

Identificación de la Correcta Disposición de Desperdicios Generados por COVID-19 en Colombia aplicando Systemic Design¹

Joan Paola Cruz González², Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez³, Sarah Martínez Caicedo⁴,
Laura Alejandra Galvis Sabogal⁵, Juan Sebastián Gómez Acevedo⁶

Resumen

Introducción: la pandemia generada por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19) ha representado un aumento significativo en el uso de los tapabocas desechables a nivel mundial; particularmente en Colombia se ha evidenciado el desconocimiento acerca de la disposición que se debe realizar a estos residuos, este se ve reflejado en altas tasas de contaminación. **Objetivo:** proponer una guía metodológica que permita mejorar los ciclos de disposición de los tapabocas

desechables, involucrando a los stakeholders y aplicando la metodología Systemic Design. **Materiales y métodos:** la metodología empleada comprendió la recolección de datos por medio de una encuesta Kano aplicada en diferentes departamentos de Colombia. Se llevaron a cabo entrevistas remotas a expertos en el área de gestión de los residuos. A partir de estas actividades, se logró identificar los diferentes métodos de disposición utilizados en Colombia. **Resultados:** una guía metodológica

- 1 Artículo original breve derivado del proyecto de investigación Desarrollo de una Metodología Fundamentada en Systemic Design para la Generación de una Guía Metodológica con Aplicación a la Correcta Gestión de los Tapabocas Desechables. Ejecutado entre septiembre de 2020 y julio de 2021. Grupo de investigación: CIMSER Financiado por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- 2 Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, Ingeniera Industrial, Universidad de los Andes, docente-investigador y miembro del grupo CIMSER de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
Correo: joan.cruz@escuelaing.edu.co / ORCID: 0000-0002-5343-9055
- 3 Estudiante de PhD Management, production and design, Politecnico di Torino, Master of Science in Mechatronics Engineering, Politecnico di Torino, Second level Master in Industrial Automation Qualification, Politecnico di Torino, Ingeniera Electrónica, Pontificia Universidad Javeriana, docente-investigador del Politecnico di Torino.
Correo: ivonne.castiblanco@polito.it / ORCID: 0000-0001-5866-078X
- 4 Candidata a grado de Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
Correo: sarah.martinez@mail.escuelaing.edu.co / ORCID 0000-0002-3637-4720
- 5 Candidata a grado de Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
Correo: laura.galvis-s@mail.escuelaing.edu.co / ORCID 0000-0001-8036-1014
- 6 Master of Science in engineering and management with emphasis on computer science, Politecnico di Torino, Industrial engineer with emphasis on optimization and operations management, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
Correo: s261410@studenti.polito.it / ORCID 0000-0002-2749-8350

Autor para Correspondencia: Joan Paola Cruz González, e-mail: joan.cruz@escuelaing.edu.co
Recibido: 17/11/2022 Aceptado: 05/12/2022

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

que permite la correcta disposición de los tapabocas, con base a lo obtenido con la aplicación de las fases de Systemic Design, y la construcción del gráfico circular que permite retornar los desechos al sistema. **Conclusiones:** la investigación permitió identificar que la correcta disposición de los

tapabocas no depende exclusivamente de la concientización de las comunidades, sino, también del compromiso de las industrias involucradas; esperamos que este estudio sirva de utilidad para futuras investigaciones.

Palabras clave: Gestión de residuos, sistemas circulares, Systemic design.

Identification of the Correct Disposal of the Waste Generated by COVID-19 in Colombia Applying Systemic Design

Abstract

Introduction: the pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus (COVID-19) has represented a significant increase in the use of disposable masks worldwide; particularly in Colombia, it has been evident that there is no knowledge about the disposal of these residues, this is reflected in high pollution rates. **Objective:** to propose a methodological guide to improve the disposal cycles of disposable masks, involving stakeholders and applying the Systemic Design methodology. **Materials and methods:** the methodology used included the collection of data through a Kano survey applied in different departments of Colombia.

Remote interviews were conducted with experts in waste management. From these activities, it was possible to identify the different disposal methods used in Colombia. **Results:** a methodological guide that allows the correct arrangement of the masks, based on what was obtained with the application of the phases of Systemic Design, and the construction of the circular graphic that allows waste to return to the system. **Conclusions:** the research made it possible to identify that the correct disposition of the masks does not depend exclusively on the awareness of the communities, but also on the commitment of the industries involved; we hope that this study will be useful for future research.

Keywords: Waste management, circular systems, Systemic design.

Identificação da Destinação Correta dos Resíduos Gerados por COVID-19 na Colômbia Aplicando Desenho Sistêmico

Resumo

Introdução: a pandemia gerada pelo vírus SARS-CoV-2 (COVID-19) representou

um aumento significativo no uso de máscaras descartáveis em todo o mundo; Particularmente na Colômbia, ficou comprovado o desconhecimento sobre a destinação que se deve fazer desses resíduos, o que se reflete em altos índices de poluição. **Objetivo:** propor um guia metodológico para melhorar os ciclos de disposição de

máscaras descartáveis, envolvendo as partes interessadas e aplicando a metodologia de Design Sistemico. **Materiais e métodos:** a metodologia utilizada incluiu a coleta de dados por meio de uma pesquisa Kano aplicada em diferentes departamentos da Colômbia. Foram realizadas entrevistas remotas com especialistas da área de gestão de resíduos. A partir dessas atividades, foi possível identificar os diferentes métodos de disposição usados na Colômbia. **Resultados:** um Roteiro metodológico que permite a correta disposição das máscaras faciais,

com base no que foi obtido com a aplicação das fases de Systemic Design, e a construção do gráfico circular que permite a devolução dos resíduos ao sistema. **Conclusões:** a pesquisa permitiu identificar que a maneira correta de descartar as máscaras faciais não depende exclusivamente da consciência das comunidades, mas também do comprometimento das indústrias envolvidas; desejamos que este estudo seja útil para pesquisas futuras.

Palavras-chave: Gestão de resíduos, sistemas circulares, projeto sistemico.

Introducción

El aumento exponencial de la población y la falta de conciencia en los efectos del consumismo ha desencadenado en las últimas décadas un incremento en los desechos a los cuales no se les ha dado una buena disposición (Andersson et al., 2019). Debido a esto los tratamientos para la disposición de residuos han ido evolucionando para generar cada vez menor impacto ya que anteriormente se disponía de ellos en rellenos sanitarios, en la actualidad existe una gran variedad de métodos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se está produciendo una mayor cantidad y variedad de materiales en todo el mundo para satisfacer la demanda. Para productos de consumo, edificios e infraestructura, además, diversos productos se han vuelto materialmente complejos y de difícil disposición final. Según Andersson et al. (2019), la mala disposición de los desechos tiene impactos negativos tanto en el ambiente como en la salud de

los seres vivos, esto se evidencia a nivel mundial, tanto en países subdesarrollados como países desarrollados.

A principios de 2020 se desató una pandemia a nivel mundial por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19), lo cual llevó a implementar protocolos de bioseguridad para disminuir la expansión y la mortalidad en la población vulnerable, incluyendo tapabocas que en su mayoría están fabricados de polímeros que no son biodegradables, por lo tanto, su descomposición en medios terrestres como marítimos puede durar milenios, afectando también la calidad del aire (Jiménez, 2019).

Actualmente, en Colombia se cuenta con el código de colores unificado que determina 3 colores para la disposición de los residuos, los desechos peligrosos, entre ellos, los generados por el tratamiento y retención del COVID-19 serán depositados en la bolsa negra; sin embargo, hasta inicios del 2021 empezó a regir este código, lo que quiere decir que, durante los 10 meses anteriores de

pandemia y desecho de estos implementos, no se tenía clara la regla y la disposición adecuada de los mismos. Se estima que la producción de tapabocas en Colombia se encuentra en diez millones (10.000.000) de unidades y la producción de guantes entre látex y vinilo en cuarenta y dos millones quinientos mil (42.500.000) unidades (Redacción Medioambiente, 2020).

Anualmente en Colombia se generan en promedio doce millones (12.000.000) de toneladas de residuos sólidos, de los cuales solo el 17 % son reciclados. Se considera que entre el 60 % y el 70 % de los residuos sólidos del país pueden tratarse mediante compostaje, lo cual es útil para los hogares, pues se estima que el 40 % de la basura que se genera cada día es orgánica (Asmar, 2020).

Para el 2019, el departamento de Cundinamarca (COL) presentaba una alta dependencia de rellenos sanitarios para la disposición final de los residuos sólidos, por lo que se estableció como objetivo primordial para las administraciones municipales incrementar el aprovechamiento de los residuos, incorporando materiales a su ciclo productivo o aplicándolos para la generación de energía (Contraloría de Cundinamarca, 2019).

A partir del Decreto 838 – 2005 en el que se especifica el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) según la Alcaldía mayor de Bogotá DC (COL), a nivel nacional la disposición de residuos se realiza por medio de los métodos de incineración y de rellenos sanitarios (Decreto 838 de 2005 Nivel Nacional, 2005).

Montes (2019), especifica las formas de disposición descritas por la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD) como adecuadas e inadecuadas, en donde las adecuadas son los rellenos sanitarios y las celdas de contingencia, y en las inadecuadas son las disposiciones en botaderos a cielo abiertos o en cuerpos de agua y mediante enterramientos o quemas. La Contraloría de Cundinamarca (COL) (2019), menciona que “la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios es la técnica menos eficiente en la gestión integral de los residuos sólidos, su alto costo ambiental y social la hacen insostenible en el corto plazo, adicional al manejo inadecuado que en algunos lugares dan a los residuos”.

Debido a la pandemia se ha generado un aumento en los residuos peligrosos de hasta el 30 % en la atención a la salud (Hospital Universitario San Ignacio, 2020), anteriormente se generaban desechos sanitarios que se componen 85 % en desechos comunes y 15 % en desechos peligrosos que pueden ser tóxicos, infecciosos o radioactivos (OMS, 2018), por lo que requieren un tratamiento especial para su disposición final y así reducir los impactos a la salud y al medio ambiente; sin embargo, los residuos del COVID-19 no tienen una separación distinta, y en los hogares, se pide eliminar junto con desechos no aprovechables, lo que implica que terminarán en rellenos sanitarios o en incineradores si provienen de centros de salud. La composición de los residuos puede influir directamente en el comportamiento medioambiental de las soluciones generadas para la gestión de residuos (Bisinella et al., 2017), por lo que

es necesario entender cómo se clasifican y se disponen los residuos actualmente.

Clasificación de los desechos.

Según Díaz y Pinto (2019), los desechos o residuos se consideran peligrosos cuando cuentan con características intrínsecas que los hacen capaces de causar corrosión, reacción, explosión, toxicidad, incendios o enfermedades infecciosas, lo cual se convierte en un riesgo al ser propagado al medio ambiente, alterando la calidad del aire, suelo y agua, y del mismo modo puede causar daño a la salud humana. Estos residuos presentan la siguiente clasificación: residuos infecciosos o de riesgo biológico, radioactivos y químicos.

Los residuos infecciosos o de riesgo biológico, de interés para este estudio, se refieren a los aquellos que contienen microorganismos patógenos como bacterias, parásitos, virus, hongos, virus cancerígenos y recombinantes como toxinas, que pueden producir enfermedades infecciosas en huéspedes susceptibles. Estos residuos, también tienen una clasificación: biosanitaria, anatomopatológicos, objetos punzantes y animales. De estos se destaca la biosanitaria, la cual se refiere a los residuos generados por la ejecución de procedimientos de atención médica en contacto con materia orgánica de pacientes humanos o animales, sangre o fluidos corporales.

Métodos de disposición.

Teniendo en cuenta los riesgos y la variedad de los desechos, es necesario darles una correcta disposición para minimizar

el impacto sobre el medio ambiente y la salud humana, para esto, diversas fuentes determinan los métodos más comunes para la disposición de residuos peligrosos. Xiaofang et al. (2018), definen algunos de los métodos más utilizados para la disposición de desechos peligrosos: (a) *Incineración por horno rotatorio*, este método consiste en un horno rotatorio que por medio de altas temperaturas y la combustión convierte los residuos en cenizas, se puede aplicar a todo tipo de desechos para disminuir su volumen aunque genera alto grado de contaminación; (b) *Esterilización por microondas*, el método se refiere a la inactivación de bacterias infecciosas por el calor generado de la vibración de microondas de las moléculas de agua logrando la desinfección de los objetos; (c) *Desinfección química*, los desinfectantes químicos se caracterizan por su baja concentración efectiva, acción rápida, desempeño estable y amplio espectro de esterilización (Wang et al., 2020); (d) *Pirólisis*, la pirólisis es una tecnología de reacción termoquímica. Esta tecnología es adecuada para todo tipo de desechos médicos, pero debido a los requisitos de operación y mantenimiento del método el costo es mayor; (e) *Esterilización por vapor*, este método aplica altas temperaturas al agua para que el vapor generado elimine los microorganismos y desinfecte los residuos (Muñoz González et al., 2019).

Para analizar y mejorar las condiciones del sistema anteriormente presentado, se hace indispensable utilizar un método que permita que este sistema lineal se vuelva circular, integrando los factores que influyen, comprendiendo la situación actual,

e implementando una alternativa para el uso de todos sus recursos sin desperdiciar ninguna de las salidas; el método adecuado para esto es Systemic Design (SD).

El SD está enfocado en el diseño ecológico y la sostenibilidad de los procesos, y según Luthe (2020) “es la creatividad basada en la ciencia que se ocupa de la complejidad para avanzar en los caminos hacia los sistemas regenerativos. SD es investigación por diseño y diseño informado por la ciencia teniendo la capacidad de crear sistemas circulares que restauran, renuevan o revitalizan sus propias fuentes de existencia, de energía y materiales, aprendiendo de los ecosistemas naturales para crear sociedades resilientes en integridad con la naturaleza”.

Para el desarrollo del presente artículo se busca realizar un análisis contextual del problema para lo cual se tendrán como base los pasos propuestos por Barbero (2017) en donde se evidencia una parte práctica y una parte analítica, tomando únicamente la parte de análisis y aplicando los tres primeros pasos en el contexto colombiano, logrando así que este estudio sea el input para una correcta implementación futura basada en la sostenibilidad; adicionalmente, se tendrán en cuenta los pasos para implementar SD planteados en la guía Follow the Rabbit y por la fundación Ellen MacArthur, como un soporte para el desarrollo de un mejor estudio.

Materiales y Métodos

Systemic Design permite cambiar la mentalidad para que se actúe de manera diferente, administrando los recursos y

mejorando los procesos de producción continuamente. La metodología se desarrolla a partir de 5 líneas base: las salidas de un proceso son las entradas de otro; las relaciones son las creadoras de los sistemas; los procesos deben mantenerse a sí mismos; tener en cuenta los aspectos locales (humanos, culturales, materiales); tener un pensamiento antropocéntrico (ser humano centro de estudio) (Battistoni et al., 2019). Teniendo en cuenta lo planteado por Barbero (2017), el enfoque de SD consta de cinco pasos principales que permiten su aplicación por medio de una ruta iterativa en la que constantemente se verifica su desarrollo según los comentarios obtenidos. Para este estudio se aplicarán la Fase 1 a la Fase 3:

- Fase 1: desarrollar el estudio de los componentes que definen el escenario (*Holistic Diagnosis*). Inicialmente se debe recopilar toda la información útil sobre los aspectos económicos, sociales y medioambientales para obtener un análisis completo del sistema. Una vez recopilados, se analizan las conexiones e influencias entre ellos para evaluar adecuadamente los problemas que deben abordarse. El diagnóstico holístico permite identificar las potencialidades no expresadas de un territorio mirándolo desde una perspectiva diferente, no solo considerando el aspecto económico, sino también, teniendo en cuenta la cultura material, la historia local, los conocimientos tradicionales, los recursos locales y las características del entorno para comprender qué conexiones se pueden crear entre procesos para asegurar un desarrollo sostenible a largo plazo.

- Fase 2: definir las mejores prácticas en diferentes contextos y los problemas junto al diagnóstico holístico. Se realiza una investigación sobre las mejores prácticas que el proyecto podría abordar. Esta actividad tiene como objetivo identificar buenas prácticas de las que es posible aprender y transferir elementos relevantes. Adicionalmente, para identificar los principales problemas que deben abordarse y las conexiones entre ellos, los problemas deben ser considerados como instrumentos de cambio a partir de los cuales se puede definir e iniciar el proyecto.

- Fase 3: creación de soluciones, este paso se refiere a la fase de diseño real, es decir, cuando se proporciona una solución al problema identificado. La solución se origina en el conocimiento adquirido a través de los pasos anteriores aplicando un enfoque de pensamiento de diseño. La solución sugerida se somete a un proceso de verificación y validación antes de ser implementada para prever posibles resultados. Las conexiones generadas en este nuevo sistema pueden ofrecer nuevas posibilidades para los actores involucrados, creando valor a nivel local.

Se considerará esta guía como base principal teniendo en cuenta su implementación por Pereno (2017), en donde se evidencia como caso de éxito el análisis integral de los elementos del sistema que influyen en los tratamientos médicos de unidades de diálisis en tres hospitales diferentes en los países de Italia, Suecia y Dinamarca.

Para la implementación de la Fase 3 y el cumplimiento de los objetivos del mismo en la metodología de Barbero, se tomarán

en cuenta los cuatro primeros pasos de los siete planteados en la metodología de SD propuesta por Van Ael et al. (2018), esto permite conocer y analizar el sistema de manera global para la generación de una guía en donde se contemple la transformación del sistema de forma lineal a una forma circular, que permitirá la reducción de los impactos negativos ambiental y socialmente, los cuatro pasos se mencionan a continuación:

1. Contextualizar el sistema: entender la situación actual del sistema mapeando las técnicas y prácticas usadas actualmente.
2. Escuchar el sistema: entender las relaciones entre el sistema y el talento humano, es imprescindible escuchar las ideas y experiencias; se logran extraer las variables que influyen en el sistema.
3. Entender el sistema: comprender las interrelaciones y estructura del sistema, descubrir puntos de oportunidad.
4. Definir el futuro deseado: creación de valor, alinear los objetivos de los empleados con los objetivos organizacionales y ampliar la aspiración de las partes interesadas en el proceso.

Adicionalmente, para complementar el desarrollo de la Fase 3, generación de soluciones, de la metodología de Barbero y los cuatro pasos de la metodología de Van Ael et al., se aplicarán algunas de las herramientas planteadas en la guía para la metodología SD llamada Follow the Rabbit

que se realizó en una unidad de investigación de la universidad de Alberta, compuesta por las siguientes actividades: Observar, Enmarcar las ideas, Implementar y Adaptar.

Las herramientas planteadas en la guía anterior que se aplicarán son world café y dotmocracy, en donde se realizará la recolección de ideas desde diferentes puntos de vista, incluyendo la de expertos, en un corto periodo de tiempo; las cuales se deben encaminar hacia las prioridades del grupo de discusión para facilitar la toma de decisiones. Adicionalmente, se aplicará la herramienta causal loop diagram con ayuda de expertos para evaluar de forma detallada los factores relevantes dentro de la dinámica del sistema

en su fase de eliminación para identificar los puntos de intervención y mejora en el sistema evaluando su estructura, lo que finalmente permitirá obtener la guía que definirá el sistema circular.

Partiendo de lo mencionado anteriormente, para desarrollar una solución aplicada en la tercera fase de la metodología de Barbero, se considera la aplicación de un enfoque de pensamiento de diseño y se implementan los cuatro pasos de SD propuestos por Van Ael et al. (2018), y la aplicación de las diferentes herramientas incluyendo las de Follow the Rabbit, con el fin de obtener la guía metodológica. En la Tabla 1 se muestra la metodología propuesta:

Tabla 1. Metodología propuesta para la Fase 3.

Pasos de SD	Método Propuesto SD	Herramientas
Contextualizar el sistema	Identificación de la disposición final de los tapabocas	Encuesta Kano
Escuchar el sistema	Selección del método de recolección	World café, Dotmocracy
Entender el sistema	Comprobación del método de disposición final	Causal Loop Diagram
Definir el modelo e implementación	Establecer la guía para la correcta disposición de tapabocas en Colombia	Revisión de la literatura, síntesis de herramientas.

Fuente: Elaborada por el autor.

Resultados

Descritas las fases anteriores que se basan en el análisis y no en la practicidad, se relacionan los resultados obtenidos.

Fase 1–diagnóstico holístico. Basándonos en el ciclo de vida de los tapabocas en el contexto colombiano, en donde se inicia a partir de la extracción de la materia prima y

finaliza en la disposición del producto final; se muestra en la Figura 1, el contexto actual que refleja un comportamiento lineal, esto indica que una vez que el producto cumple su vida útil, es desechado y ninguna de sus partes retorna a su ciclo. Existen diferentes sectores involucrados en el uso continuo del tapabocas, dentro de los que más resaltan se encuentran la industria de alimentos,

metalmecánica, sector salud, sector de seguridad, limpieza, construcción, transporte y manufactura. Adicionalmente, se evidencia la carencia de iniciativa del gobierno para impulsar campañas o nuevas tecnologías que permitan aprovechar de mejor manera los recursos impactando directamente en el cuidado del medio ambiente y la salud

(Semana, 2020). Teniendo en cuenta los flujos existentes dentro del ciclo de vida de los tapabocas, los cuales son de energía, de materiales y de emisiones, se deben analizar cada una de las actividades de todos los componentes involucrados para identificar las entradas y las salidas del sistema.

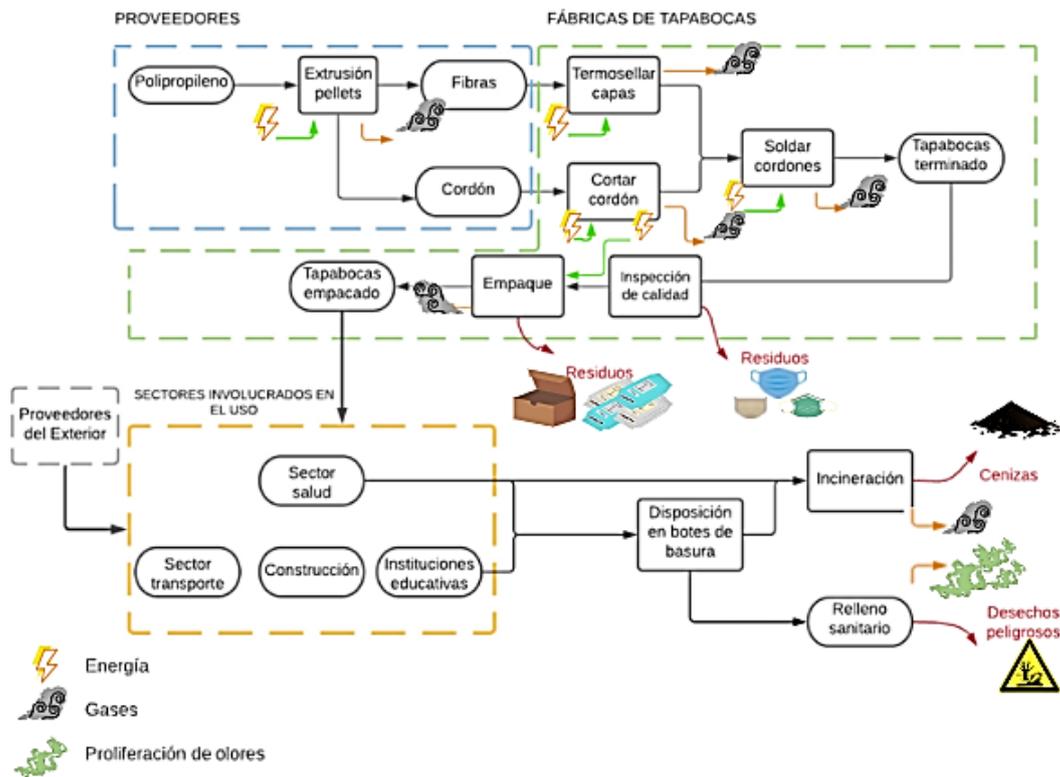


Figura 1. Gráfico lineal de los tapabocas desechables.

Fuente: Elaborada por el autor.

Dentro de las actividades que se desarrollan en el sistema, se emplea energía eléctrica que en algunos casos se transforma en energía térmica. En el componente de Proveedores, se utiliza como materia prima, pellets de polipropileno, donde se

realiza el proceso de extrusión y formado de la tela tanto para las fibras como para el cordón, aprovechando todo el material que ingresa a los procesos. Por otro lado, en las actividades que se desarrollan en las Fábricas de Tapabocas, se emplea fibra y cordón, en

donde las capas de fibra pasan por una serie de rodillos que le dan la forma de tapabocas para su posterior corte, en otra máquina se dispone el cordón para ensamblarlo a la fibra anteriormente procesada por un proceso de termosellado con soldadura por placa caliente, obteniendo así el tapabocas, dentro de estas actividades se aprovecha completamente el material, pero se generan emisiones de gases al medio ambiente; posterior a su producción, el tapabocas pasa por una inspección de calidad y un proceso de empaquetado para obtener el producto final en los cuales se generan dos tipos de desperdicio, tapabocas que no superen la prueba de calidad y empaques en mal estado. Continuando con el ciclo de vida del tapabocas, en la etapa de uso a pesar de no requerir energía, se genera el desperdicio de tapabocas usados, los cuales son depositados en botes de basura que, de acuerdo con su recolección, se disponen en rellenos sanitarios o incineradores, ocasionando respectivamente desechos peligrosos y cenizas que, a su vez, influyen en la contaminación al aire, al suelo y al recurso hídrico.

Cabe resaltar que los tapabocas usados en Colombia, no corresponden únicamente a los producidos nacionalmente en el país, según el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) al 5 de marzo de 2020 los registros sanitarios de tapabocas importados equivalen al 85% de la cifra total de registros en donde 6.055.250 unidades corresponden a los distribuidores de proveedores del exterior y 3.337.185 unidades de proveedores nacionales, para una cifra total de 9.392.435 unidades en

stock (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, 2020). Luego de revisar el proceso detalladamente con enfoque en la fase de disposición, se evidencian la contaminación generada por estos productos desechables y los impactos en el ámbito ambiental, social y económico; ambientalmente se observa que un gran porcentaje de estos termoplásticos terminan en los botes de basura para el proceso de degradación que tarda entre 20 y 30 años en descomponerse por completo en un relleno sanitario. El relleno sanitario afecta socialmente a las poblaciones que se encuentran en sus alrededores debido a que los fuertes olores y generación de insectos portadores de afecciones a la salud obligan el cambio en sus hábitos y rutinas para mantener los ambientes limpios y un buen estado de salud; adicionalmente, el porcentaje restante que no ingresa a rellenos sanitarios se divide en dos, aquellos que van a los océanos y otros ecosistemas, y los que se incineran generando gases contaminantes que se mencionan en la sección de métodos de disposición, incineración por horno rotatorio. Finalmente, el aspecto económico se ha visto afectado positivamente no solo por la producción continua de tapabocas desechables y los de múltiples usos, sino en la creación de empresas y cambios en las líneas de producción que ayudan a disminuir el desempleo y las crisis económicas, además de beneficiar el desarrollo del país (Escobar Mateus & Calderón Díaz, 2021).

Fase 2—definición de mejores prácticas en diferentes contextos y los problemas. Según la OMS (2018), la incineración es una práctica tradicional reconocida a nivel mundial que

solo puede realizarse en cierto tipo de residuos, debido a que algunos materiales y sustancias, al ser incineradas, pueden liberar gases como dioxinas y furanos o metales tóxicos, que tienen un impacto negativo no sólo en el medio ambiente sino en la salud del ser humano.

Para evidenciar las mejores prácticas en la disposición final de los residuos se exponen dos casos de éxito en países líderes en el tratamiento de desechos, en donde se aplican políticas cuyo objetivo principal es la reducción de la producción de residuos y del uso consciente de materiales ecológicos para mantener el ciclo cerrado de la economía circular. El primer caso se trata de Alemania, en donde se utiliza una estrategia de cinco pasos, iniciando con la prevención de la generación residuos, siguiendo con la preparación para la reutilización y de no ser posible, el siguiente paso considera el reciclaje, eventualmente, se procede con otras operaciones de recuperación, en particular recuperación de energía, finalmente la eliminación. Gracias a esto en 2017 el 47 % de las plantas de tratamiento de residuos permitían la recuperación de energía por medio de la incineración, el 22 % incineraban los residuos sin obtener energía y el 31 % restante trataban los residuos a través de un proceso biomecánico para su posterior disposición en un relleno sanitario (Segura et al., 2020). El segundo ejemplo es Noruega en donde se promueve la producción y el consumo sostenible de todo tipo de productos, incentivando el crecimiento económico sin generar un aumento en la formación de residuos, aprovechando los plásticos por medio del reciclaje y la

recuperación de energía, y gestionando de manera adecuada los residuos peligrosos.

En comparación con los países mencionados anteriormente, América Latina manifiesta cifras alarmantes en el tratamiento de residuos puesto que el 52 % de estos se disponen en rellenos sanitarios, mientras que el uso de este método en los otros países es de 0,9 % en promedio (Segura et al., 2020).

Fase 3—creación de soluciones. Para la fase de creación de soluciones que disminuyan los impactos de los métodos de disposición de residuos peligrosos actuales, se aplicará la metodología propuesta de la Tabla 1.

Contextualizar el sistema: la primera etapa de la guía para la disposición de residuos relacionados con el virus COVID-19 se enfoca en identificar la problemática consecuencia del manejo de plásticos de un solo uso, para esto se identificó que la encuesta Kano es más adecuada para este tipo de investigación y a partir de su análisis se puede llegar a la identificación de la disposición final de los tapabocas, que son el centro de estudio de la guía.

A partir de esto, se evidencian tres tipos de requerimientos que se encuentran dentro del eje X (Logro) y el eje Y (Satisfacción), los cuales van desde la disfuncionalidad hasta la funcionalidad del producto o servicio, y desde la insatisfacción hasta la satisfacción del usuario, respectivamente (Muñoz González et al., 2019). El requerimiento “atractivo”, que se refiere a requerimientos que el usuario no espera, por lo que, si se cumplen, se llega a una satisfacción más proporcional, mientras que, si no se cumple no genera insatisfacción. El requerimiento

“unidimensional”, que hace referencia a los requerimientos cuyo cumplimiento influye directamente proporcional a la satisfacción del usuario, en este caso, los requisitos suelen ser exigidos explícitamente por los usuarios, y el requerimiento “debe tenerlo”, referido a aquellos que el usuario asume que el producto o servicio debe tener, por lo que, si se incumple, el usuario estará totalmente insatisfecho, por otro lado, si se cumple, no aumentará la satisfacción.

Teniendo en cuenta lo anterior, se desarrolla la encuesta, la cual se divide en dos partes, una parte de segmentación y otra parte que emplea el método Kano, con el fin de que los datos se puedan clasificar para su posterior análisis y comprensión. La encuesta se encuentra en el Anexo

1. El proceso de análisis de datos de la encuesta en la sección de Kano se realiza aplicando la escala Likert que consiste en una asignación de valores numéricos a las categorías de respuesta y una asignación positiva o negativa a las preguntas, todo esto según el criterio de los evaluadores. Se considera una pregunta positiva a aquella que brinda beneficios al estudio, de esta forma, la asignación del mayor valor numérico a la respuesta es aquella que apoya a la afirmación, por el contrario, el menor valor a la que desaprueba la afirmación; por otro lado, la pregunta negativa es aquella que no favorece al estudio, en donde, al contrario que en la pregunta positiva, cuando la respuesta apoya a la afirmación se le da el menor valor numérico y cuando la desaprueba, se le asigna el mayor valor. A pesar de que la tendencia de las encuestas Kano es la aplicación de preguntas funcionales y disfuncionales, no se

hizo uso de la parte negativa de las preguntas (disfuncionales) ya que los resultados obtenidos no son relevantes para el estudio; finalmente para poder analizar los datos de manera correcta, se aplicaron preguntas de segmentación que incluyen edad, género, departamento de residencia, entre otras (ver Anexo 2 para resultados de la encuesta).

Con el fin de determinar el número de muestra se utilizó la técnica de muestreo de bola de nieve que se basa en la difusión de la encuesta a través de las redes de contacto y determina la cantidad de muestras a partir del punto de saturación, este se refiere a la etapa de recolección de datos en donde no se encuentra suficiente información nueva para analizar los resultados (Kumar, 2011). Luego de realizar la encuesta a 91 personas y teniendo en cuenta que solamente 80 resultados son favorables para el estudio debido a que este se centra en personas que viven actualmente en Colombia y de estas las que utilizan tapabocas desechables, se obtuvieron los siguientes resultados: el 67,5 % de los encuestados, sin distinción de género y edad, utilizan tapabocas desechables más de una vez por semana, y el 68,75 % lo cambia después de un día, esto se traduce a un mínimo de 24 tapabocas desechados al día; el porcentaje de mujeres encuestadas, corresponde al 69,14 %, del total de los encuestados, a su vez el 29,63 % corresponde a hombres y el 1,23 % corresponde a personas que no se identificaron como hombre o mujer; adicionalmente, el 91,36 % de los encuestados se encuentran en los departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca. El 16,05 % de los encuestados tienen menos de 20 años y el 91 % de estos

utilizan el tapabocas más de dos veces por semana, el 69,23 % lo cambian después de un día; para la población que se encuentra entre los 20 y los 36 años, que corresponden al 58,02 % del total de los encuestados, el 43,49 % de estas lo utilizan más de tres veces por semana y el 30,43 % lo utiliza solamente una vez por semana, cambiándolo después de un día el 72,09 % de esta población; por último, aquellos que tienen más de 50 años, corresponden al 23,46 % del total de la muestra, en donde el 42,10 % de estos, hacen uso de los tapabocas más de tres veces por semana y el 36,84 % solamente lo usa una vez a la semana, además el 57,89 % lo cambia después de un día y el 36,89 % cada 8 horas. Considerando que la correcta disposición de los tapabocas se realiza en las canecas de color negro y rojo, solo el 53,75 % de los encuestados, dispone de los tapabocas utilizados de manera correcta, así mismo, el 56,52 % de los hombres y el 51,78 % de las mujeres, disponen correctamente de los tapabocas desechables.

Para las preguntas positivas como la disposición especial de los residuos peligrosos y el uso de estos para la generación de energía, se obtuvieron los puntajes más altos para las respuestas positivas, lo que refleja que los encuestados tienen una actitud positiva con este tema, lo que quiere decir que están de acuerdo con que la afirmación se lleve a cabo, así mismo, las preguntas negativas, como la construcción de un relleno sanitario o una planta de incineración, tienen un puntaje alto en la respuesta negativa, lo cual indica que están en desacuerdo con que se lleven a cabo estas afirmaciones.

Escuchar el sistema: para desarrollar esta segunda etapa, se empleó la herramienta World Café con la participación de expertos en la temática del manejo de las basuras, un ingeniero y un administrador ambientales. A partir de la consolidación de las respuestas a las diez preguntas que se hicieron (ver Anexo 3), se concluyó que el factor que mayor impacto positivo generaría para brindar una disposición adecuada a los desechos, es generar una cultura de cambio que le permita a cada individuo reconocer las necesidades del entorno y que desarrolle la capacidad de realizar la correcta separación de los residuos; adicionalmente, las campañas enfocadas a la educación, tienen que estar guiadas por las entidades e instituciones involucradas en el ambiente y salud, teniendo en cuenta también que la reglamentación y obligación de las normas ambientales tiene que ser de estricto cumplimiento tanto para los sectores públicos como privados.

Luego de considerar y agrupar las respuestas se procedió a realizar la actividad Dotmocracy en un nuevo encuentro con la participación de los expertos en la que se presentaron ocho aspectos para la toma de decisiones acerca de la recolección de los tapabocas. Con base en los ocho aspectos evaluados y en las decisiones tomadas por los participantes de la actividad, se definió que los métodos de recolección deben ser mejorados para que el impacto ambiental y en la salud se reduzca, esto a través del compromiso de las instituciones ambientales y de salud, y la educación no solo a cada uno de los individuos sino también a las empresas fabricantes a través de campañas

y el cumplimiento de la reglamentación para que la recolección se realice desde la fuente.

Entender el sistema: partiendo del análisis de los resultados obtenidos en la encuesta y la aplicación de las herramientas mencionadas en el paso anterior, en esta tercera etapa se emplea Causal Loop Diagram, una herramienta que permite corroborar la conclusión obtenida de la revisión de la literatura con la ayuda del grupo de expertos,

puesto que se profundiza en diferentes aspectos de la problemática, identificando los puntos en los que se pueden tomar acciones de mejora. Durante el desarrollo de esta etapa se concluyó la revisión de la literatura y se llevó a cabo la última actividad propuesta de manera remota, conocida como Causal Loop Diagram con la participación de los expertos (ver Figura 2).

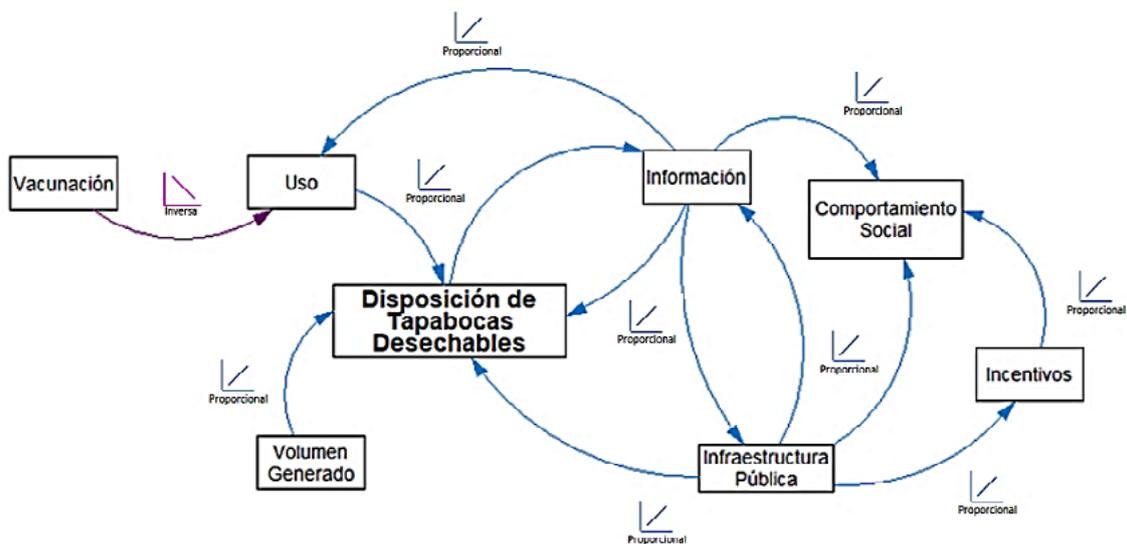


Figura 2. Causal Loop Diagram.

Fuente: Elaborada por el autor.

Como variable principal, se definió la disposición de tapabocas desechables y a partir de esta se realizó una lluvia de ideas de los factores que influyen en esta variable, así como las relaciones de dependencia entre estos. Las flechas azules indican la proporcionalidad entre los factores, mientras que la flecha morada representa la desproporcionalidad entre los factores; es decir, a medida que el uso de los tapabocas

aumenta, la disposición de los mismo también lo hace, sin embargo, en la medida en que la vacunación aumenta, el uso de tapabocas disminuye. Cabe aclarar que el contexto de este diagrama se presenta frente a la pandemia por COVID-19.

Conforme a Manupati et al. (2020), al realizar el estudio de Fuzzy Vikor en el cual se evalúan los factores sociales, económicos,

técnicos y ambientales para diferentes técnicas de disposición de residuos que permiten el tratamiento efectivo de los desperdicios médicos, durante y después de la era del COVID-19, se obtuvo como resultado que las mejores alternativas para esto son la incineración y la steam sterilization, la principal razón de que una de ellas sea la incineración es porque esta técnica ha sido empleada durante muchos años, sin embargo, en el factor ambiental no refleja impacto positivo debido a su gran contaminación, por esto, steam sterilization es la mejor alternativa de disposición de residuos a pesar de su costo de inversión pues en los factores social, técnico y ambiental refleja un resultado positivo. Teniendo en cuenta los métodos de eliminación de residuos expuestos y considerando los reportes de la OMS el mejor método es Steam Sterilization y será el que se aplicará en la siguiente etapa.

Definir el modelo e implementación: en la cuarta y última etapa de la metodología realiza un análisis de la consolidación de los resultados de los pasos anteriores, desarrollando una guía para la implementación de un nuevo modelo que permita obtener un sistema circular por medio del aprovechamiento de las salidas del sistema lineal. Considerando las problemáticas y los stakeholders mencionados a lo largo del artículo, se plantea el nuevo modelo del sistema en el que se enfatiza en la economía circular en donde se logran aprovechar las salidas del sistema, para que estas vuelvan al ciclo en forma de energía, como se observa en la Figura 3.

Discusión

Los resultados de la presente investigación muestran, en contraste con la visión lineal del sistema presentado (ver Figura 1), la inclusión de factores y relaciones que transforman el sistema a una versión circular (Ver Figura 3), lo que permite el reciclaje de los desechos para ser transformados en energía. El primer factor agregado son las instituciones ambientales, estas se involucran en el ciclo impartiendo campañas de concientización y educación para que las comunidades y las empresas públicas y privadas se comprometan a realizar una correcta disposición de los desechos peligrosos, además de realizar proyectos de recolección de las basuras que estén enfocados a los tapabocas que desechan las comunidades. Como segundo factor se involucran las entidades públicas, mediante obras de infraestructura para la construcción de puntos de acopio que faciliten la recolección de tapabocas y de otros desechos generados por el virus COVID-19. Las instituciones de salud actualmente realizan la separación de los desechos generados, es importante que sigan comprometiéndose con esta buena práctica.

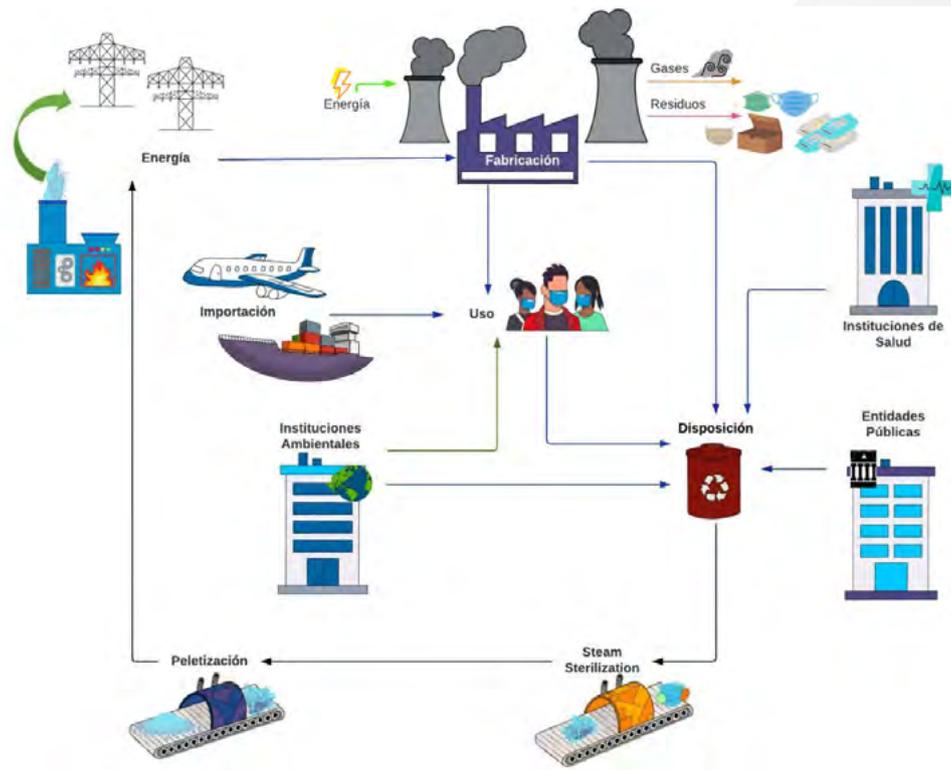


Figura 3. Gráfico Circular de los tapabocas desechables.

Fuente: Elaborada por el autor.

Considerando que actualmente la disposición de los desechos se realiza en rellenos sanitarios y plantas de incineración, el sistema circular permitirá que estos desechos se dirijan a un proceso de reciclaje, disminuyendo los impactos ambientales y a la salud. Posterior a recolección de los desechos, se propone la utilización de Steam Sterilization que permite la eliminación de bacterias y virus mediante la aplicación de vapor a altas temperaturas para lograr la desinfección total de los desechos, lo que posibilitará su manipulación para ser reciclados.

Luego de realizar el proceso de steam sterilization, y teniendo en cuenta que

los desechos quedan limpios y triturados, se procede con la peletización, proceso que permite fundir los materiales para posteriormente formarlos cilíndricamente por medio de un dado y la presión de un husillo, finalmente y luego de enfriarse en un baño de agua, son cortados en partes pequeñas denominadas pellets. Finalmente, y para cerrar el ciclo, se hace uso de los gránulos peletizados para su transformación en energía, que permitirá la fabricación de tapabocas a nivel nacional; a partir de este análisis se propone una guía metodológica que permita reconocer el proceso para una correcta disposición, como se evidencia en resumen en la Figura 4.

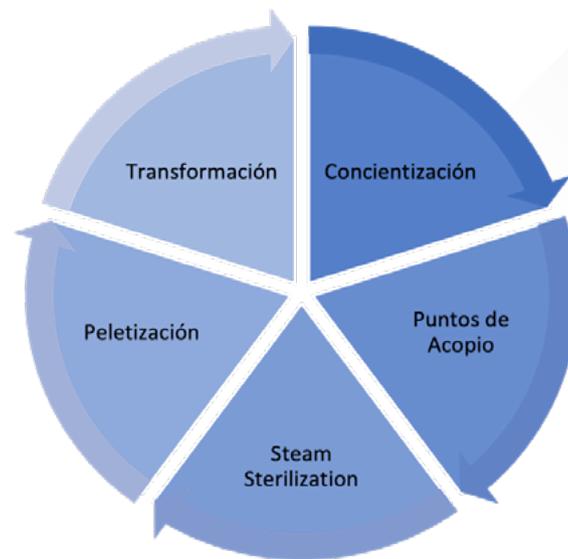


Figura 4. Procedimiento de la guía metodológica.

Fuente: Elaborada por el autor.

El siguiente procedimiento es una guía metodológica que nace a raíz del desarrollo de las fases de SD, cuya aplicación permitirá brindar una mejor disposición de residuos peligrosos tales como los tapabocas, que son el centro de estudio de este artículo.

Concientización: mediante campañas y comunicados impulsados por instituciones de salud y ambientales, tanto públicas como privadas, se brinde capacitación cultural a empresas y a personas naturales que permitan la educación en el aspecto ambiental y cómo este puede afectar gravemente la salud no solo humana sino de otras especies en diferentes ecosistemas; estas campañas también se deben enfocar hacia las formas correctas para disponer y eliminar diferentes tipos de residuos que se generen no sólo en ambientes industriales sino en ambientes comunales.

Puntos de Acopio: las entidades públicas y privadas deberán comprometerse con la identificación de espacios adecuados para la instalación de estaciones de recolección de residuos que se encuentren en la clasificación de peligrosos tales como tapabocas, guantes, gorros, todos estos quirúrgicos, que no sean reutilizables; esto para facilitar la disposición de los mismos y que todos ellos se dirijan a las plantas de esterilización, lo que permitirá su manipulación. Así mismo, las personas y las instituciones deben comprometerse a depositar de manera correcta y en los puntos establecidos, única y exclusivamente los residuos pertenecientes al grupo de peligrosos.

Steam Sterilization: construcción de plantas con la maquinaria necesaria para realizar el proceso de esterilización por vapor de los residuos peligrosos recolectados

en los puntos de acopio, gracias a las altas temperaturas aplicadas al agua para eliminar bacterias y microorganismos, de tal forma que, al realizar el reciclaje de los residuos no se genere un impacto representativo ambiental y a la salud.

Peletización: se realiza un proceso de moldeo y división al excedente de la esterilización; este proceso se lleva a cabo en una máquina peletizadora y se realiza un enfriamiento para cortar los filamentos en partes pequeñas, denominadas pellets.

Transformación (Reciclaje): finalmente, se realiza el reciclaje de los gránulos esterilizados, empleándolos en un proceso para la transformación a energía, lo que permitirá cerrar el ciclo de una forma circular y reducir desperdicios en el proceso de disposición de los tapabocas, puntualmente.

Con el fin de generar una amplia divulgación de esta información, se realizó una infografía considerando los pasos mencionados anteriormente para facilitar su comprensión (ver Anexo 4).

Conclusiones

El estudio realizado refleja la falta de cultura y conocimiento referente a la correcta separación y aprovechamiento de los residuos, por este motivo, las campañas de concientización son una herramienta aplicable para reducir la gestión errónea de los desechos, así mismo, se requiere el compromiso de todas las partes involucradas en el uso y fabricación no solo de residuos peligrosos sino de todo tipo de desechos para realizar una disposición idónea. Otro

elemento para destacar es la construcción de puntos de acopio para simplificar la recolección de los tapabocas desechables, esta recomendación se dirige a las entidades públicas y de gobierno. Finalmente, se propone la implementación del proceso descrito en el diagrama circular del sistema que incluye el método Steam Sterilization y peletización, que permitirá la reducción en los impactos ambientales y sociales. El equipo de investigación reconoce la gran inversión que se requiere para llevar a cabo la propuesta de este estudio, sin embargo, este procedimiento se puede realizar consolidando diferentes tipos de desechos peligrosos, derivados del plástico para ser aprovechados; se espera que este estudio sea de utilidad para futuras investigaciones.

Referencias

- Andersson, M., Söderman, M. L., & Sandén, B. A. (2019). Adoption of systemic and socio-technical perspectives in waste management, WEEE and ELV research. *Sustainability (Switzerland)*, 11(6), 1677. DOI: 10.3390/su11061677
- Asmar, S. (26 de febrero de 2020). Solo el 17 % de los residuos sólidos de Colombia son reciclados, advirtió el DNP. *Agronegocios*. <https://www.agronegocios.co/clima/solo-el-17-de-los-residuos-solidos-de-colombia-son-reciclados-advirtio-el-dnp-2970019>
- Barbero, S. (2017). *Systemic Design Method Guide for Policymaking: A Circular Europe on the Way* (Vol. 1). <https://iris.>

- polito.it/bitstream/11583/2685125/1/RETRACE def.pdf
- Battistoni, C., Nohra, C. G., & Barbero, S. (2019). A systemic design method to approach future complex scenarios and research towards sustainability: A holistic diagnosis tool. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16). DOI: 10.3390/su1164458
- Bisinella, V., Götze, R., Conradsen, K., Damgaard, A., Christensen, T. H., & Astrup, T. F. (2017). Importance of waste composition for Life Cycle Assessment of waste management solutions. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1180–1191.
- Contraloría de Cundinamarca. (2019). *Gestión integral de los residuos sólidos en el departamento de Cundinamarca*. <http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co>
- Decreto 838 de 2005 Nivel Nacional [Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá]. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. 23 de marzo de 2005.
- Díaz, R., & Pinto, J. (2019). *Manejo de desechos hospitalarios y sus efectos ambientales en áreas circundantes*. Collquium.
- Escobar Mateus, O. J., & Calderón Díaz, J. A. (2021). Covis-19 en Colombia: su impacto en lo social, lo político y lo económico. *Universidad Católica de Colombia*, 148–162.
- Hospital Universitario San Ignacio. (11 de julio de 2020). La crisis sanitaria generada por la pandemia del COVID-19 representaría una amenaza para el ambiente. *Noticias Caracol*.
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. (5 de marzo de 2020). Invima informa sobre la situación de abastecimiento de tapabocas en Colombia. *INVIMA*.
- Jiménez, E. (2019). *Los tapabocas: Amigos para unos, enemigos para otros*. Maat Soluciones Ambientales. <https://www.maat.com.co/tapabocas-amigos-para-unos-enemigos-para-otros/>
- Kumar, R. (2011). *Research Methodology a step-by-step guide for beginners*.
- Luthe, T. (2020). *Systemic Design Fostering the societal sustainability transition through systemic design of resilient regenerative systems*. Tobias Luthe.
- Manupati, V. K., Ramkumar, M., Baba, V., & Agarwal, A. (2020). Selection of the best healthcare waste disposal techniques during and post COVID-19 pandemic era. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125175. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.125175
- Montes, C. (febrero de 2019). *Relleno sanitario Doña Juana ¿una solución llena de problemas?* Blog Departamento Del Derecho Del Medio Ambiente– Universidad Externado de Colombia.
- Muñoz González, E., Enriques Gaspar, A., Díaz Concepción, A., Cruz Bayo, A.,

- & Piñero, A. R. (2019). Análisis del proceso de esterilización por vapor en autoclaves. Caso de estudio. *Revista Cubana de Ingeniería*, 9(3), 3–10.
- Organización mundial de la Salud. (2016). *Las dioxinas y sus efectos en la salud humana*. Organización Mundial de La Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Desechos de las actividades de atención sanitaria*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>
- Pereno, A. (2017). *Systemic design towards user-centered sustainability in medical treatments*. <https://core.ac.uk/download/pdf/234920744.pdf>
- Redacción Medioambiente. (10 de junio de 2020). ¿Cómo evitar que tapabocas y guantes lleguen al océano? *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/como-evitar-que-su-tapabocas-y-guantes-lleguen-al-oceano-505462>
- Decreto 838 de 2005 Nivel Nacional, (2005). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16123>
- Segura, Á., Rojas, L., & Pulido, Y. (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos. *Revista Espacios*, 41(17), 1–9. <http://es.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p22.pdf>
- Semana. (14 de septiembre de 2020). “La realidad ambiental de Colombia está llena de carencias”: Contraloría General. *Semana*. <https://www.semana.com/nacion/articulo/petro-pondria-en-riesgo-la-institucionalidad-juanita-goebertus/202144/>
- Van Ael, K., Vandenbroeck, P., Ryan, A., & Jones, P. (2018). *Systemic Design Toolkit Guide*. 1–40. <https://www.systemicdesigntoolkit.org/methodology>
- Wang, J., Shen, J., Ye, D., Yan, X., Zhang, Y., Yang, W., Li, X., Wang, J., Zhang, L., & Pan, L. (2020). Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. *Environmental Pollution Journal*, 262, 114665. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114665
- Xiaofang, X., Quanyin, T., Lili, L., & Jinhui, L. (2018). *Evaluación de la tecnología de eliminación de desechos médicos basada en el proceso*. 1–11.