costo de US\$1.71 por kilogramo de desechos eliminados, la incineración se vuelve una opción factible para la industria y otros sectores en términos de costos, pero no para la población que no desea pagar un precio por la eliminación de sus desechos (MSPAS, 2020).

Sección 2. La propuesta desde la perspectiva de la Economía Circular

Sección 2.1. MREPP como materiales con potencial circular: la perspectiva de la economía circular

Bajo un esquema de economía circular, los materiales que tradicionalmente son considerados como desechos se aprovechan de forma que se ingresan de nuevo al círculo productivo, con el objetivo de que se puedan obtener beneficios materiales o energéticos (Duchin y Levine, 2018; Kampmann et al, 2018; Lacy y Rutqvist, 2016; Margallo et al., 2019; Nussholz, Nyggard y Milios, 2019). Este retorno al ciclo puede implicar varios procesos intermedios y está basado en un conjunto de criterios que permiten saber la calidad necesaria de los desechos para convertirse en materias primas, las aplicaciones tecnológicas y principalmente el porcentaje del total que se puede recuperar (Lacy y Rutqvist, 2016; Zhuo y Levendis, 2014). Las opciones tecnológicas son diversas y dependen de la calidad con la que se obtiene el material a partir del ciclo agotado, del grado de mejoramiento que se le quiere dar a este y las aplicaciones finales en las que se pretenden utilizar.

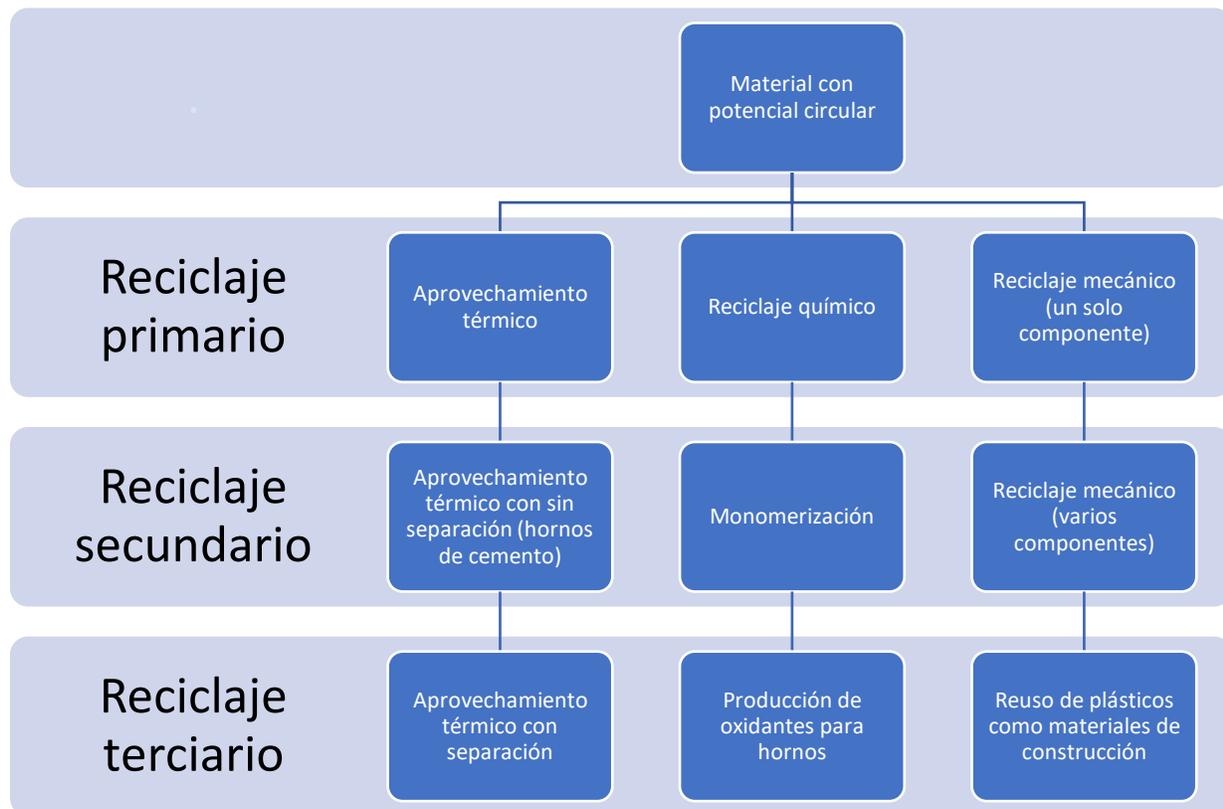


Figura 6 – Alternativas para la reutilización de residuos plásticos, esquematizado según Zhuo et al (2014).

Estas aplicaciones pueden variar desde opciones básicas en el aprovechamiento de la energía térmica por combustión (Zhuo y Levendis, 2014), de sus características físicas y químicas y propiedades mecánicas (Panyakapo y Panyakapo, 2007) o la obtención de nuevos materiales a partir de materiales de desecho con una funcionalidad disminuida (Wang et al, 2016). Algunas de las tecnologías se muestran en la Figura 2.

Sección 2.2. Caracterización de los MREPP en el ámbito guatemalteco

Para poder construir el modelo de flujo de materiales se realizó una caracterización del equipo de protección personal (EPP) utilizado. Para ello se obtuvieron datos tanto de referencias a partir de la literatura más actualizada, así como de proveedores de equipo nacionales e internacionales. Una ventaja considerable es que la mayoría de EPPs están vinculados a un estándar de fabricación, dentro del cual están reportadas las cantidades específicas de materiales con las que se fabrican (Czubryt, et al. 2020; Jatta et al. 2020).

Tabla 1 – Caracterización del equipo de protección personal (EPP) usado en Guatemala durante la crisis de COVID19.

Artículo	Material	Gramaje (gramos/m ²)	Masa (gramos)	Imagen
Gorro	Polipropileno	10.0	1	
Bata de polipropileno	Polipropileno	40	100	
Bata	Algodón	130 - 140	355	

Bata de polietileno comprimido	Polietileno comprimido	75	342	
Botas de hule	PVC	-	819	
Botas de cuero	Cuero	-	528	
Cubrebotas de polipropileno	Polipropileno	-	30	
Cubrebotas de polietileno	Polietileno	-	17	
Overol de algodón y poliéster	Algodón y Poliéster	248	1198	
Traje completo de microporo con capuchon	Microporoso laminado con tela no tejida	50	258	

Traje completo de polietileno y polipropileno	Polietileno y Polipropileno	65	335	
Traje completo de polipropileno	Polipropileno	50	258	
Cubrebotas de algodón	Polipropileno	-	30	
Careta de policarbonato	Policarbonato	-	130	
Careta de acetato	Acetato	-	125	
Lentes	Policarbonato	-	24	

Tabla 2 – Caracterización de guantes usados en Guatemala durante la crisis de COVID19.

Artículo	Material	Masa (gramos)	Imagen
Guates de látex	Látex	6	
Guantes de hule	Hule	42	

Guantes de nitrilo	Nitrilo	3.8	
Guantes de vinilo	Vinilo	4.9	

Tabla 3 – Caracterización de mascarillas usadas en Guatemala durante la crisis de COVID19.

	Material	Peso (g)	Peso total (g)	Imagen
N95	polisopreno elástico	2.54	10.27	
	aluminio	0.98		
	poliuretano (espuma)	0.22		
	polipropileno	3.29		
	poliéster	3.24		
KN95 con válvula	aluminio	0.51	9.59	
	polisopreno elástico	1.13		
	polipropileno	0.92		
	poliéster	2.8		
	rayón (cubiertas)	1.48		
	polisopreno (válvula)	2.75		
Quirúrgica	aluminio	0.19	2.73	
	poliéster (tiras)	0.27		
	rayón (cubiertas)	1.75		
	polipropileno (filtro)	0.48		
KN95	polipropileno	1.02	5.33	
	poliéster	1.32		
	rayón (cubiertas)	1.49		
	polisopreno elástico	1.01		
	aluminio	0.49		
Tela	filtro	2.64	8.37	
	tiras	1.18		

	tela	4.54	
--	------	------	---

Sección 2.3. Encuesta del Uso de Equipo de Protección Personal (ENUEPP)

La Encuesta del Uso de Equipo de Protección Personal (ENUEPP) se realizó durante los meses de junio a agosto por vía digital usando la aplicación de Google Forms. Se socializó a través de redes sociales (principalmente Facebook) y correo electrónico, así como por contactos personales vía WhatsApp y llamadas telefónicas. Se logró comunicar también a través del canal oficial de la Facultad de Ingeniería y a través de otras páginas de algunas escuelas y áreas. La encuesta se encuentra en la sección de Apéndices y consiste en 13 preguntas, enfocadas principalmente en aspectos demográficos y que traten de describir los hábitos en el uso de EPP y el conocimiento general al respecto de las formas de desecho de estos. No se tienen más datos demográficos ni económicos, para generalizar más la población objetivo de la encuesta.

A partir de la ENUEPP se lograron obtener 1030 respuestas en total, de las cuales un 51% fueron de sexo masculino y un 75% se concentraron en el municipio de Guatemala. Se identificó también que un 64% son usuarios ocasionales de equipo de protección personal (uso de 2 horas o menos al día), y el equipo más usado son las mascarillas KN95 y textiles, así como los guantes de látex.

Se estimó también que un 56% de las personas desechan sus EPPs a través del servicio domiciliario de recolección de desechos y que no realiza ninguna separación ni clasificación de los residuos. Un 84% también contestó que desinfecta su EPP para poder reutilizarlo. Finalmente, se evidenció que un 67% de los encuestados no sabe qué pasa con los desechos después de ser recolectados. Del 33% restante que contestó que conoce la disposición final, un 59% cree que estos desechos terminan en rellenos sanitarios, un 24.4% cree que se disponen a través de incineración y un 32% opina que los desechos terminan acumulados de forma descontrolada en ríos, barrancos y vertederos clandestinos. Solamente un 9.6% opina que los desechos terminan siendo reciclados.

Se presentan algunas figuras relevantes a datos específicos respecto al tipo de usuarios que se consideran los encuestados y en el uso de mascarillas y guantes.

Durante la pandemia, ¿cuál de estos tipos de mascarilla ha utilizado? y ¿cuántas ha usado al mes?

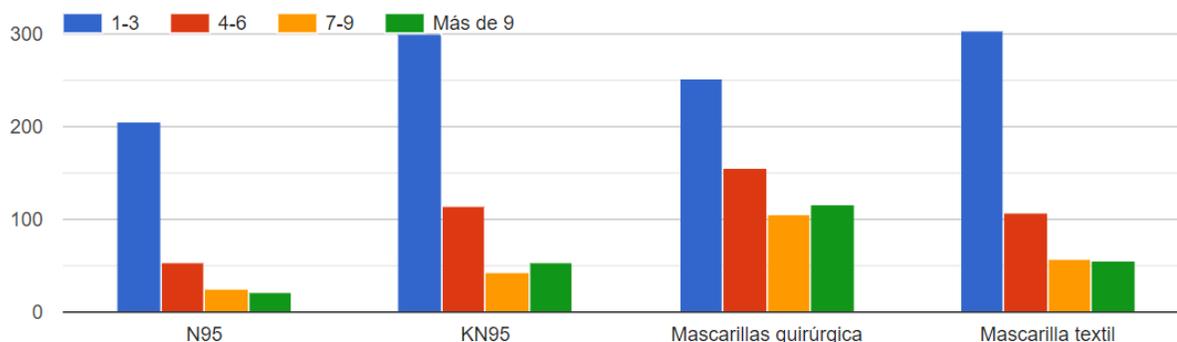


Figura 7 – Uso de mascarillas por tipo, según la ENUEPP. Fuente: ENUEPP.

¿Qué tipo de usuario es usted?

1.030 respuestas



Figura 8 – Tipo de usuarios, ocasional, ocasional regular o usuario frecuente. Fuente: ENUEPP.

¿Sabe usted qué pasa con los materiales relacionados con sus equipos de protección personal después que hayan sido desechados?

1.030 respuestas

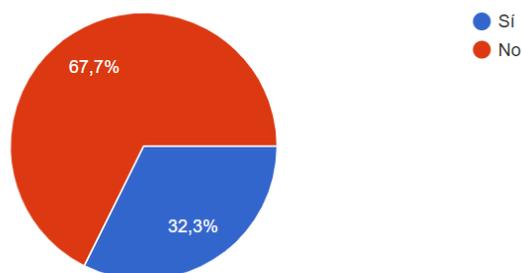


Figura 9 – Conocimiento respecto a los MREPP en su disposición final. Fuente: ENUEPP.

Sección 2.4. Flujo de MREPP en el ámbito guatemalteco

Para la estimación de los flujos de MREPP registrados durante la crisis y de manera que se puedan predecir los flujos futuros, se modelizó el comportamiento de consumo per cápita a través del análisis de los datos suministrados por el sitio Guatecompras, vinculado estadísticamente con los resultados de la ENUEPP para poder generalizar los datos a la población encuestada. Los resultados se muestran a continuación:

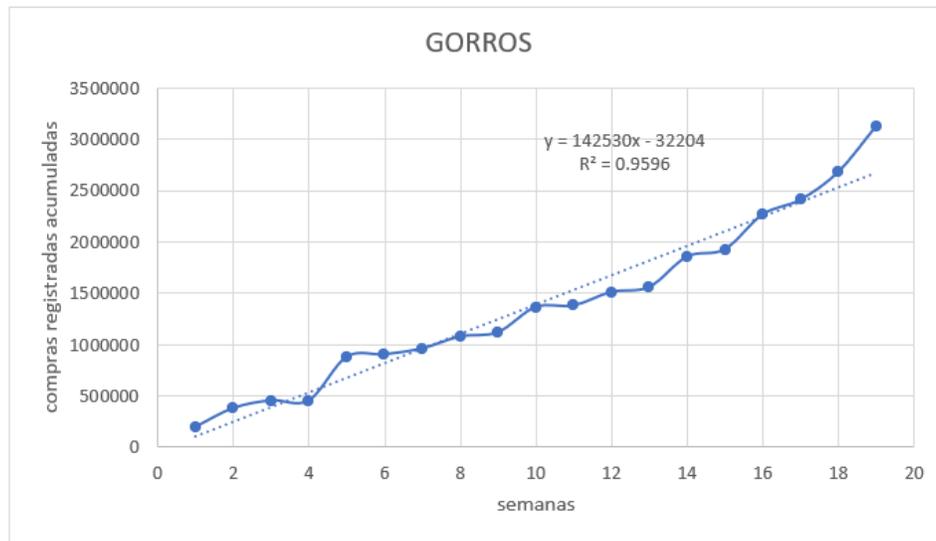


Figura 10 – Compra de gorros en el periodo mayo-agosto 2020. Fuente: Guatecompras.

En la Figura 10 se puede observar las compras registradas de gorros tipo quirúrgico durante el período de marzo-julio, para el sector hospitalario. Se contabilizó un total de 2,940,775 gorros. Estos gorros están compuestos del material polipropileno, por lo cual, durante este período de tiempo, se ha generado 3,117 kg de polipropileno, a partir de los gorros quirúrgicos. Es interesante observar que la compra y consecuente acumulación de gorros puede ser modelizada a través de una función lineal, con lo cual se podrían predecir datos futuros y estimar los requerimientos de eliminación o reproceso.

En la Figura 11 se observan las compras registradas de batas comprendidas en el período de marzo - agosto. En la tabla 3 se encuentra las cantidades totales de la compra de 3 diferentes tipos de material de batas, polipropileno, algodón y polietileno comprimido, haciendo un total de 1,227,648 batas adquiridas en el sector hospitalario. Por lo tanto, se ha generado 122,388 kg de polipropileno,

273 kg de algodón y 1026 kg de polietileno comprimido. Al igual que en el caso de los gorros, las batas pueden ser modelizadas efectivamente a través de una relación lineal.

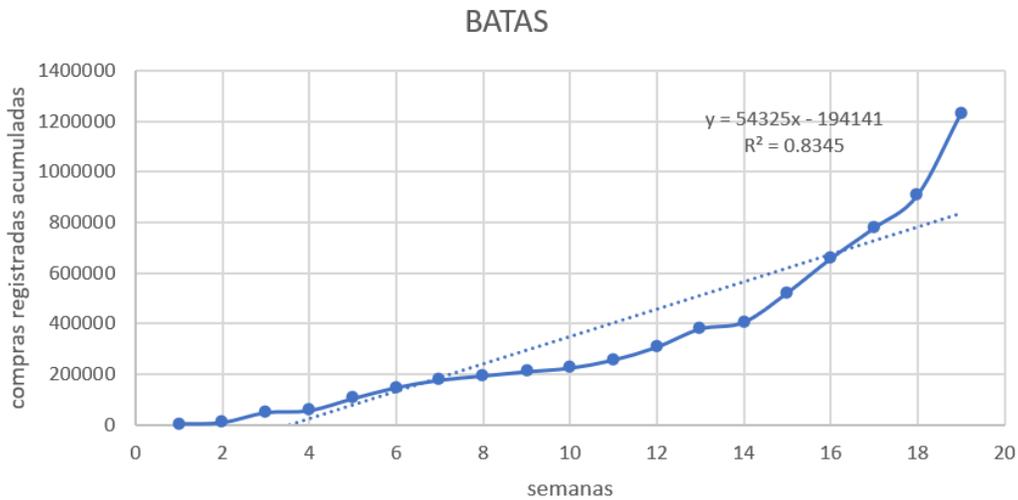


Figura 11 – Compra de batas en el periodo mayo-agosto 2020. Fuente: Guatecompras.

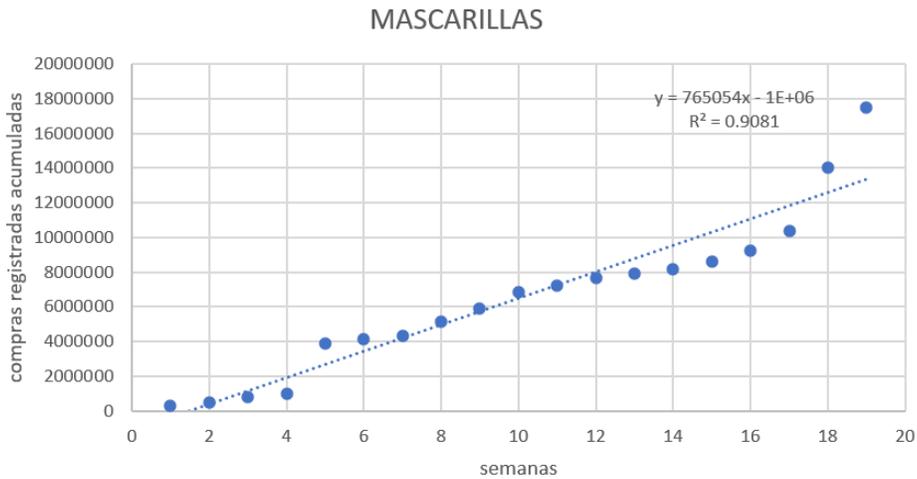


Figura 12 – Compra de mascarillas en el periodo mayo-agosto 2020. Fuente: Guatecompras.

En la Figura 12 se presentan las cifras de mascarillas adquiridas por el sector hospitalario durante el período de marzo-julio. Se contabilizó un total de 17,263,255 mascarillas de diferentes tipos. En la Tabla 4 aparecen los datos de mascarillas utilizadas por la población en general durante el mismo período de tiempo. Según el análisis estadístico realizado para extrapolar los datos de la muestra a la población total del país, se obtiene un total de 722,769,317 mascarillas/año de 4 diferentes tipos, N95, KN95, quirúrgica y textil.

Tabla 4 – Detalle de tipo de mascarillas consumidas a nivel del área médica pública. Fuente: Guatecompras.

Descartable: sí; Filtro; anticontaminante incorporado	3,007,798
Descartable: sí; Filtro: N95 sin válvula	2,158,028
Descartable: sí; filtro: anti-bacteriológico; material: polipropileno (quirúrgicas)	11,330,968
Descartable: sí; Filtro: N95 con válvula	56,953
Descartable: no; Material: polipropileno y tela algodón-poliéster	709,508
TOTAL	17,263,255

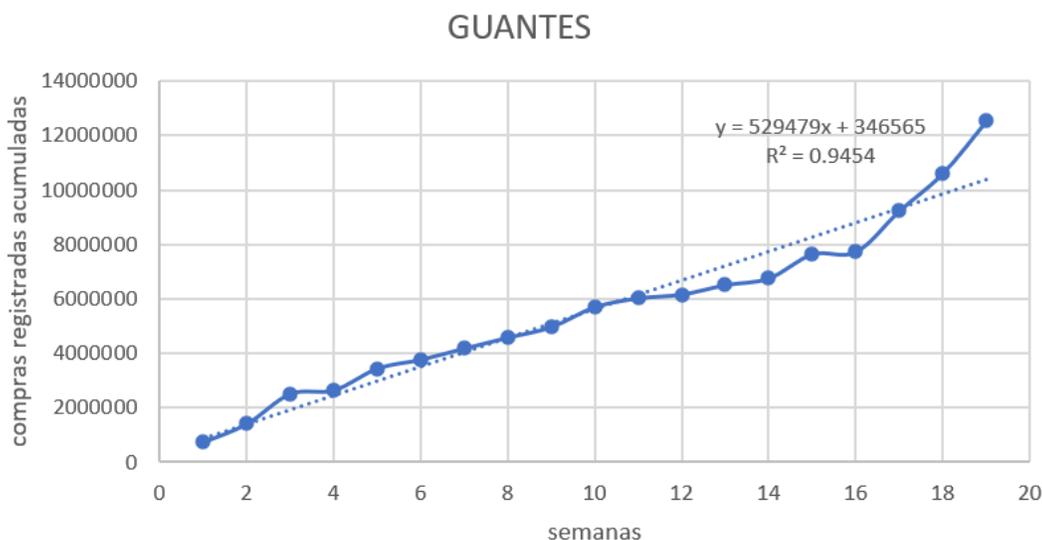


Figura 13 – Compra de mascarillas en el periodo mayo-agosto 2020. Fuente: Guatecompras.

Las compras de guantes realizadas para el sector hospitalario durante el período de marzo - agosto, se muestran en la Figura 13. La Tabla 14 muestra el total de éstas compras, teniendo disponible 11,862,919 guantes de diferentes materiales, látex, hule, nitrilo, de acercamiento y de vinil. Por otra parte, se reportan cantidades totales de 116,743,170 de látex y nitrilo. Por lo que se tiene un total de 547,005.84 kg de látex, 429.45 kg de hule y 142,226.85 kg de nitrilo.

Tabla 5 – Flujo de materiales consolidado para todos los sectores de producción y consumo de EPP. Fuente: Guatecompras y ENUEPP.

MATERIAL	Gorros	Batas	Botas	Caretas	Guantes	Lentes	mascarillas					Overol	Zapatos	TOTAL	
							N95	KN95 válvula	Quirúrgica	KN95	Textil			(kg)	(Toneladas)
Polipropileno	3117.22	122387.80	13331.46				318386.55	52.34	134750.06	180964.52		4688.20	47099.19	824777.33	824.78
algodón		273.26												273.26	0.27
polietileno		1026.00	725.90											1751.90	1.75
PVC/hule			1822.28		429.45									2251.73	2.25
cuero			58.08											58.08	0.06
policarbonato				841.23		1085897.78								1086739.01	1086.74
acetato				11471.50										11471.50	11.47
acrílico				5376.16										5376.16	5.38
tereftalato de polietileno con glicol				196.00										196.00	0.20
látex					547005.84									547005.84	547.01
nitrilo					142226.85									142226.85	142.23
vinilo					0.02									0.02	0.00
ignis					33.00									33.00	0.03
fieltro de carbono					12.00									12.00	0.01
aramida viscosa					12.50									12.50	0.01
algodón y poliéster												27184.78		27184.78	27.18
microporoso laminado/tela no tejida												57943.81		57943.81	57.94
polietileno/polipropileno												14819.57		14819.57	14.82
polisopreno elástico							245582.10	64.36		179895.83				425542.28	425.54
aluminio							94752.15	220.98	53338.56	87276.19				235587.88	235.59
poliuretano							21270.89							21270.89	21.27
poliéster							313262.20	159.47	75796.91	235823.84				625042.41	625.04
rayón								84.75	491276.24	265034.65				756395.64	756.40
filtro											487490.22			487490.22	487.49
tiras											218383.82			218383.82	218.38
tela											837568.33			837568.33	837.57
													TOTAL	6,329,414.83	6,329.41

Según el balance de masa realizado para la cantidad total de EPPs desechados se puede estimar en valores de 425 ton/año de polisopreno elástico, 236 ton/año kg de aluminio, 21.3 ton/año de poliuretano, 625 ton/año de poliéster, 756 ton/año de rayón, 487 ton/año de filtro, 218 ton/año de tiras y 837 ton/año de tela. La base de cálculo es para una población de 18.0 millones de habitantes y 40 mascarillas por habitante por año (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2019).

Finalmente se reportan los datos totales del flujo de materiales en la Tabla 6, donde aparecen los materiales que se reportan en mayores proporciones en la Tabla 5:

Tabla 6 – Flujo de materiales consolidado con los valores aproximados en el mercado internacional. Fuente: .

Material	Cantidad (ton/año)	Valor aproximado en el mercado internacional
Polisopreno elástico	425	US\$ 640,000
Aluminio	236	US\$ 420,000
Poliuretano	21.3	US\$ 1,487,000
Poliéster	625	
Rayón	756	
Filtro de tela (varias fibras)	487	US\$ 1,827,000
Tiras de tela (varias fibras)	218	
Tela (algodón principalmente)	837	
	Total	US\$ 4,374,000

Sección 3. Alternativas tecnológicas para recuperación o eliminación de MREPP

Existen diferentes métodos de tratamiento de desechos bioinfecciosos recomendados por autoridades en temas de medio ambiente y salud como la Organización de las Naciones Unidas para la Protección Ambiental (UNEP), la Organización Mundial de Salud (OMS) y el Centro para la Prevención y Control de Enfermedades (CDC) en EE. UU. También existen acuerdos internacionales a los que se encuentra suscrito Guatemala, como el Convenio de Basilea, en donde se exponen los métodos adecuados para el tratamiento de desechos bioinfecciosos y las limitaciones para el transporte de materiales a través de las fronteras (Alter, 1997).

A continuación, se puede encontrar una tabla de comparación de los beneficios y desventajas de algunos de los diferentes métodos para el tratamiento de desechos bioinfecciosos, como parte de las directrices técnicas sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos biomédicos y sanitarios:

Tabla 7 – Comparación de ventajas y desventajas de métodos de tratamientos de desechos bioinfecciosos.

Métodos de tratamiento	Ventajas	Inconvenientes
Incineración pirolítica/ Incineración en dos etapas con eficiente limpieza con gases	Muy alta eficiencia de la desinfección; adecuada para todos los desechos infecciosos y la mayor parte de los desechos farmacéuticos y químicos.	Temperatura de incineración de más de 800 °C, destrucción de ciclo-tóxicos; costos relativamente altos de inversión y operación. Debe realizarse un manejo prudente de los residuos de la incineración porque pueden presentar características peligrosas
Incineración en cámara única con reducción de polvo	Buena eficiencia de desinfección; drástica reducción del peso y volumen de los desechos; costos de inversión y operación relativamente bajos.	Generación de considerables emisiones de contaminantes atmosféricos y eliminación periódica de sedimentos y hollín; si la temperatura es inferior a 800° C, es ineficiente en cuanto a la destrucción de sustancias químicas y drogas resistentes a la temperatura, como las citotóxicas
Desinfección química	Desinfección eficiente en condiciones operativas adecuadas con desechos especiales; costosa si los desinfectantes químicos son caros	Se requieren técnicos altamente calificados para la realización del proceso; utilización de sustancias peligrosas que requieren medidas generales de seguridad; inadecuado para desechos farmacéuticos, químicos y para la mayor parte de los tipos de desechos infecciosos (desechos sólidos combinados).
Tratamiento con humedad y	Racional desde el punto de vista ambiental; costos de inversión y operación relativamente	Las desmenuzadoras están expuestas a muchas fallas y mal funcionamiento; su operación requiere técnicos calificados; inadecuadas para

temperatura en autoclave	bajos. Adecuado para desechos infecciosos y microbiológicos.	desechos farmacéuticos y químicos o desechos que no sean de fácil penetración por el vapor.
Irradiación en microondas	Adecuada eficiencia en cuanto a desinfección en condiciones operativas apropiadas; ambientalmente racional.	Altos costos de inversión y operación; posibles problemas de operación y mantenimiento; sólo para desechos infecciosos húmedos o desechos infecciosos con alto contenido de agua.
Vertederos de diseño especial	Seguir si se restringe el acceso y se limita la infiltración natural	Segura si se limita el acceso al sitio y no existe riesgo de contaminación del agua.

Fuente: directrices técnicas sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos biomédicos y sanitarios del Convenio de Basilea (Muehlich, 2003; Alter, 1997; UNEP, 2014).

Es importante conocer los métodos, las clasificaciones y los mecanismos de desinfección con el fin de entender como estos pueden ser adaptados y utilizados para satisfacer la demanda de tratamiento de materiales relacionados a los equipos de protección personal. A pesar de que existen muchísimas variantes de los diferentes métodos para tratamiento de desecho, se pueden clasificar en los siguientes grupos generales:

- a) Tratamiento de desechos con vapor
- b) Tratamiento de desechos con microondas
- c) Tratamiento de desechos con calor
- d) Tratamiento químico de desechos

A continuación, se dará una descripción de estos tratamientos, los equipos y los métodos involucrados y sus principales variantes.

Sección 3.1. Tratamiento de desechos con vapor

El tratamiento de los desechos se puede referir a la desinfección como a la esterilización de los residuos bioinfecciosos. La desinfección se puede describir como un proceso que elimina la mayoría de los microorganismos patógenos, a excepción de algunas esporas, en objetos inanimados. La esterilización, por otro lado, destruye toda forma de vida incluyendo esporas. Aunque los términos desinfección y esterilización no son iguales, en común encontrar que ambas definiciones se utilicen para describir un mismo proceso de destruir microorganismos en objetos inanimados (Sykes, 1965; Couto, 2017; Guan, 2009). Existen varios aparatos y métodos utilizados

para el tratamiento de desechos. Los más populares son las autoclaves que utilizan calor húmedo (vapor) a alta presión para poder esterilizar. Sin embargo, existen otros métodos como el uso de calor seco, que normalmente no es tan efectivo, y equipos de tratamiento por microondas.

Sección 3.1.1. Autoclaves

Las autoclaves se han usado por más de un siglo para esterilizar equipos médicos y en los últimos años se han adaptado para tratar residuos hospitalarios (McNamee y Conrad 2011; Stoker, 1995). Una autoclave es un equipo metálico diseñado para resistir altas presiones, consiste en el cuerpo, un arreglo de tuberías por donde el vapor entra y sale del equipo, puerta de acceso y en algunas clases, una chaqueta de vapor alrededor para mejor el calentamiento y disminuir la condensación (Perry, 2019). El proceso de esterilización sucede cuando la combinación adecuada de temperatura, presión y tiempo de exposición se dan dentro del equipo para destruir a los organismos patógenos. Normalmente se recomienda vapor de al menos 120 °C por 30 minutos, sin embargo, la efectividad para que el vapor penetre y esterilice el material depende de muchos factores, incluyendo el tiempo, temperatura, presión, secuencia de operación, densidad de empacado, tipos de bolsas y material.

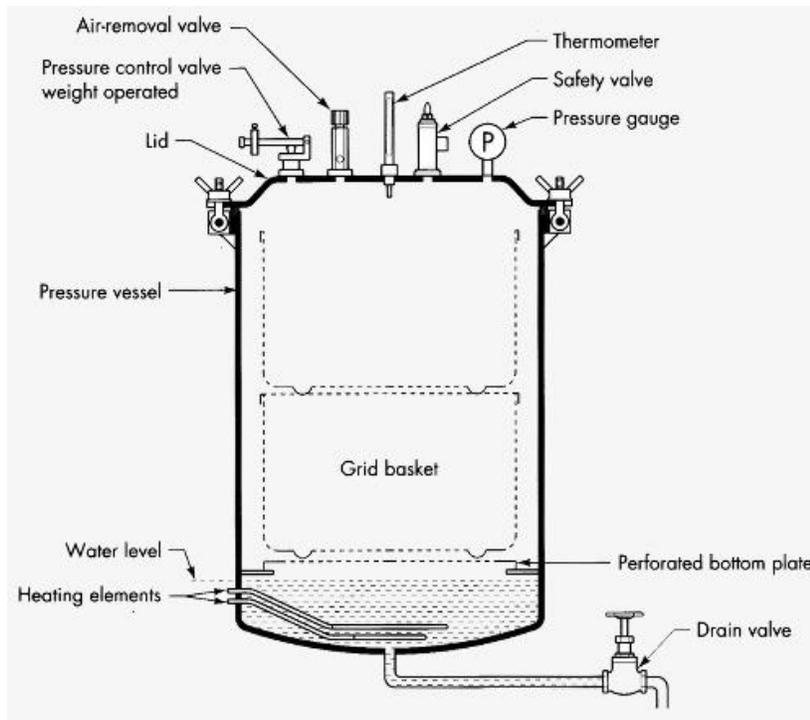


Figura 14 – Diagrama esquemático de una autoclave. UNEP (2012).

Sección 3.2. Tratamiento de desechos con microondas

El tratamiento por microondas consiste en la acción esterilizante del vapor generado por la energía de las microondas (Jeng, Kaczmarek, Woodworth y Balasky, 1987; Tata y Beone, 1995). La humedad contenida en los desechos es evaporada eliminando, así, los microorganismos patógenos. Generalmente estos equipos contienen un área de tratamiento en donde la energía de microondas es irradiada por un generador de microondas. Normalmente tienen capacidad de entre 30 y 100 litros. Estos sistemas se pueden automatizar completamente. Al igual que con los sistemas de vapor, existen equipos de tratamiento continuo. En estos equipos el desecho es arrastrado por un tornillo de Arquímedes a través de una cámara en donde es irradiado por microondas para lograr su desinfección. Dicho equipo está generalmente integrado con trituradoras y áreas de almacenamiento (Organización de las Naciones Unidas para la Protección Ambiental [UNEP], 2012).

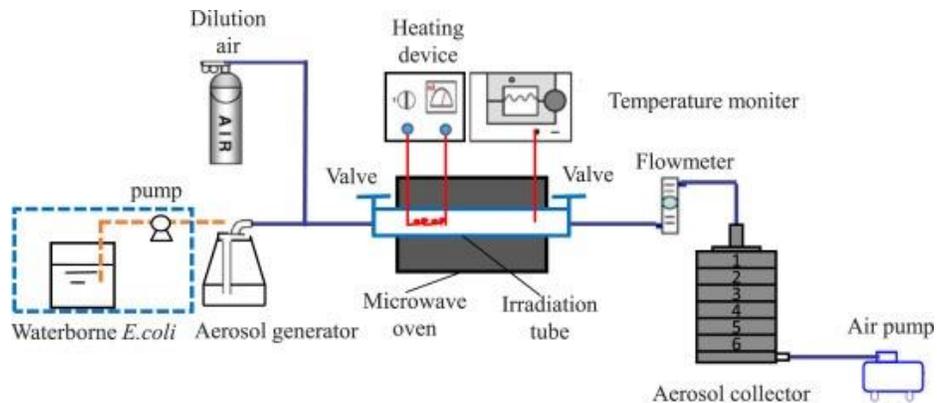


Figura 15 – Diagrama esquemático del proceso de desinfección por microondas. UNEP (2012).

Sección 3.3. Tratamiento de desechos por incineración

La incineración es un proceso oxidativo en altas temperaturas, que reduce compuestos y desechos orgánicos a inorgánicos e incombustibles, con un volumen considerablemente menor (Havukainen et al. 2017). Estos procesos pueden llevarse a cabo entre temperaturas de 200 °C hasta 1000 °C, entre los cuales puede haber procesos destructivos (Lee, 1995). Sin embargo, existen inconvenientes ya que se generan productos indeseables por la combustión, que generalmente son contaminantes (Tsai y Kuo, 2010). Estos son liberados a la atmosfera y pueden ser dañinos.

Algunos de los compuestos contaminantes son dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, varias sustancias volátiles, y materia particulada en forma de cenizas. El tratamiento de estos compuestos y cenizas es de suma importancia. Un incinerador debe en todo tiempo tener un sistema de control de contaminación atmosférica para poder cumplir con estándares nacionales e internacionales.

Sección 3.4. Tratamiento de desechos a través de medios químicos

Este tipo de tratamiento permite la desinfección de residuos bioinfecciosos mediante el uso de hipoclorito de sodio (NaClO). Aunque existen métodos manuales en los que se pueden aplicar este químico (u otros que permitan el mismo fin), se recomienda el uso de equipo automatizado y continuo para asegurar la descontaminación de los desechos. Este tipo de procesos no son del todo confiables ya que no existe mucha evidencia de su efectividad (World Health Organization [WHO], 2019). En los sistemas continuos, las variables fisicoquímicas del proceso de oxidación son controladas automáticamente. El residuo es alimentado al sistema hacia una trituradora, en donde el proceso de triturado ocurre en una atmósfera negativa y bajo condiciones oxidantes. Los gases resultantes del proceso pasan por filtros que permiten la neutralización de estos de manera que ningún gas peligroso es emitido a la atmósfera de forma ideal. Luego del proceso de contaminación, se asegura que el desecho sea tratado con tiosulfato de sodio, para neutralizar cualquier restante de cloro que pueda estar presente en los desechos. El uso de este tipo de equipos es riesgoso debido a los reactivos a los que los operarios pueden estar expuestos, que son altamente corrosivos, es por eso que se recomienda que los equipos sean automáticos para minimizar el riesgo de contacto por parte de los operarios. Se sugiere también el proceso de desinfección propuesto por Jatta et al. (2020), en el que las mascarillas del tipo N95 y KN95 pueden pasar por un proceso de autoclave usando una atmósfera de peróxido de hidrógeno al 59% y bajas temperaturas. En este estudio, Jatta demostró que se puede descontaminar efectivamente el material de las mascarillas incluso sin degradar la fibra del filtro ni de la parte externa (Jatta et al, 2020). Esto supone que para la reutilización de los materiales que conforman las mascarillas, solo sería necesario un correcto desguace.

Sección 4. Estrategia y recomendaciones para la gestión de MREPP

Dado el panorama actual presentado en las secciones anteriores, se muestra la ruta sugerida para la obtención de beneficios económicos y ambientales en la Figura 16. Se muestra que a pesar de

que existen opciones tecnológicas asociadas al reciclaje o reutilización de los materiales, el punto crítico se encuentra en la correcta separación y clasificación de las fracciones útiles de materiales.

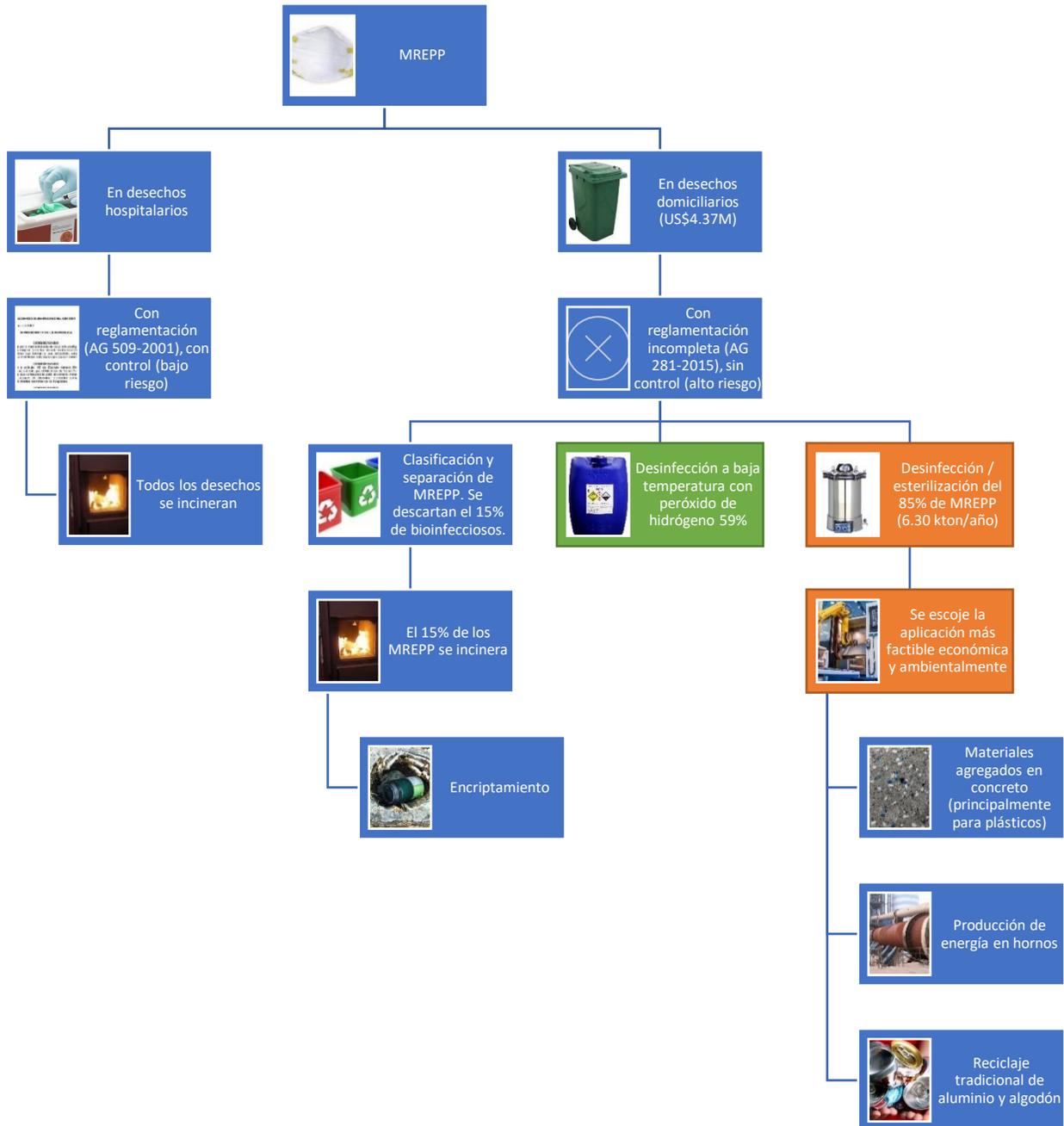


Figura 16 – Diagrama esquemático de la Estrategia para la gestión de los MREPP en Guatemala bajo el enfoque de la Economía Circular.

Se presentan tres opciones tecnológicas adecuadas para el manejo de los MREPP recuperados, las cuales son:

- a) Utilización de materiales plásticos como agregados en mezclas de concreto. Gu y Ozbakkaloglu (2016) analiza 84 diferentes estudios acerca del aprovechamiento de los plásticos y fibras sintéticas en la industria de la construcción, además de hacer énfasis en la necesidad de la eliminación de los rellenos sanitarios, así como incrementar los niveles de reciclaje. En la Figura 17 se muestra una parte del reporte de Gu y Ozbakkaloglu (2016) respecto a este tema y es evidente que el estado del arte impone una fuerte presión para eliminar por completo los rellenos sanitarios a través de la reutilización de materiales en construcción (Albano, Camacho, Hernández, Matheus, Gutiérrez, 2009; Fraternali, Ciancia, Chechile, Rizzano, Feo, Incarnato, 2011; Frigione, 2010; Kumar and Prakash, 2006; Lima, Leite y Santiago, 2010; Pelisser, Montedo, Gleize, Roman, 2012; Richardson, 2006; Suji et al, 2007; Wang, 1994).

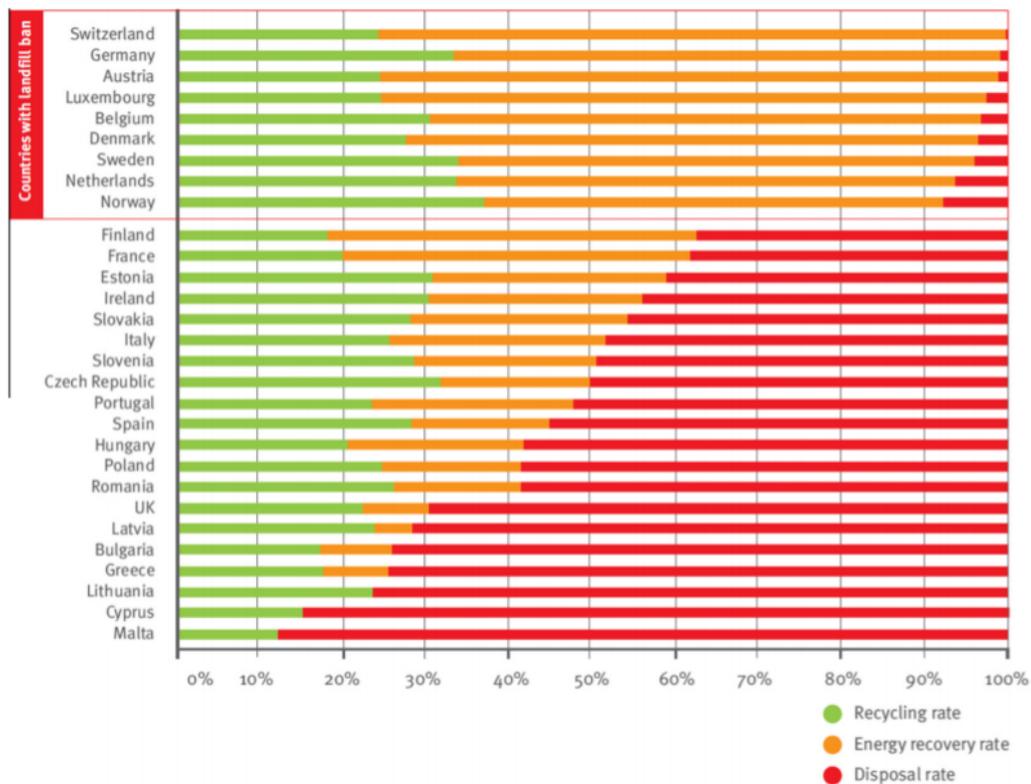


Figura 17 – Diagrama comparativo de los resultados alcanzados por varios países europeos en materia de reciclaje, utilización de energía y la eliminación de rellenos sanitarios. Es importante mostrar que existe ya una considerable cantidad de países que no permiten la acumulación de materiales en rellenos sanitarios (Gu, 2016).

b) Producción de energía en hornos de alta temperatura. Esta opción es una de las más populares e implica la utilización de los hornos de alta temperatura para hacer uso de la energía térmica de los polímeros y de las fibras naturales. Es un área de gran crecimiento en los departamentos de R/D en el área industrial, y por lo general se asocia a lo que modernamente se conoce como combustibles alternos (AFRs en inglés) (Aranda, López-Sabirón, Ferreira, Llera-Sastresa, 2013; Uchikawa, 1996; Mikulčić, Klemes, Vujanovic, Urbaniec, Duic, 2016). Se muestra en la Figura 18 un esquema de esta simbiosis.

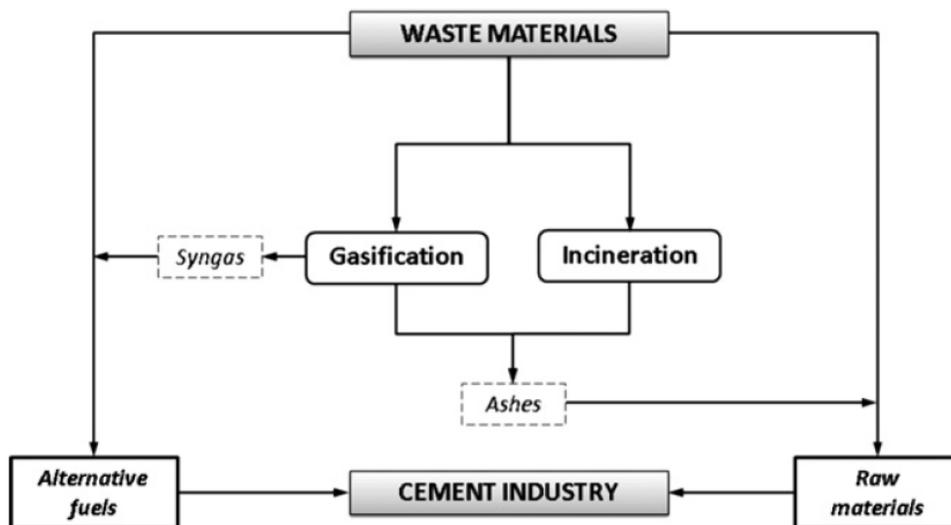


Figura 18 – Diagrama que muestra la sinergia entre los materiales de desecho de otras industrias y la industria del cemento. Los materiales pueden ser usados como materias primas o como combustibles alternos.

Fuente: Aranda (2013)

c) Reciclaje tradicional de aluminio, algodón y fibras mixtas.

Es imperativo que los actores principales en la toma de decisiones asociada con la gestión y manejo de los MREPP conozcan las opciones tecnológicas que se tienen para poder recuperar y aprovechar el contenido energético y potencial circular material de los desechos. En el caso del aluminio, el algodón y las fibras mixtas que componen una gran parte de los MREPP, estos pueden ser utilizados completamente como materias primas de reciclaje independiente de su

origen. La clave está en los pasos intermedios de separación, clasificación y eventual desinfección. Esto está ampliamente documentado por diversos autores, entre los que destacan Jirang (2010), Martínez, Gallegos y Sebastián (2005) y Wan, Chen, Lu, Liu, Jiang y Mao (2017).

Conclusiones

1. Los MREPP en Guatemala constituyen una fuente importante de materiales aprovechables y que pueden ser recuperados dentro de un esquema de economía circular.
2. Según la modelización del estudio, se estimó que los MREPP disponibles por año en Guatemala es de 6.3 kilotoneladas métricas.
3. Se estimó que existe un potencial de US\$4.37 millones por año a través de la recuperación de materiales MREPP en Guatemala. En contraposición, los costos de eliminación por incineración de la misma cantidad de toneladas son de US\$10.8.
4. Se desarrolló una estrategia para la gestión de los MREPP en Guatemala bajo el enfoque de economía circular.
5. Se determinó que la mejor opción para la gestión de MREPP basados en plásticos y fibras sintéticas es a través de su incorporación como agregado a mezclas de concreto en la industria de la construcción.
6. Se determinó que el aluminio y el algodón pueden ser reciclados completamente si pasan por un proceso de desinfección.
7. La etapa crítica del proceso de gestión de MREPP es la clasificación y separación de la fracción potencialmente bioinfecciosa, así como la efectiva desinfección de los materiales que van a pasar a procesos completos de reciclaje.
8. Se determinó que el aprovechamiento de calor es la vía más apropiada para materiales no reciclables, principalmente de su uso como combustibles alternos, en lugar de la incineración.

Referencias bibliográficas

- Adhikari, B., & Maiti, S. (2000). Reclamation and recycling of waste rubber. *Progress in polymer science* 909–948. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(00\)00020-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(00)00020-4)
- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Matheus, A., & Gutiérrez, A. (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*, 29(10), 2707–2716. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.007>
- Alhola, K., Ryding, S. O., Salmenperä, H., & Busch, N. J. (2019). Exploiting the Potential of Public Procurement: Opportunities for Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 96–109. <https://doi.org/10.1111/jiec.12770>
- Aragaw, T. A. (2020). Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario. *Marine Pollution Bulletin*, 159(July), 111517. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111517>
- Aranda Usón, A., López-Sabirón, A. M., Ferreira, G., & Llera Sastresa, E. (2013). Uses of alternative fuels and raw materials in the cement industry as sustainable waste management options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 242–260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.024>
- Brent, D. A. (1992). Method for processing infectious waste using microwaves. *United States Patent* (19). 19.
- Cass R. Sunstein (2016). Beyond the precautionary principle. *University of Pennsylvania Law Review*. 153(6), 2003–2016.
- Couto, N., Silva, V., Monteiro, E., & Rouboa, A. (2017). Exergy analysis of Portuguese municipal solid waste treatment via steam gasification. *Energy Conversion and Management*, 134, 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.12.040>
- Czubryt, M. P., Stecy, T., Popke, E., Aitken, R., Jabusch, K., Pound, R., Lawes, P., Ramjiawan, B., & Pierce, G. N. (2020). N95 mask reuse in a major urban hospital: COVID-19 response process and procedure. *Journal of Hospital Infection*, 106(2), 277–282.

Derksen, L. (1993). The social context of recycling. En J. Gartell (Ed.), *American Sociological Review* (3.a ed., Vol. 58, pp. 434-442). American Sociological Association.

<https://doi.org/10.2307/2095910>

Di Maria, F., Beccaloni, E., Bonadonna, L., Cini, C., Confalonieri, E., La Rosa, G., Milana, M. R., Testai, E., & Scaini, F. (2020). Minimization of spreading of SARS-CoV-2 via household waste produced by subjects affected by COVID-19 or in quarantine. *Science of the Total Environment*, 743, 140803. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140803>

Dintcheva, N. T., Jilov, N., & La Mantia, F. P. (1997). Recycling of plastics from packaging. *Polymer Degradation and Stability*, 57(2), 191–203. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(96\)00232-7](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(96)00232-7)

Duchin, F., & Levine, S. H. (2019). The recovery of products and materials for reuse: The global context of resource management. *Resources, Conservation and Recycling*, 145(October 2018), 422–447. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.028>

Eriksen, M. K., Damgaard, A., Boldrin, A., & Astrup, T. F. (2019). Quality Assessment and Circularity Potential of Recovery Systems for Household Plastic Waste. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 156–168. <https://doi.org/10.1111/jiec.12822>

Fadare, O. O., & Okoffo, E. D. (2020). Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment. *Science of the Total Environment*, 737.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140279>

Fraternali, F., Ciancia, V., Chechile, R., Rizzano, G., Feo, L., & Incarnato, L. (2011). Experimental study of the thermo-mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete. *Composite Structures*, 93(9), 2368–2374.

<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.03.025>

Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 30(6), 1101–1106. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>

Gereffi, G. (2020). What does the COVID-19 pandemic teach us about global value chains? The case of medical supplies. *Journal of International Business Policy*, 3(3), 287–301.

<https://doi.org/10.1057/s42214-020-00062-w>

Greenhalgh, T., Schmid, M. B., Czypionka, T., Bassler, D., & Gruer, L. (2020). Face masks for the public during the covid-19 crisis. *The BMJ*, 369(April), 1–4.

<https://doi.org/10.1136/bmj.m1435>

Gu, L., & Ozbakkaloglu, T. (2016). Use of recycled plastics in concrete: A critical review. *Waste Management*, 51, 19–42. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.005>

Guan, Y., Luo, S., Liu, S., Xiao, B., & Cai, L. (2009). Steam catalytic gasification of municipal solid waste for producing tar-free fuel gas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(23), 9341–9346. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.09.050>

Havukainen, J., Zhan, M., Dong, J., Liikanen, M., Deviatkin, I., Li, X., & Horttanainen, M. (2017). Environmental impact assessment of municipal solid waste management incorporating mechanical treatment of waste and incineration in Hangzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 141, 453–461. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.146>

He, M., Xiao, B., Liu, S., Guo, X., Luo, S., Xu, Z., Feng, Y., & Hu, Z. (2009). Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of municipal solid waste (MSW): Influence of steam to MSW ratios and weight hourly space velocity on gas production and composition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(5), 2174–2183. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.11.115>

Hill, M. R. (2010). American Sociological Association. *The Blackwell Encyclopedia of Sociology*, 58(3), 434–442. <https://doi.org/10.1002/9781405165518.wbeosa047.pub2>

Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115–2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>

Ilyas, S., Srivastava, R. R., & Kim, H. (2020). Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management. *Science of the Total Environment*, 749, 141652. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141652>

Instituto Nacional de Estadística. (2019). Proyecciones y estimaciones de población por departamento, según año.

<http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2019/06/21/20190621172131YryvGF2nexIp41WtmnIF0zQRIPoDSFET.xlsx>

Jatta, M., Kiefer, C., Patolia, H., Pan, J., Harb, C., Marr, L. C., & Baffoe-Bonnie, A. (2020). N95 reprocessing by low temperature sterilization with 59% vaporized hydrogen peroxide during the 2020 COVID-19 pandemic. *American Journal of Infection Control*.

<https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.06.194>

Jeng, D. K., Kaczmarek, K. A., Woodworth, A. G., & Balasky, G. (1987). Mechanism of microwave sterilization in the dry state. *Applied and Environmental Microbiology*, 53(9), 2133–2137. <https://doi.org/10.1128/aem.53.9.2133-2137.1987>

Kaminsky, W., Menzel, J., & H. Sinn. (1976). Recycling of plastics. *Conservation & Recycling* 1, 91–110.

Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

Lacy, P., & Rutqvist, J. (2016). Waste to wealth: The circular economy advantage. *Waste to Wealth: The Circular Economy Advantage*, 1–264. <https://doi.org/10.1057/9781137530707>

Lee, C. C., & Huffman, G. L. (1996). Medical waste management/incineration. *Journal of Hazardous Materials*, 48(1–3), 1–30. [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(95\)00153-0](https://doi.org/10.1016/0304-3894(95)00153-0)

Lima, P. R. L., Leite, M. B., & Santiago, E. Q. R. (2010). Recycled lightweight concrete made from footwear industry waste and CDW. *Waste Management*, 30(6), 1107–1113.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.007>

Margallo, M., Ziegler-Rodriguez, K., Vázquez-Rowe, I., Aldaco, R., Irabien, Á., & Kahhat, R. (2019). Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *Science of the Total Environment*, 689, 1255–1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>

Martínez, S. S., Benítez, W. L., Gallegos, A. A. Á., & Sebastián, P. J. (2005). Recycling of aluminum to produce green energy. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 88(2), 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.09.022>

Mcnamee, K., & Conrad, P. (2011). the Effect of Autoclave Design and Test Protocol on Hydrate Test Results. *Icgh* 2011.

- Messerle, V. E., Mosse, A. L., & Ustimenko, A. B. (2018). Processing of biomedical waste in plasma gasifier. *Waste Management*, 79, 791–799. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.048>
- MEXPO. (2018). La economía circular. <https://www.mexpogdl.com/blog/noticias/la-economia-circular/>
- Mikulčić, H., Klemeš, J. ř. J., Vujanović, M., Urbaniec, K., & Duić, N. (2016). Reducing greenhouse gasses emissions by fostering the deployment of alternative raw materials and energy sources in the cleaner cement manufacturing process. *Journal of Cleaner Production*, 136, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.145>
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2016). Política nacional para la gestión integral de residuos y desechos sólidos. Acuerdo Gubernativo 281-2015, 91. www.marn.gov.gt
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2001). Acuerdo Gubernativo No. 509-2001. <https://www.mspas.gov.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/desechossolidos/AcuerdoGubernativo509-2001ManejoDesechosSolidosHospitalarios.pdf>
- Nußholz, J. L. K., Nygaard Rasmussen, F., & Milios, L. (2019). Circular building materials: Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy. *Resources, Conservation and Recycling*, 141(October 2018), 308–316. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.036>
- Nuzaimah, M., Sapuan, S. M., Nadlene, R., & Jawaid, M. (2018). Recycling of waste rubber as fillers: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 368(1), 0–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/368/1/012016>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Health-Care waste. Recuperado el 23 de abril del 2020 en <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>
- OSHA, United States Department of Labor. (2020). Personal Protective Equipment. Recuperado el 23 de abril del 2020 en <https://www.osha.gov/SLTC/personalprotectiveequipment/>
- Panyakapo, P., & Panyakapo, M. (2008). Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete. *Waste Management*, 28(9), 1581–1588. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.006>

- Parajuly, K., & Wenzel, H. (2017). Potential for circular economy in household WEEE management. *Journal of Cleaner Production*, 151, 272–285.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.045>
- Patil, G. V., & Pokhrel, K. (2005). Biomedical solid waste management in an Indian hospital: A case study. *Waste Management*, 25(6 SPEC. ISS.), 592–599.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.07.011>
- Pelisser, F., Montedo, O. R. K., Gleize, P. J. P., & Roman, H. R. (2012). Mechanical properties of recycled PET fibers in concrete. *Materials Research*, 15(4), 679–686.
<https://doi.org/10.1590/S1516-14392012005000088>
- Planing, P. (2014). Business Model Innovation in a Circular Economy Reasons for Non-Acceptance of Circular Business Models. *Open Journal of Business Model Innovation*.
- Richardson, A. E. (2006). Compressive strength of concrete with polypropylene fibre additions. *Structural Survey*, 24(2), 138-153. <https://doi.org/10.1108/02630800610666673>
- Smith, V. (2014). *Dynamics of Waste Accumulation: Disposal Versus Recycling*. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 86, No. 4 (Nov ., 1972), pp . 600-616. 86(4), 600–616.
- Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24–58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>
- Saavedra, Y. M. B., Iritani, D. R., Pavan, A. L. R., & Ometto, A. R. (2018). Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1514–1522. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.260>
- Santander, P., Cruz Sanchez, F. A., Boudaoud, H., & Camargo, M. (2020). Closed loop supply chain network for local and distributed plastic recycling for 3D printing: a MILP-based optimization approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 154(February 2019), 104531. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104531>
- Sauve, G., & Van Acker, K. (2020). The environmental impacts of municipal solid waste landfills in Europe: A life cycle assessment of proper reference cases to support decision making. *Journal of Environmental Management*, 261(January), 110216.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110216>

- Sandin, P. (1999). Dimensions of the Precautionary Principle. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 5(5), 889-907.
<https://doi.org/10.1080/10807039991289185>
- Shevchenko, T., & Kronenberg, J. (2020). Management of material and product circularity potential as an approach to operationalise circular economy. *Progress in Industrial Ecology*, 14(1), 30–57. <https://doi.org/10.1504/PIE.2020.105193>
- Stoker, W. P. (1995). Autoclave United States Patent (19). 19.
- Sunstein, C. R. (2003). Beyond the precautionary principle. En *University of Pennsylvania Law Review* (3.a ed., Vol. 151, pp. 1003-1058). *The University of Pennsylvania Law Review*.
<https://doi.org/10.2307/3312884>
- Taghipour, H., Mohammadyarei, T., Jafarabadi, M. A., & Hashemi, A. A. (2014). On-site or off-site treatment of medical waste: A challenge. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-68>
- Tata, A., & Beone, F. (1995). Hospital waste sterilization: A technical and economic comparison between radiation and microwaves treatments. *Radiation Physics and Chemistry*, 46(4-6 PART 2), 1153–1157. [https://doi.org/10.1016/0969-806X\(95\)00347-Z](https://doi.org/10.1016/0969-806X(95)00347-Z)
- Tsai, W. T., & Kuo, K. C. (2010). An analysis of power generation from municipal solid waste (MSW) incineration plants in Taiwan. *Energy*, 35(12), 4824–4830.
- Taylor, P., & Biocca, M. (2006). *Human and Ecological Risk Assessment: Risk Communication and the Precautionary Principle*. October 2014, 37–41.
<https://doi.org/10.1080/10807030590920097>
- Tsakona, M., Anagnostopoulou, E., & Gidarakos, E. (2007). Hospital waste management and toxicity evaluation: A case study. *Waste Management*, 27(7), 912–920.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.019>
- United Nations Environmental Protection Programme. (2007). *Guidelines on Best Available Techniques and provisional guidance on Best Environmental Practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutant*.

United Nations Environmental Protection Programme. (2012). *Compendium of Technologies for Treatment/Destruction of Healthcare Waste*. UNEP, Division of Technology, Industry and Economics, International Environmental Technology Centre, Osaka, 233 pp.

Vaccari, M., Tudor, T., & Vinti, G. (2019). Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview. *Waste Management*, 95, 416–431.

Wan, B., Chen, W., Lu, T., Liu, F., Jiang, Z., & Mao, M. (2017). Review of solid state recycling of aluminum chips. *Resources, Conservation and Recycling*, 125(September 2016), 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.004>

Wang, Z., Yao, Z. J., Zhou, J., & Zhang, Y. (2017). Reuse of waste cotton cloth for the extraction of cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 157, 945–952. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.044>

World Health Organization. (2019) *Overview of technologies for the treatment of infectious and sharp waste from health care facilities*, Geneva. Incineration and sterilization techniques and equipment.

Wilson, D. C., Velis, C., & Cheeseman, C. (2006). Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. *Habitat International*, 30(4), 797–808.

Zeller, V., Towa, E., Degrez, M., & Achten, W. M. J. (2019). Urban waste flows and their potential for a circular economy model at city-region level. *Waste Management*, 83, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.034>

Zhuo, C., & Levendis, Y. A. (2014). Upcycling waste plastics into carbon nanomaterials: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(4), 1–14. <https://doi.org/10.1002/app.39931>

Apéndices

1. Compras de EPP en el periodo marzo – junio 2020 por el sector hospitalario público nacional.

Tabla 8 – Acumulado de compras de EPP en el periodo marzo-junio 2020, reportado a través del sitio de Guatecompras.

		Acumulado								
		Gorros	Batas	Botas	Caretas	Guantes	Lentes	Mascarillas	Overol	Zapatones
marzo		195638	5040	6006	0	729910	13011	271182	6471	52371
		378276	9730	6012	0	1408620	24533	481139	11823	97371
		453200	49197	6462	0	2511428	33513	809795	35126	113082
abril		453700	56743	6462	400	2644128	34576	998605	35526	133282
		877416	104035	6489	4958	3444728	39891	3880739	36597	204982
		901916	147750	6489	6158	3769128	42191	4126154	36597	211282
		959916	177460	17082	10158	4182188	48271	4321306	42031	335882
mayo		1075516	194288	17882	13778	4580188	50451	5165298	50097	393932
		1117166	211088	18882	28467	4970388	62708	5901709	62244	414556
		1362886	225108	46692	40690	5703993	76708	6876672	75060	482606
		1377396	256978	68752	56241	6025442	79481	7220942	107338	541406
junio		1509196	307910	83752	61141	6165442	85089	7656434	120231	550006
		1557410	380598	83752	71691	6511642	85389	7889585	136436	555006
		1852630	406353	104647	74791	6760042	97229	8168781	148055	638363
		1924630	522499	104652	78480	7646004	98529	8579086	166011	671663
julio		2263701	657778	126652	79740	7730004	121029	9221823	189303	836063
		2407001	779245	156692	100918	9239699	150936	10384814	222576	1139163
		2677851	908955	293273	129644	10621199	170477	14009845	272028	1373723
		3123413	1232338	489423	133244	12541629	215727	17473212	315584	1614973

2. Preguntas de la Encuesta de Uso de Equipo de Protección Personal (ENUEPP)

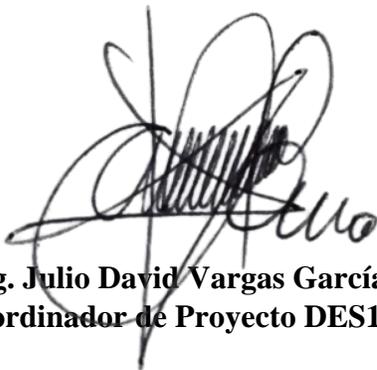
- 1) ¿Género?
- 2) ¿Departamento?
- 3) Durante la pandemia ¿Cuál de estos tipos de mascarillas ha utilizado? Y ¿Cuántas al mes?
- 4) ¿Qué tipo de usuario es usted?
- 5) ¿Utiliza careta facial?
- 6) Si su respuesta fue positiva, ¿Cuántas caretas faciales ha utilizado desde que comenzó la pandemia?
- 7) ¿Utiliza usted guantes?

- 8) Si su respuesta fue positiva, ¿qué tipo de guantes utiliza? y ¿cuántos pares de guantes utiliza al mes?
- 9) ¿Utiliza usted lentes de protección?
- 10) Si su respuesta fue positiva, ¿Cuántos lentes de protección ha utilizado desde que comenzó la pandemia?
- 11) ¿Cómo desecha los materiales generados por el equipo de protección personal que ya no utiliza?
- 12) ¿Desinfecta o lava usted su equipo de protección personal a manera de reutilizarlo?
- 13) ¿Sabe usted qué pasa con los materiales relacionados con sus equipos de protección personal después que hayan sido desechados?
- 14) Si la respuesta a la pregunta anterior fue sí, indique una opción



Figura 17 – Afiche usado para la divulgación y promoción de la encuesta.

Guatemala, 30 de septiembre de 2020



Ing. Julio David Vargas García
Coordinador de Proyecto DES12



VoBo. Nombre y firma Coordinador(a) de programa
Comisión convocatoria USAC frente al Covid 19
Área científico-tecnológica Inga. Liuba Cabrera de Villagran



Vo.Bo. Dr. Félix Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta propuesta fue financiada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la convocatoria extraordinaria USAC frente al Covid19 y fue aprobada por el Consejo Superior Universitario en punto sexto, Inciso 6.1, Acta No. 20-2020 del 20 de mayo de 2020.

Financiamiento aprobado por DIGI: Q.13,401.70. Financiamiento ejecutado: Q.13,319.90

Guatemala, 30 de septiembre del 2020

Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

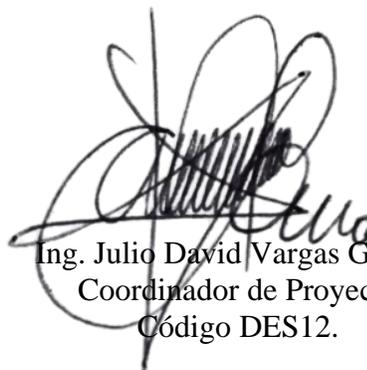
Señor Director:

Adjunto a la presente el informe final que corresponde al proyecto código DES12., coordinado por Ing. Julio David Vargas García, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación para la convocatoria extraordinaria USAC frente al Covid 19 y con base en la propuesta aprobada en el área correspondiente a: Área Científica Tecnológica.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”



Ing. Julio David Vargas García.
Coordinador de Proyecto
Código DES12.